



**ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA  
PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600**

**TRAMO II: KM 736+600 AL KM 886+600**

**N° 181154-66-INF-003**



\* 1 8 1 1 5 4 - 6 6 - I N F - 0 0 3 \*

**CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL**

**Rev. 1**

APROBADO POR:

Jefe de Proyecto: Abdón Arévalo Cotrina

Cliente Concesionaria vial del Sol – Covisol S.A.

Revisión	Hecho Por	Descripción	Fecha	Revisado	Aprobado
A	J. Melchor	Emitido para coordinación Interna	28/02/13	F. Vásquez	A. Ponce
B	J. Melchor	Emitido para aprobación del cliente	01/03/13	F. Vásquez	A. Ponce
0	J. Melchor	Emitido para construcción	16/05/13	F. Vásquez	A. Ponce
<b>1</b>	<b>J. Melchor</b>	<b>Emitido para construcción</b>	<b>03/12/13</b>	<b>A. Arévalo</b>	<b>A. Ponce</b>

COMENTARIOS DEL CLIENTE:

<p>181154-66-INF-003</p> <p>Revisión: 0</p>	<p>ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600</p> <p>CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL</p>	<p>Fecha: 16/05/2013</p> <p>Página 2 de 28</p>
---	--	--



## INDICE

1.	OBJETIVO .....	3
2.	ALCANCE.....	3
3.	CONDICIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO .....	3
3.1.	RETROCALCULO CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO .....	5
3.2.	ACTIVIDADES EN CAMPO.....	11
3.3.	TRABAJO DE GABINETE .....	11
3.3.1.	DEFLEXION MÁXIMA .....	11
3.3.2.	MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE.....	12
3.3.3.	NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO DEL PAVIMENTO .....	12
3.3.4.	SECTORIZACIÓN POR EVALUACIÓN ESTRUCTURAL .....	15
4.	DISEÑO DE REFUERZO ESTRUCTURAL.....	15
4.1.	ANÁLISIS DE TRÁFICO.....	15
4.2.	FACTORES CAMIÓN (DESTRUCTIVOS) Y EJES EQUIVALENTES DE CARGA .....	17
4.3.	MÓDULO RESILIENTE (MR).....	19
4.4.	NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO (SN EFECTIVO) .....	19
4.5.	NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (SN REQUERIDO).....	20
4.6.	REFUERZO ESTRUCTURAL.....	23
5.	CONCLUSIONES .....	26

181154-66-INF-003 Revisión: 0	<b>ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600</b> <b>TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600</b>  <b>CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL</b>	Fecha: 16/05/2013 Página 3 de 28
----------------------------------	---	-------------------------------------



## 1. OBJETIVO

El objetivo del presente informe es efectuar la actualización del expediente para la puesta a punto de la carretera Panamericana Norte, Tramo II Km. 736+600 al Km. 886+600, elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el año 2010.

## 2. ALCANCE

La actualización efectuada esta circunscrita al cálculo de los refuerzos necesarios para garantizar el requerimiento estructural de la vía para el periodo de 05 años, para lo cual se efectuará:

- ✓ Medición de deflexiones en la vía, a partir de lo cual se calcularan los Números Estructurales a la fecha de evaluación (Enero 2013).
- ✓ La proyección del tráfico, a partir de los datos del estudio de trafico efectuado por el MTC y que forman parte del estudio de Mantenimiento del 2010, para un nuevo año base (2015).

## 3. CONDICIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO


La evaluación de la Condición Estructural del Pavimento tuvo por finalidad calcular la deformabilidad del paquete estructural mediante ensayos de deflexión, a partir de lo cual se estableció la capacidad estructural del mismo.

La condición estructural del pavimento fue evaluada mediante el empleo del Deflectómetro de Impacto (FWD por sus siglas en ingles Falling Weigth Deflectometer).

El deflectómetro de impacto posee las siguientes componentes:

- El sistema de instrumentación (a).
- El dispositivo generador de impacto (b).
- Placa de carga (c).
- Transductor de deflexión (d).
- Celda de carga (e).

(a) El sistema de instrumentación es aquel que realiza los cálculos y procesamiento de datos que se recolectan a través del ensayo de deflectómetro de impacto, debe estar separado físicamente del equipo (en nuestro caso una camioneta remolcó el equipo).

  
 GMI S.A.  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP: 59767  
 Especialista en Suelos y Pavimentos

  
 GMI S.A.  
 Ing. Abdon Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	<b>ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600</b> <b>TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600</b> <b>CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL</b>	Fecha: 16/05/2013 Página 4 de 28
----------------------------------	---	-------------------------------------



(b) El dispositivo generador de impacto es aquella que provoca la caída libre de una masa o varias masas del deflectómetro, es importante que este sistema evite la fricción de la masa con el sistema de guía, adicionalmente asegurar que la masa caiga de forma perpendicular al pavimento.

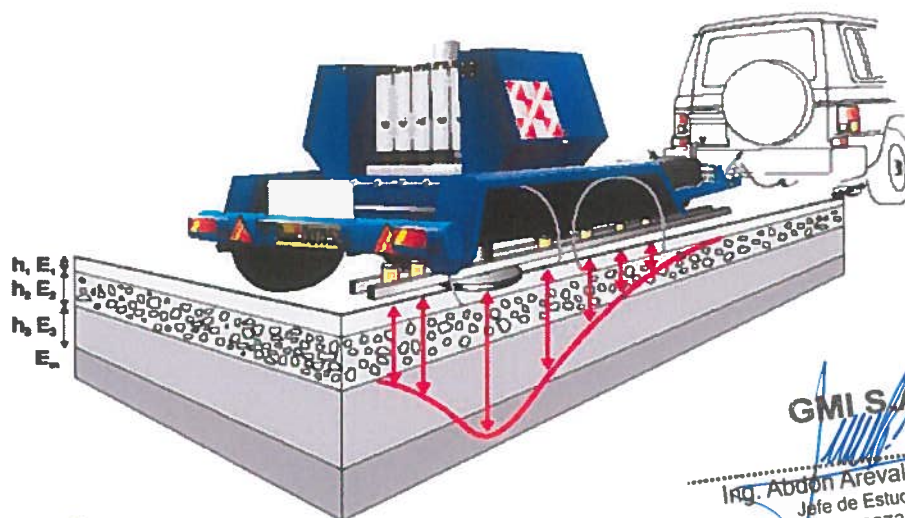
(c) La placa de carga es un disco metálico partido en cuatro, tiene un diámetro de 300 mm. Una propiedad importante es que debe permitir la medición de la deflexión al centro de la placa.

(d) El transductor de deflexión es el encargado de medir la deflexión debajo del centro de la placa de carga, adicionalmente posee un conjunto de sensores encargados de tomar las mediciones de deflexión, el número de sensores y su espaciamiento son a discreción del profesional encargado de la evaluación, pero hay algunas instituciones como el AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el SHRP (Strategic Highway Research Program) que nos recomiendan ciertas combinaciones.

(e) La celda de carga mide directamente la carga aplicada al pavimento por la masa, debe ser muy resistente al impacto y al agua.

El deflectómetro de impacto es un equipo que realiza un ensayo no destructivo del pavimento, aplicándole una carga dinámica la cual produce su deformación, las cuales son cuantificadas mediante sensores adecuadamente distribuidos denominados geófonos.

Figura N° 1: Esquema gráfico del ensayo con el Deflectómetro de Impacto



GMI S.A.  
 ING. JOSE YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP 19767  
 Consultor en Obras y Pavimentos

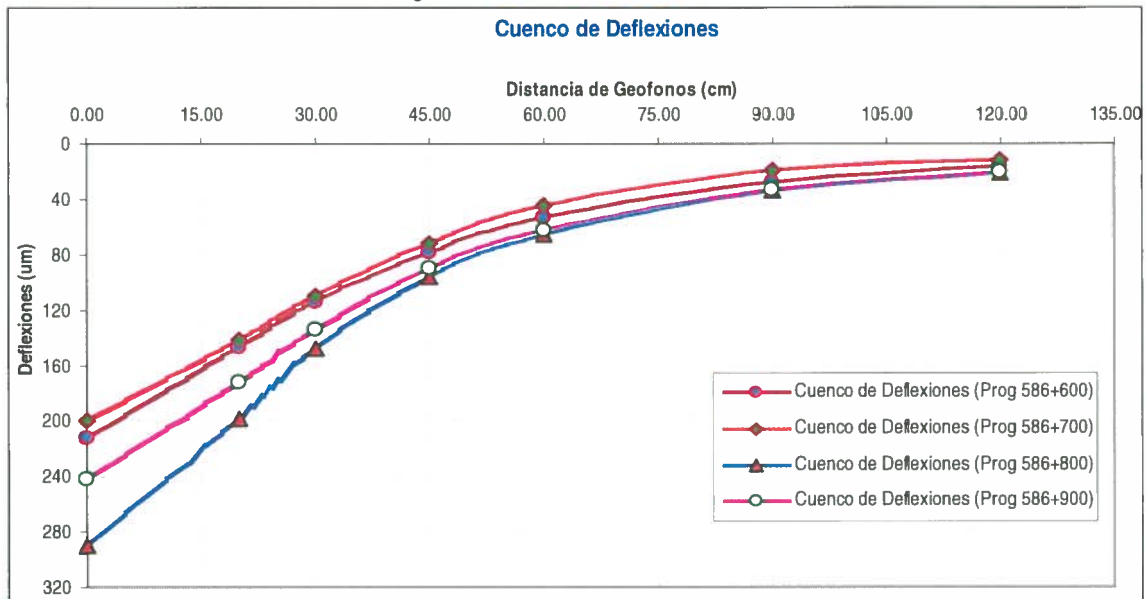
GMI S.A.  
 Ing. Abdon Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013 Página 5 de 28
----------------------------------	--	-------------------------------------



El gráfico de la distribución de los geófonos (en el eje "X" o abscisas) vs. Las deflexiones verticales (en el eje "Y" u ordenadas) son denominadas cuenco de deflexiones.

Figura N° 2: Cuenco de deflexiones



El método por el cual se calculan los parámetros geomecánicos del pavimento (módulo resiliente, módulo elástico y número estructural del pavimento) a través de las mediciones en campo del deflectómetro de impacto (cuenco de deflexiones), es denominado Retrocálculo.

### 3.1. RETROCALCULO CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO

El proceso del retrocálculo está descrito en la guía AASHTO 93<sup>1</sup>. Tiene como consideraciones fundamentales lo siguiente:

- Asume una cimentación sólida.
- Considera la teoría elástica lineal, como un sistema bicapa, en donde el pavimento es una capa con espesor definido y la subrasante con espesor infinito.

Las consideraciones se pueden observar en el siguiente gráfico:

<sup>1</sup> AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures 1993

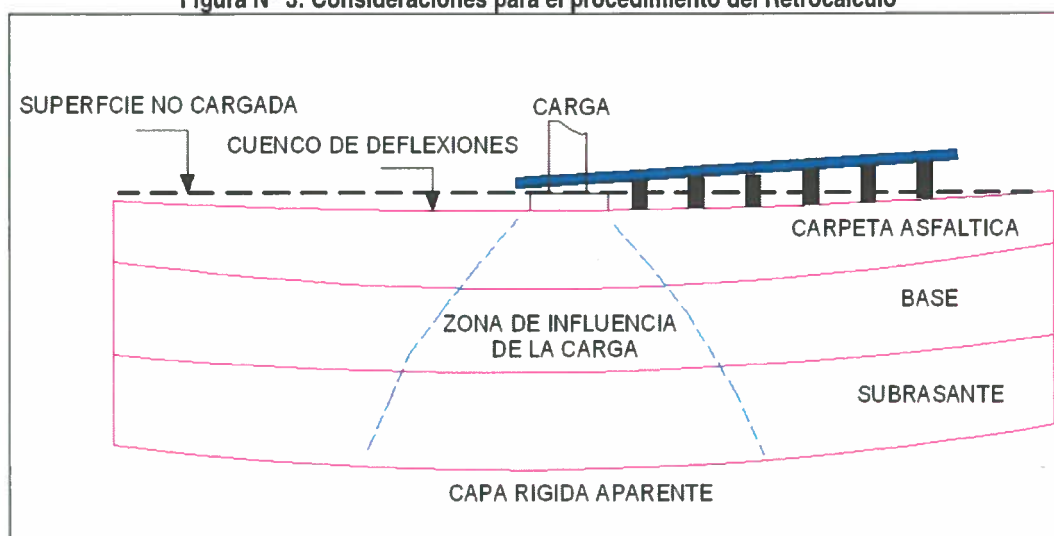
GMI S.A.  
ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
CIP 59767  
Especialista en Suelos y Pavimentos

GMI S.A.  
Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 6 de 28
----------------------------------	--	---



Figura N° 3: Consideraciones para el procedimiento del Retrocálculo



De acuerdo al diagrama, se observa un sistema usual de la sección del pavimento, constituido por una carpeta asfáltica, una base y una subbase, todo el conjunto del pavimento, está apoyado sobre una subrasante, adicionalmente se observa los sensores que miden la deflexión el pavimento, la zona colocada de color azul representa la zona de esfuerzos en donde es aplicada la carga; del gráfico ya se pueden tener 2 conclusiones básicas para el procedimiento del retrocálculo:

- ✓ Se puede observar que las deflexiones medidas por los 4 sensores están influenciados principalmente por las propiedades de la carpeta asfáltica, la base y la subbase, debido a su presencia dentro de la zona de esfuerzos.
- ✓ Adicionalmente se puede concluir que las deflexiones medidas con los últimos 3 sensores están fuera de la influencia de las propiedades constitutivas del pavimento, y solo dependen de la subrasante (en este caso del módulo resiliente de la subrasante).

De acuerdo a este análisis, el fundamento de retrocálculo es obtener en principio, el módulo resiliente de la subrasante (de acuerdo a los 3 últimos sensores), luego, una vez calculado el módulo resiliente de la subrasante, mediante iteraciones, o valores de inicio asumidos como módulos elásticos de las capas constitutivas del pavimento, se compatibilizan las deflexiones medidas con las deflexiones calculadas, hasta obtener la mayor aproximación posible (de acuerdo con los primeros sensores).

De acuerdo a la primera consideración (Cimentación Sólida), se tiene la ecuación propuesta por Boussinesq, en donde:

GMI S.A.  
ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
CIP 14267  
Especialista en Suelos y Pavimentos

GMI S.A.  
Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 7 de 28
----------------------------------	--	---



$$w = \frac{P * (1 + \mu)}{2 * \pi * R * M_R} * \left[ 2 * (1 - \mu) + \cos^2(\theta) \right]$$

Donde:

w = Deflexión vertical

P = Carga aplicada

R = Distancia inclinada entre la carga y la medición de la deflexión;  $R^2 = r^2 + z^2$

$M_R$  = Módulo recipiente del suelo de fundación.

$\mu$  = Módulo de poisson del suelo de fundación.

$\theta$  = Ángulo formado entre la carga aplicada y la posición de la medición de la deflexión.

Así, el valor de:  $\cos(\theta) = \frac{z}{R}$

Reemplazando el valor de  $z=0$  (debido a que la medición de la deflexión con el deflectómetro de impacto se realiza en la superficie de la estructura a evaluar), se tiene la siguiente ecuación:

$$w = \frac{P * (1 - \mu^2)}{\pi * r * M_R}$$

De acuerdo al AASHTO, asumiendo un Módulo de poisson de 0.5 y simplificando la ecuación tenemos:

$$w_{i,j} = \frac{0.24 * P_j}{E_f * d_{i,j}}$$

Reordenando la ecuación se tiene lo siguiente:

$$M_r = \frac{0.24 * P}{d_r * r}$$

$P_j = P$  = Carga aplicada en el ensayo con el deflectómetro de impacto

$w_{i,j} = d_r$  = Deflexión de cada sensor en el deflectómetro

$r = d_{i,j}$  = Distancia entre la carga de ensayo y el sensor

$E_f = M_r$  = Módulo resiliente de la subrasante

La dificultad, se traduce en cual sensor escoger para realizar los cálculos del módulo resiliente, se puede escoger el último sensor, pero esto puede traer errores debido a la dificultad de medir las deflexiones muy pequeñas, razón por el cual, se tiene la ayuda de las siguientes ecuaciones que nos ayudaran a escoger el sensor óptimo para realizar el retrocálculo.

Se debe cumplir que:  $r \geq 0.7 * a_e$

GMI S.A.  
ING. YGNACIO MELCHOR ARECHÉ  
CIP 48.67  
Especialista en Estudios y Pavimentos

GMI S.A.  
Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 8 de 28
----------------------------------	--	---



Donde:

$r$  = Distancia entre el geófono y la carga de ensayo con el deflectómetro de impacto.

$a_e$  = Distancia efectiva del bulbo de presiones entre la interfase de pavimento y suelo de fundación.

El valor de la distancia efectiva del bulbo de presiones  $a_e$ , puede obtenerse de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left[ D \cdot \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_r}} \right]^2}$$

Finalmente se tiene la siguiente consideración Final

De acuerdo a Boussinesq, se tiene la siguiente ecuación de la deformación para una carga distribuida:

$$d = \frac{(1+\mu) \cdot q \cdot a}{E} \cdot \left[ \frac{a}{(a^2 + z^2)^{0.5}} + \frac{1-2\mu}{a} \cdot \left( (a^2 + z^2)^{0.5} - z \right) \right]$$

Como en el caso anterior, se asume un módulo de poisson  $\mu = 0.5$ , así la ecuación se reduce a:

$$d = \frac{1.5 \cdot q \cdot a}{E} \cdot \left[ \frac{a}{(a^2 + z^2)^{0.5}} \right]$$

Luego reemplazando los valores de la deflexión en la parte superior y en la parte inferior de la subrasante, se tiene la siguiente ecuación, el cual es considerado como la ecuación fundamental para el retrocálculo.

$$\frac{M_r \cdot d_0}{q \cdot a} = 1.5 \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \left[ \left( \frac{D}{a} \right)^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_r}} \right]^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \right)^2}}}{\left( \frac{E_p}{M_r} \right)} \right]$$

Donde:

$r$  = Distancia del sensor.

$a_e$  = Distancia efectiva del bulbo de presiones a nivel de la subrasante.

$a$  = Radio de la placa de carga

$D$  = Espesor total del pavimento

$E_p$  = Módulo efectivo de todas las capas del pavimento

$M_r$  = Módulo resiliente de la subrasante

GMI S.A.  
ING. JOSÉ YGNACIO MELIÁN ORRACHE  
C.R. 58767  
Sector Panamá

GMI S.A.  
Ing. Abdón Arévalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731



181154-66-INF-003 Revisión: 0	<b>ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600</b> <b>TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600</b> <b>CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL</b>	Fecha: 16/05/2013 Página 9 de 28
----------------------------------	---	-------------------------------------

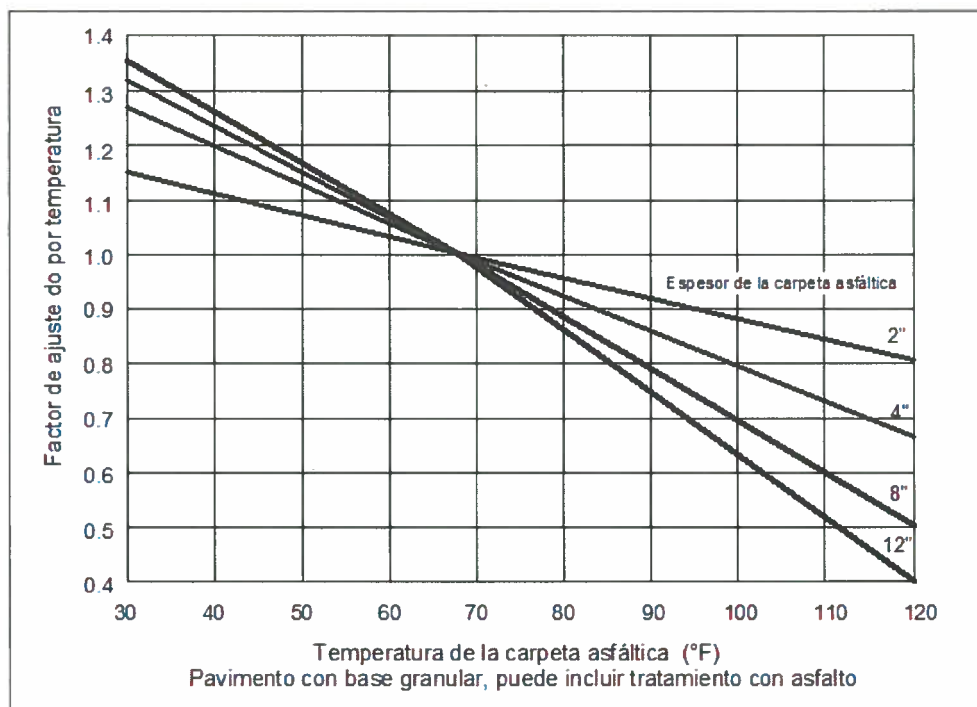


$q$  = Presión en la placa de carga

$d_0$  = Deflexión medida al centro de la placa de carga, ajustado a la temperatura estándar de 68° F

Para realizar la corrección por Temperatura, se usa el ábaco siguiente:

**Figura N° 4: Factor de Corrección por Temperatura de la Deflexión Máxima**



Para realizar el cálculo del módulo resiliente de la subrasante, según el método AASHTO se debe realizar de manera iterativa, es decir, se inicia con el segundo sensor, se calcula el módulo resiliente de la subrasante, luego se calcula el módulo elástico del pavimento en su conjunto, para posteriormente hallar el radio del bulbo de presiones de la subrasante, hasta que la distancia del sensor sea mayor a 0.7 veces el radio de bulbo de presiones.

Para un mejor entendimiento, se tiene un diagrama de flujo de los cálculos que se tienen que realizar

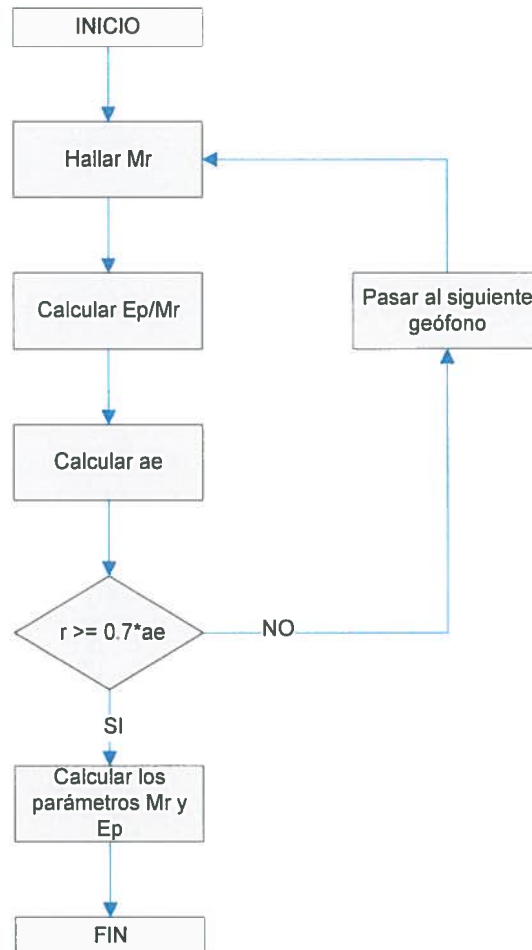
GMI S.A.  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP 18947  
 Ingeniería de Estructuras y Pavimentación

GMI S.A.  
 Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	<b>ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600</b> <b>TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600</b> <b>CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL</b>	Fecha: 16/05/2013 Página 10 de 28
----------------------------------	---	--------------------------------------



Figura N° 5: Diagrama de Flujo para el Retrocálculo



Finalmente una vez calculado el Módulo Resiliente de la Subrasante y el Módulo Elástico del pavimento se procede a calcular el número estructural efectivo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$SN_{\text{efect}} = 0.0045 * D * \sqrt[3]{E_p}$$

Donde:

$SN_{\text{efect}}$  = Número estructural efectivo.

D = Espesor total del pavimento.

$E_p$  = Módulo efectivo del pavimento.

GMI S.A.  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP. 19267  
 Ingeniería de Suelos y Pavimentos

GMI S.A.  
 Ing. Abdon Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013 Página 11 de 28
----------------------------------	--	--------------------------------------



### 3.2. ACTIVIDADES EN CAMPO

El trabajo de campo consistió en realizar la medición de las deflexiones con el Deflectómetro de Impacto (FWD), cada 250 metros en cada carril desfasados en 125 metros entre carriles.

Las medidas de deflexiones se efectuaron en la huella interna de cada carril de circulación, cada 250 y seis (06) geófonos más la placa de carga (D<sub>0</sub>) distribuidos de la siguiente manera:

Tabla N° 1: Distribución de los Geófonos del FWD

Geófono	Distancia (cm)
D <sub>0</sub>	0
D <sub>1</sub>	20
D <sub>2</sub>	30
D <sub>3</sub>	45
D <sub>4</sub>	60
D <sub>5</sub>	90
D <sub>6</sub>	120

### 3.3. TRABAJO DE GABINETE

El trabajo de gabinete, incluye el procesamiento de la totalidad de datos de campo de acuerdo a la teoría y procedimiento antes descrito. Se calcularon los siguientes Parámetros:

#### 3.3.1. DEFLEXION MÁXIMA

Para el caso el cálculo de la deflexión máxima, se uso la siguiente fórmula:

$$\Delta_{ir} = \Delta_i * \left( \frac{P_r}{P} \right) * \lambda_T$$

Donde:

$\Delta_{ir}$  = Deflexión Máxima corregida por Temperatura y por Carga

$\Delta_i$  = Deflexión máxima (medida en campo)

$P_r$  = Carga de referencia (40 KN).

$P$  = Carga aplicada durante el ensayo.

$\lambda_T$  = Corrección por Temperatura

GMI S.A.  
  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP: 15.5767  
 Especialista en Suelos y Pavimentos

GMI S.A.  
  
 Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013 Página 12 de 28
----------------------------------	--	--------------------------------------



### 3.3.2. MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE

El módulo resiliente de la subrasante se calculó de acuerdo al procedimiento sugerido en la Guía AASHTO 93 (Retrocálculo), el cual fue afectado con el Factor de corrección  $C=0.62$  para el caso de una subrasante debajo de un pavimento con presencia de base y/o sub base.

### 3.3.3. NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO DEL PAVIMENTO

El número estructural efectivo del pavimento ( $SN_{efect}$ ) fue también calculado de acuerdo a las recomendaciones de la Guía AASHTO 93 para el retrocálculo.

**Tabla N° 2 : Resultados obtenidos del Retrocálculo-Carril izquierdo**

Sector	De	Hasta	Do max	MR	SN
1	736 + 600	742 + 150	147.25	31865.86	4.95
2	742 + 150	744 + 400	338.85	12507.32	4.10
3	744 + 400	744 + 900	377.68	8020.28	4.63
4	744 + 900	746 + 900	163.09	30104.86	5.74
5	746 + 900	748 + 150	177.16	29654.39	6.13
6	748 + 150	756 + 650	179.22	31503.74	6.35
7	756 + 650	758 + 250	111.28	46811.15	5.15
8	758 + 250	759 + 150	114.70	40463.10	4.87
9	759 + 150	763 + 250	135.51	36513.79	4.54
10	763 + 250	769 + 850	217.91	21258.60	4.65
11	769 + 850	771 + 050	330.01	12416.74	3.96
12	771 + 050	773 + 750	284.65	14518.00	3.50
13	773 + 750	779 + 050	352.02	12774.75	4.39
14	779 + 050	783 + 250	412.13	10316.90	3.27
15	783 + 250	785 + 650	493.14	6420.48	4.15
16	785 + 650	788 + 050	464.73	10046.90	3.56
17	788 + 050	789 + 250	209.99	18214.77	4.49
18	789 + 250	791 + 450	295.01	14128.29	5.09
19	791 + 450	794 + 650	576.88	9025.68	3.50
20	794 + 650	795 + 550	461.24	12355.18	3.23
21	795 + 550	797 + 350	778.93	5799.02	2.68
22	797 + 350	799 + 350	439.34	14959.81	3.69
23	799 + 350	804 + 300	614.56	8971.02	3.11
24	804 + 300	805 + 200	450.65	11366.31	3.67
25	805 + 200	807 + 350	619.98	7435.08	2.65
26	807 + 350	812 + 550	432.96	10321.29	2.91
27	812 + 550	815 + 300	325.36	16360.85	3.62
28	815 + 300	816 + 800	408.72	12341.07	4.55
29	816 + 800	820 + 250	220.63	24212.16	5.71
30	820 + 250	820 + 750	340.07	16542.10	4.67
31	820 + 750	825 + 850	386.34	12159.42	3.98
32	825 + 850	827 + 050	516.17	6717.56	2.83

GMI S.A.  
  
 ING. J. YGNACIO MELÉNDEZ ARECHE  
 CIP 10767  
 Especialista en Estudios y Pavimentación

GMI S.A.  
  
 Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013 Página 13 de 28
----------------------------------	---	--------------------------------------



Sector	De	Hasta	Do max	MR	SN
33	827 + 050	828 + 900	456.20	9427.95	2.93
34	828 + 900	829 + 200	473.26	10987.70	2.94
35	829 + 200	830 + 450	344.17	12442.23	3.55
36	830 + 450	831 + 750	324.84	13904.93	3.53
37	831 + 750	834 + 750	420.55	12114.82	3.46
38	834 + 750	835 + 900	327.33	13880.05	3.82
39	835 + 900	839 + 350	483.58	9522.80	3.68
40	839 + 350	842 + 950	397.77	14216.49	3.81
41	842 + 950	850 + 500	197.14	28397.10	4.53
42	850 + 500	853 + 550	389.24	14462.65	3.72
43	853 + 550	854 + 600	287.23	21988.46	3.88
44	854 + 600	863 + 350	451.58	11841.31	2.88
45	863 + 350	867 + 350	689.67	7886.02	2.32
46	867 + 350	872 + 750	282.54	20837.48	3.75
47	872 + 750	886 + 600	480.00	10061.98	3.59

Tabla N° 3 Resultados obtenidos del Retrocálculo-Carril derecho

Sector	De	Hasta	Do max	MR	SN
1	736 + 600	742 + 150	139.44	32364.10	5.05
2	742 + 150	744 + 400	404.51	10612.44	3.85
3	744 + 400	744 + 900	354.92	11692.96	4.79
4	744 + 900	746 + 900	146.34	35179.86	5.85
5	746 + 900	748 + 150	173.97	30283.79	6.47
6	748 + 150	756 + 650	201.20	28745.43	5.96
7	756 + 650	758 + 250	108.51	49982.03	5.09
8	758 + 250	759 + 150	131.10	34409.03	4.71
9	759 + 150	763 + 250	180.25	30676.51	4.15
10	763 + 250	769 + 850	308.52	16722.21	4.11
11	769 + 850	771 + 050	386.26	10672.88	3.43
12	771 + 050	773 + 750	246.01	16140.26	3.62
13	773 + 750	779 + 050	380.78	12850.71	4.14
14	779 + 050	783 + 250	511.06	8494.08	3.11
15	783 + 250	785 + 650	351.51	12186.40	3.74
16	785 + 650	788 + 050	378.47	12698.04	3.64
17	788 + 050	789 + 250	231.78	14889.62	4.14
18	789 + 250	791 + 450	333.45	11931.00	4.89
19	791 + 450	794 + 650	558.83	9439.84	3.45
20	794 + 650	795 + 550	441.06	10570.67	3.45
21	795 + 550	797 + 350	680.39	6356.97	2.82
22	797 + 350	799 + 350	497.74	10949.00	4.14
23	799 + 350	804 + 300	722.97	8807.26	2.90
24	804 + 300	805 + 200	478.47	10086.54	3.56


GMI S.A.  
  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP 10767  
 Especialista en Estudios y Pavimentos

GMI S.A.  
  
 Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013 Página 14 de 28
----------------------------------	---	--------------------------------------



Sector	De	Hasta	Do max	MR	SN
25	805 + 200	807 + 350	625.62	6695.05	2.58
26	807 + 350	812 + 550	520.71	10007.29	2.79
27	812 + 550	815 + 300	323.71	16511.75	3.41
28	815 + 300	816 + 800	521.01	10328.75	4.10
29	816 + 800	820 + 250	258.87	24422.32	5.24
30	820 + 250	820 + 750	331.28	13927.03	4.85
31	820 + 750	825 + 850	325.57	13611.40	4.31
32	825 + 850	827 + 050	381.99	8082.92	3.33
33	827 + 050	828 + 900	370.30	11489.50	3.06
34	828 + 900	829 + 200	409.55	12991.07	2.82
35	829 + 200	830 + 450	344.42	10533.21	3.61
36	830 + 450	831 + 750	267.68	16085.11	3.75
37	831 + 750	834 + 750	389.41	11326.56	3.57
38	834 + 750	835 + 900	340.13	14167.90	3.81
39	835 + 900	839 + 350	393.74	10758.96	3.99
40	839 + 350	842 + 950	355.81	15126.17	3.94
41	842 + 950	850 + 500	199.07	27942.78	4.53
42	850 + 500	853 + 550	432.73	13430.90	3.57
43	853 + 550	854 + 600	210.81	30453.47	4.04
44	854 + 600	863 + 350	421.17	13385.51	2.95
45	863 + 350	867 + 350	757.30	7731.40	2.16
46	867 + 350	872 + 750	393.25	15998.84	3.34
47	872 + 750	886 + 600	543.94	9207.68	3.35

GMI S.A.  
  
 ING. JOSE YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP 249707  
 Ingeniero en Estructuras y Pavimentos

GMI S.A.  
  
 Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 15 de 28
----------------------------------	--	--



### 3.3.4. SECTORIZACIÓN POR EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Se considero la misma sectorización señalada en el informe de mantenimiento periódico correspondiente al tramo II:

Tabla N° 4: Sectorización Carretera Panamericana Norte Tramo II

Sector	De	Hasta	Sector	De	Hasta
1	736 + 600	742 + 150	25	805 + 200	807 + 350
2	742 + 150	744 + 400	26	807 + 350	812 + 550
3	744 + 400	744 + 900	27	812 + 550	815 + 300
4	744 + 900	746 + 900	28	815 + 300	816 + 800
5	746 + 900	748 + 150	29	816 + 800	820 + 250
6	748 + 150	756 + 650	30	820 + 250	820 + 750
7	756 + 650	758 + 250	31	820 + 750	825 + 850
8	758 + 250	759 + 150	32	825 + 850	827 + 050
9	759 + 150	763 + 250	33	827 + 050	828 + 900
10	763 + 250	769 + 850	34	828 + 900	829 + 200
11	769 + 850	771 + 050	35	829 + 200	830 + 450
12	771 + 050	773 + 750	36	830 + 450	831 + 750
13	773 + 750	779 + 050	37	831 + 750	834 + 750
14	779 + 050	783 + 250	38	834 + 750	835 + 900
15	783 + 250	785 + 650	39	835 + 900	839 + 350
16	785 + 650	788 + 050	40	839 + 350	842 + 950
17	788 + 050	789 + 250	41	842 + 950	850 + 500
18	789 + 250	791 + 450	42	850 + 500	853 + 550
19	791 + 450	794 + 650	43	853 + 550	854 + 600
20	794 + 650	795 + 550	44	854 + 600	863 + 350
21	795 + 550	797 + 350	45	863 + 350	867 + 350
22	797 + 350	799 + 350	46	867 + 350	872 + 750
23	799 + 350	804 + 300	47	872 + 750	886 + 600
24	804 + 300	805 + 200			

## 4. DISEÑO DE REFUERZO ESTRUCTURAL

### 4.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO

Del estudio de tráfico correspondiente se ha obtenido la información necesaria sobre el tipo de tránsito que circula por esta vía, con el objetivo de cuantificar, clasificar y conocer el volumen de los vehículos que transitan por este tramo de la carretera; información que es indispensable para determinar las características de diseño del pavimento para el presente proyecto.

GMI S.A.  
ING. JOSÉ YGNACIO LEITCHOR ARECHE  
CIP 189767  
Ingeniero de Estudios y Pavimentos

GMI S.A.  
Ing. Abdón Arévalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	<b>ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600</b> TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  <b>CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL</b>	Fecha: 16/05/2013  Página 16 de 28
----------------------------------	--	--



El análisis de tráfico, determinó el tránsito actual; sus características y proyecciones para el período de vida útil, en número acumulado de repeticiones de carga de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, dato necesario para el diseño de la estructura del pavimento. Considerando exclusivamente la acción de los buses B2, B3-1, B4 y camiones C2, C3, C4, 2S2, T2S3, T3S2, T3S3, 2T2, 3T3 dado que el efecto destructivo de los vehículos ligeros se puede considerar prácticamente despreciable.

El estudio de tráfico estableció cinco (05) estaciones de conteo, dividiendo así el tramo en estudio, los cuales se presentan a continuación:

**Tabla N° 5: Ubicación de Estaciones de Conteo**

Estacion	Nombre	Ubicación
E1	Morrope	Peaje Morrope Panamericana Km 820+800
E2	Mocce	Pesaje Mocce, a 2km del ovalo desvío a Olmos (antigua Panamericana Norte Km 2+100)
E3	Reque	Frente a colegio Diego Ferrer a 200m del desvío a Puerto Etén, Panamericana Norte Km 770+280
E4	Nuevo Mocupe	Paradero municipal de Nuevo Mocupe a 10 metros de la comisaria de Nuevo Mocupe, Panamericana Norte Km 747+804
E5	Ovalo Leguía	A 50 metros del Ovalo Leguía, Panamericana Norte Km 788+750

En las siguientes tablas se muestran el volumen de tráfico correspondiente a las estaciones indicadas previamente; los que transitan diariamente por la zona de estudio.

**Tabla N° 6: Distribución por Tipo de Vehículo (IMDa). Estación E1**

SENTIDO	B2	B3	B4	C2	C3	C4	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	3T2/2T3	3T3
Ambos Sentidos	46	219	47	110	95	46	6	21	61	322	28	22

**Tabla N° 7: Distribución por Tipo de Vehículo (IMDa). Estación E2**

SENTIDO	B2	B3	B4	C2	C3	C4	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	3T2/2T3	3T3
Ambos Sentidos	106	308	67	451	193	59	7	30	83	477	44	42

**Tabla N° 8: Distribución por Tipo de Vehículo (IMDa). Estación E3**

SENTIDO	B2	B3	B4	C2	C3	C4	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	3T2/2T3	3T3
Ambos Sentidos	197	358	126	764	324	64	20	38	130	602	58	35

**Tabla N° 9: Distribución por Tipo de Vehículo (IMDa). Estación E4**

SENTIDO	B2	B3	B4	C2	C3	C4	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	3T2/2T3	3T3
Ambos Sentidos	179	352	107	469	223	50	12	30	117	626	57	37

**GMI S.A.**  
  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP 58757  
 Estructuras y Pavimentos

**GMI S.A.**  
  
 Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731



181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013 Página 17 de 28
----------------------------------	--	--------------------------------------



**Tabla N° 10: Distribución por Tipo de Vehículo (IMDa). Estación E5**

SENTIDO	B2	B3	B4	C2	C3	C4	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	3T2/2T3	3T3
Ambos Sentidos	218	370	83	1074	408	80	12	27	92	651	50	59

En la tabla "Tasas de Crecimiento del Tráfico por Tipo de Vehículo", se muestran las tasas de crecimiento en base a los datos recopilados en las estaciones establecidas en el estudio de tráfico y carga.

**Tabla N° 11: Tasas de Crecimiento del Tráfico por tipo de Vehículo**

Tipo de vehículo	Tasa (2010-2020)
Vehículos de pasajeros	1.80%
Vehículos de carga	2.50%

#### 4.2. FACTORES CAMIÓN (DESTRUCTIVOS) Y EJES EQUIVALENTES DE CARGA

El cálculo del tráfico de diseño (ESAL) se efectúa a partir del IMD anual del estudio de tráfico corregidos por todos los factores y las tasas de crecimiento igualmente definido en el referido estudio.

Para esto se aplican las ecuaciones generales de AASHTO para calcular los Factores Camión (esto es por iteración, partiendo de valores iniciales de SN y Factores Camión calculados a partir de las ecuaciones simplificadas), con fines de análisis se calcularon los factores camión en base a los pesos del Censo de Pesaje efectuado.

**Tabla N° 12: Factores de Carga por Tipo de Vehículos**

Tipo de vehículo	Factor destructivo
B2	2.96
B3	2.245
B4	0.352
C2	1.62
C3	2.043
C4	3.029
T2S2	1.048
T2S3	0.602
T3S2	2.968
T3S3	3.03
3T2/2T3	7.03
3T3	3.593

Para el diseño se requiere calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes en función de las cargas de tráfico, el factor de crecimiento y el número de años, las fórmulas que se aplicaron para dichos cálculos son las siguientes:

GMI S.A.  
  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHÉ  
 CIP 19767  
 Especialista en Suelos y Pavimentos

GMI S.A.  
  
 Ing. Abdon Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 18 de 28
----------------------------------	--	--



$$ESAL = \sum_{i=1}^m F_i n_i$$

$$n_i = (n_o)_i (G) (D) (L) (365) (Y)$$

Donde:

ESAL: el número de repeticiones de eje equivalente (18 kips) aplicada en el periodo de diseño.

Fi: factor de daño por cada eje calculado como:

Pavimentos Flexibles AASHTO

$$F_i = \log\left(\frac{W_{rx}}{W_r}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(L_x + L_2) + 4.33 \log L_2 + \frac{G_i}{\beta_x} - \frac{G_i}{\beta_{18}}$$

$$G_i = \log\left(\frac{4.2 - p_i}{4.2 - 1.5}\right) \quad \beta_x = 0.40 + \frac{0.081(L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}}$$

$L_x$  : Carga del eje en kips

$L_2$  : factor que depende del tipo de eje (1 para eje simple, 2 eje tandem y 3 eje tridem)

$p_i$  : serviciabilidad final,

SN : número estructural,

G : factor de crecimiento del tráfico

D : factor de distribución direccional (D=0.50)

L : factor de distribución por carril (L=1.0).

Y : número de años del periodo de diseño (Y=5, 10 años)

Calculados los FC, mediante la fórmula AASHTO, se calcula el ESAL proyectado.

En los siguientes cuadros se muestra el resumen de los ejes equivalentes de diseño por tipo de vehículo, para dicho cálculo, se utilizó la información brindada por el estudio de tráfico, el cual tiene por finalidad cuantificar, clasificar y determinar el volumen de los vehículos que transitan por el Tramo II: Km. 736+600 – Km. 886+600; información que es indispensable para determinar las características de diseño del pavimento para el presente proyecto.

Tabla N° 13: Cálculo de Esal

Año	E1	E2	E3	E4	E5
2013	7.00E+05	1.17E+06	1.23E+06	1.08E+06	1.80E+06
2014	7.14E+05	1.20E+06	1.26E+06	1.11E+06	1.85E+06
2015	7.32E+05	1.23E+06	1.29E+06	1.13E+06	1.90E+06
2016	7.47E+05	1.25E+06	1.31E+06	1.16E+06	1.92E+06
2017	7.67E+05	1.29E+06	1.35E+06	1.18E+06	1.98E+06
2018	7.85E+05	1.32E+06	1.38E+06	1.21E+06	2.03E+06

GMI S.A.  
ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHÉ  
CIP 59767  
Ingeniería de Pavimentos

GMI S.A.  
Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 19 de 28
----------------------------------	--	--



2019	8.02E+05	1.35E+06	1.41E+06	1.24E+06	2.08E+06
2020	8.23E+05	1.38E+06	1.45E+06	1.27E+06	2.13E+06
2021	8.33E+05	1.40E+06	1.48E+06	1.30E+06	2.15E+06

#### 4.3. MÓDULO RESILIENTE (MR)

En base a la sectorización final del tramo indicada en el ítem 3.3.4 se han determinado los módulos resilientes, que se indican a continuación:

Tabla N° 14: Valores de Módulo Resiliente, según sectorización

Sector	De	Hasta	Mr (psi)	Sector	De	Hasta	Mr (psi)
1	736 + 600	742 + 150	32114.98	25	805 + 200	807 + 350	7065.07
2	742 + 150	744 + 400	11559.88	26	807 + 350	812 + 550	10164.29
3	744 + 400	744 + 900	9856.62	27	812 + 550	815 + 300	16436.30
4	744 + 900	746 + 900	32642.36	28	815 + 300	816 + 800	11334.91
5	746 + 900	748 + 150	29969.09	29	816 + 800	820 + 250	24317.24
6	748 + 150	756 + 650	30124.58	30	820 + 250	820 + 750	15234.56
7	756 + 650	758 + 250	48396.59	31	820 + 750	825 + 850	12885.41
8	758 + 250	759 + 150	37436.07	32	825 + 850	827 + 050	7400.24
9	759 + 150	763 + 250	33595.15	33	827 + 050	828 + 900	10458.72
10	763 + 250	769 + 850	18990.41	34	828 + 900	829 + 200	11989.38
11	769 + 850	771 + 050	11544.81	35	829 + 200	830 + 450	11487.72
12	771 + 050	773 + 750	15329.13	36	830 + 450	831 + 750	14995.02
13	773 + 750	779 + 050	12812.73	37	831 + 750	834 + 750	11720.69
14	779 + 050	783 + 250	9405.49	38	834 + 750	835 + 900	14023.97
15	783 + 250	785 + 650	9303.44	39	835 + 900	839 + 350	10140.88
16	785 + 650	788 + 050	11372.47	40	839 + 350	842 + 950	14671.33
17	788 + 050	789 + 250	16552.20	41	842 + 950	850 + 500	28169.94
18	789 + 250	791 + 450	13029.64	42	850 + 500	853 + 550	13946.77
19	791 + 450	794 + 650	9232.76	43	853 + 550	854 + 600	26220.97
20	794 + 650	795 + 550	11462.93	44	854 + 600	863 + 350	12613.41
21	795 + 550	797 + 350	6078.00	45	863 + 350	867 + 350	7808.71
22	797 + 350	799 + 350	12954.40	46	867 + 350	872 + 750	18418.16
23	799 + 350	804 + 300	8889.14	47	872 + 750	886 + 600	9634.83
24	804 + 300	805 + 200	10726.43				

\*Obtenido de retrocálculo (2013)

#### 4.4. NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO (SN efectivo)

En base a la sectorización final del tramo se han determinados los números estructurales que se indican a continuación:

Tabla N° 15: Valores de SN efectivo, según sectorización

Sector	De	Hasta	SN efectivo 2013	Sector	De	Hasta	SN efectivo 2013
1	736 + 600	742 + 150	5.00	4	744 + 900	746 + 900	5.80
2	742 + 150	744 + 400	3.98	5	746 + 900	748 + 150	6.30
3	744 + 400	744 + 900	4.71	6	748 + 150	756 + 650	6.16

GMI S.A.  
  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP 20737  
 Ingeniero de Estructuras y Pavimentación

GMI S.A.  
  
 Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 20 de 28
----------------------------------	--	--



Sector	De	Hasta	SN efectivo 2013
7	756 + 650	758 + 250	5.12
8	758 + 250	759 + 150	4.79
9	759 + 150	763 + 250	4.34
10	763 + 250	769 + 850	4.38
11	769 + 850	771 + 050	3.70
12	771 + 050	773 + 750	3.56
13	773 + 750	779 + 050	4.26
14	779 + 050	783 + 250	3.19
15	783 + 250	785 + 650	3.94
16	785 + 650	788 + 050	3.60
17	788 + 050	789 + 250	4.32
18	789 + 250	791 + 450	4.99
19	791 + 450	794 + 650	3.48
20	794 + 650	795 + 550	3.33
21	795 + 550	797 + 350	2.70
22	797 + 350	799 + 350	3.91
23	799 + 350	804 + 300	3.01
24	804 + 300	805 + 200	3.62
25	805 + 200	807 + 350	2.62
26	807 + 350	812 + 550	2.85
27	812 + 550	815 + 300	3.51

Sector	De	Hasta	SN efectivo 2013
28	815 + 300	816 + 800	4.32
29	816 + 800	820 + 250	5.48
30	820 + 250	820 + 750	4.76
31	820 + 750	825 + 850	4.14
32	825 + 850	827 + 050	3.08
33	827 + 050	828 + 900	3.00
34	828 + 900	829 + 200	2.88
35	829 + 200	830 + 450	3.58
36	830 + 450	831 + 750	3.64
37	831 + 750	834 + 750	3.52
38	834 + 750	835 + 900	3.82
39	835 + 900	839 + 350	3.83
40	839 + 350	842 + 950	3.88
41	842 + 950	850 + 500	4.53
42	850 + 500	853 + 550	3.65
43	853 + 550	854 + 600	3.96
44	854 + 600	863 + 350	2.92
45	863 + 350	867 + 350	2.24
46	867 + 350	872 + 750	3.54
47	872 + 750	886 + 600	3.47

\*Obtenido de retrocálculo (2013)

#### 4.5. NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (SN requerido)

Para el cálculo se necesita conocer los parámetros que exige la metodología AASHTO 93 que se indican a continuación:

##### a) Confiabilidad (Desviación Estándar Normal)

Básicamente, es una forma de incorporar cierto grado de certeza en el proceso de diseño, para garantizar que la sección del pavimento proyectado se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tráfico y medio ambiente durante el periodo de diseño, esto dependen de la importancia de la vía, los valores fluctúan entre 50% para vías locales a 99.9% en vías nacionales, tal como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla N° 16: Valores de confiabilidad (Tabla 2.2 de la Guía de diseño AASHTO 1993)

Clasificación	Niveles de Confiabilidad Recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75 – 95
Colectoras de Transito	80 - 95	75 – 95
Carreteras Locales	50 - 80	50 - 80

GMI S.A.  
ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
CIP 18797  
Estructuras y Pavimentación

GMI S.A.  
Ing. Abdón Arévalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 21 de 28
----------------------------------	--	--



En la siguiente tabla, se muestra los valores de Desviación Standard Normal que se adopta en base al Nivel de Confianza, según la Guía de Diseño AASHTO.

Tabla N° 17: Valores de Desviación Estándar Normal

Niveles de Confabilidad	Desviación Estándar Normal
60	-0.253
-	-
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090

La confiabilidad considerada en la verificación del diseño es de 95% para un periodo de 5 años.

**b) Desviación Estándar Total (So).**

Es la desviación estándar de la población de valores obtenidos por AASHTO, varía de 0.40 a 0.50 para pavimentos flexibles.

Para la presente verificación la desviación estándar considerada es de 0.42.

**c) Variación del Índice de Serviciabilidad**

La Serviciabilidad es un parámetro que relaciona la condición funcional con la condición estructural de la vía. El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), varía de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta). En el ensayo AASHTO, se obtuvo una Serviciabilidad inicial (Po) de 4.2 para pavimentos flexibles y el índice de Serviciabilidad más bajo (Pt) es de 2.0, que puede tolerarse antes de que sea necesario un refuerzo o una rehabilitación para las carreteras.

A fin de profundizar el análisis se ha realizado una evaluación integral de la guía en este acápite, verificándose que sugiere emplear un PSI final mínimo de 2.5 para vías como las que nos ocupa, por lo que en nuestro caso concordante con este criterio se define

$$\text{PSI inicial} = 4.2$$

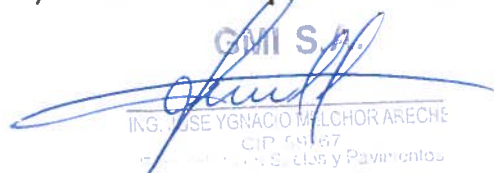
$$\text{PSI Final} = 2.0$$

$$\Delta\text{PSI} = 2.2$$

**d) Periodo de Diseño**

El periodo de diseño para la presente verificación es de 5 años.

**e) Coeficiente de Aporte Estructural**

GMI S.A.  
  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHOR ARECHE  
 CIP 61167  
 Especialista en Estudios y Pavimentos

GMI S.A.  
  
 Ing. Adón Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 22 de 28
----------------------------------	--	--



El coeficiente estructural de la carpeta asfáltica fue estimada a partir de las correlaciones que la guía de diseño, el cual es presentada en la figura N°6:

Figura N° 6: Coeficiente de aporte estructural de la Carpeta asfáltica.

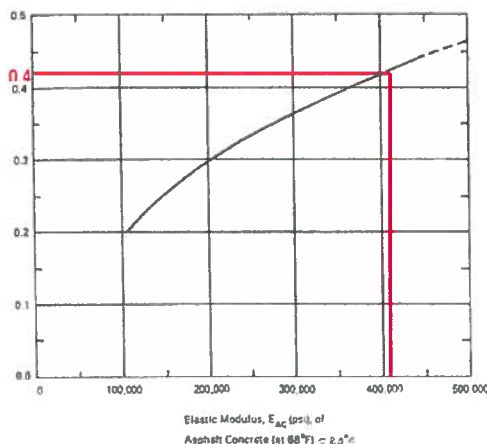


Tabla N° 18: Coeficiente Estructural de la carpeta asfáltica en el pavimento nuevo

Capa	Mr (psi)	Coef. Estruct
Carpeta Asfáltica	420,000	0.42/pulg

#### f) Fórmula AASHTO 93

Para poder calcular el valor del SN requerido, hay que conocer los parámetros anteriormente ya mencionados y la siguiente fórmula:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

Donde:

- $W_{18}$  : Número de repeticiones de eje equivalente (ESAL)
- $Z_R$  : confiabilidad
- $S_o$  : desviación estándar
- SN : número estructural
- $\Delta PSI$  : Pérdida de Serviciabilidad
- $M_R$  : Módulo resiliente de la subrasante

Tabla N° 19: Número Estructural Requerido, según sectorización

Sector	De	Hasta	SN Requerido Año 5
1	736 + 600	742 + 150	2.53
2	742 + 150	744 + 400	3.62

Sector	De	Hasta	SN Requerido Año 5
3	744 + 400	744 + 900	3.82
4	744 + 900	746 + 900	2.51

GMI S.A.  
ING. IGNACIO MELCHOR ARECHE  
CIP: 19767  
Especialista en Sectos y Pavimentos

GMI S.A.  
Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 23 de 28
----------------------------------	--	--



Sector	De	Hasta	SN Requerido Año 5
5	746 + 900	748 + 150	2.59
6	748 + 150	756 + 650	2.59
7	756 + 650	758 + 250	2.17
8	758 + 250	759 + 150	2.39
9	759 + 150	763 + 250	2.49
10	763 + 250	769 + 850	3.05
11	769 + 850	771 + 050	3.91
12	771 + 050	773 + 750	3.55
13	773 + 750	779 + 050	3.77
14	779 + 050	783 + 250	4.18
15	783 + 250	785 + 650	4.20
16	785 + 650	788 + 050	3.93
17	788 + 050	789 + 250	3.46
18	789 + 250	791 + 450	3.78
19	791 + 450	794 + 650	4.23
20	794 + 650	795 + 550	3.94
21	795 + 550	797 + 350	4.76
22	797 + 350	799 + 350	3.71
23	799 + 350	804 + 300	4.52
24	804 + 300	805 + 200	4.26
25	805 + 200	807 + 350	4.86
26	807 + 350	812 + 550	4.33
27	812 + 550	815 + 300	3.69

Sector	De	Hasta	SN Requerido Año 5
28	815 + 300	816 + 800	4.18
29	816 + 800	820 + 250	3.23
30	820 + 250	820 + 750	3.79
31	820 + 750	825 + 850	4.01
32	825 + 850	827 + 050	4.79
33	827 + 050	828 + 900	4.29
34	828 + 900	829 + 200	4.10
35	829 + 200	830 + 450	4.16
36	830 + 450	831 + 750	3.81
37	831 + 750	834 + 750	4.13
38	834 + 750	835 + 900	3.89
39	835 + 900	839 + 350	4.33
40	839 + 350	842 + 950	3.84
41	842 + 950	850 + 500	3.06
42	850 + 500	853 + 550	3.90
43	853 + 550	854 + 600	3.14
44	854 + 600	863 + 350	4.03
45	863 + 350	867 + 350	4.71
46	867 + 350	872 + 750	3.55
47	872 + 750	886 + 600	4.41

#### 4.6. REFUERZO ESTRUCTURAL

Para obtener el refuerzo adicional respecto al definido por el estudio de mantenimiento, al número estructural remanente ( $SN_{Rem\ 2014}$ ) se le resta el espesor a fresar en cada sector, obteniéndose el número estructural fresado ( $SN_{Fresado\ 2014}$ ).

Luego, la diferencia del  $SN_{Req\ 2014-2018}$  y el  $SN_{Fresado\ 2014}$  entre el coeficiente de aporte estructural de la carpeta asfáltica (0.42) nos proporciona el espesor estructural necesario en pulgadas; a este valor se le resta el definido en cada sector obteniéndose el refuerzo adicional para cada caso.

Para el cálculo se aplica la siguiente expresión:

$$D_{01} = \frac{SN_{01}}{a_{01}} = \frac{SN_{2014-2018} - SN_{Fresado}}{a_{01}}$$

Donde:

$SN_{01}$  = Número estructural requerido para el periodo de 5 años (2014-2018)

$a_{01}$  = Coeficiente estructural para recapeo de concreto asfáltico, es igual a 0.42

GMI S.A.  
ING. JOSÉ YGNACIO MELIÓR ARELLANO  
CIP 20731  
Especialista en Sectores y Pavimentos

GMI S.A.  
Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 24 de 28
----------------------------------	---	--



$D_{01}$  = Espesor requerido de recapeo.

$SN_{REQ\ 2014-2018}$  = Número estructural requerido para el transito futuro periodo 0-5 años.

$SN_{Fresado}$  = Número Estructural Remanente del periodo 0 - 5 años.

Los resultados obtenidos se indican a continuación:

Tabla N° 20 Calculo de espesores de refuerzo adicional

Sector	De	Hasta	Mr (psi)	SN Requerido Año 5	Refuerzo necesario AÑO 5 (pulg)	Refuerzo requerido adicional (pulg)	Espesores Constructivos adicionales 2013
1	736 + 600	742 + 150	32114.98	2.53	-5.79	0.0	0.0
2	742 + 150	744 + 400	11559.88	3.62	-0.67	0.0	0.0
3	744 + 400	744 + 900	9856.62	3.82	-1.97	0.0	0.0
4	744 + 900	746 + 900	32642.36	2.51	-7.70	0.0	0.0
5	746 + 900	748 + 150	29969.09	2.59	-8.70	0.0	0.0
6	748 + 150	756 + 650	30124.58	2.59	-8.37	0.0	0.0
7	756 + 650	758 + 250	48396.59	2.17	-6.91	0.0	0.0
8	758 + 250	759 + 150	37436.07	2.39	-5.62	0.0	0.0
9	759 + 150	763 + 250	33595.15	2.49	-4.33	0.0	0.0
10	763 + 250	769 + 850	18990.41	3.05	-3.06	0.0	0.0
11	769 + 850	771 + 050	11544.81	3.91	0.86	0.9	1.0
12	771 + 050	773 + 750	15329.13	3.55	0.23	0.2	0.0
13	773 + 750	779 + 050	12812.73	3.77	-1.01	0.0	0.0
14	779 + 050	783 + 250	9405.49	4.18	3.57	1.6	1.5
15	783 + 250	785 + 650	9303.44	4.20	0.99	0.0	0.0
16	785 + 650	788 + 050	11372.47	3.93	1.20	0.0	0.0
17	788 + 050	789 + 250	16552.20	3.46	-1.92	0.0	0.0
18	789 + 250	791 + 450	13029.64	3.78	-2.75	0.0	0.0
19	791 + 450	794 + 650	9232.76	4.23	2.85	0.3	0.0
20	794 + 650	795 + 550	11462.93	3.94	2.23	0.2	0.0
21	795 + 550	797 + 350	6078.00	4.76	5.28	2.3	2.0
22	797 + 350	799 + 350	12954.40	3.71	-0.27	0.0	0.0
23	799 + 350	804 + 300	8889.14	4.52	4.33	2.3	2.0
24	804 + 300	805 + 200	10726.43	4.26	2.29	1.3	1.0

GMI S.A.  
ING. JOSÉ YGNACIO MELCHIR ARECHU  
CIP 54767  
Especialista en Suelos y Pavimentos

GMI S.A.  
Ing. Abdon Arevalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731



181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013  Página 25 de 28
----------------------------------	---	--



Sector	De	Hasta	Mr (psi)	SN Requerido Año 5	Refuerzo necesario AÑO 5 (pulg)	Refuerzo requerido adicional (pulg)	Espesores Constructivos adicionales 2013
25	805 + 200	807 + 350	7065.07	4.86	5.60	3.1	3.0
26	807 + 350	812 + 550	10164.29	4.33	4.21	2.7	2.5
27	812 + 550	815 + 300	16436.30	3.69	0.76	0.0	0.0
28	815 + 300	816 + 800	11334.91	4.18	-0.10	0.0	0.0
29	816 + 800	820 + 250	24317.24	3.23	-5.24	0.0	0.0
30	820 + 250	820 + 750	15234.56	3.79	-2.17	0.0	0.0
31	820 + 750	825 + 850	12885.41	4.01	-0.08	0.0	0.0
32	825 + 850	827 + 050	7400.24	4.79	4.82	2.8	2.5
33	827 + 050	828 + 900	10458.72	4.29	3.79	1.8	1.5
34	828 + 900	829 + 200	11989.38	4.10	3.60	1.1	1.0
35	829 + 200	830 + 450	11487.72	4.16	2.07	0.6	0.5
36	830 + 450	831 + 750	14995.02	3.81	0.74	0.0	0.0
37	831 + 750	834 + 750	11720.69	4.13	2.22	1.2	1.0
38	834 + 750	835 + 900	14023.97	3.89	0.49	0.5	0.5
39	835 + 900	839 + 350	10140.88	4.33	1.77	0.3	0.0
40	839 + 350	842 + 950	14671.33	3.84	0.16	0.0	0.0
41	842 + 950	850 + 500	28169.94	3.06	-3.39	0.0	0.0
42	850 + 500	853 + 550	13946.77	3.90	0.99	0.0	0.0
43	853 + 550	854 + 600	26220.97	3.14	-1.82	0.0	0.0
44	854 + 600	863 + 350	12613.41	4.03	3.35	1.9	2.0
45	863 + 350	867 + 350	7808.71	4.71	6.15	3.2	3.0
46	867 + 350	872 + 750	18418.16	3.55	0.53	0.0	0.0
47	872 + 750	886 + 600	9634.83	4.41	4.12	3.1	3.0

GMI S.A.  
  
 ING. JOSÉ YGNACIO MELCHIORA RECIO  
 CIP 59767  
 Especialista en Suelos y Pavimentación

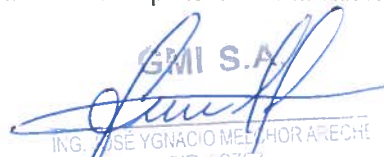
GMI S.A.  
  
 Ing. Abdon Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	<b>ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600</b> <b>TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600</b> <b>CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL</b>	Fecha: 16/05/2013 Página 26 de 28
----------------------------------	---	--------------------------------------



## 5. CONCLUSIONES

- La condición estructural del pavimento, fue evaluado mediante el empleo del Deflectómetro de Impacto (FWD por sus siglas en ingles Falling Weigth Deflectometer).
- El trabajo de campo consistió en realizar la medición de las deflexiones con el Deflectómetro de Impacto (FWD), cada 250 metros en cada carril desfasados en 125 metros entre carriles.
- El cálculo del tráfico de diseño (ESAL) se efectúa a partir del IMD anual del estudio de tráfico corregidos por todos los factores y las tasas de crecimiento igualmente definido en el referido estudio. Para esto se aplican las ecuaciones generales de AASHTO para calcular los Factores Camión (esto es por iteración, partiendo de valores iniciales de SN y Factores Camión calculados a partir de las ecuaciones simplificadas)
- El módulo resiliente de la subrasante se calculó de acuerdo al procedimiento sugerido en la Guía AASHTO 93 (Retrocálculo), el cual fue afectado con el Factor de corrección  $C=0.62$  para el caso de una subrasante debajo de un pavimento con presencia de base y/o sub base.
- En lo referente a la colocación del base granular y complementariamente a lo establecido en las E.T. se indica que la extensión de la misma podrá efectuarse además de con terminadora mecánica con otro equipos debiendo estos ser verificados por la supervisión antes de su empleo.
- La adición del Pavimento Asfáltico Recuperado (RAP) a las bermas, se efectuará previa escarificación de las mismas y posterior compactación. El espesor de RAP de adición será variable de 7.0 a 10.0 cm y su tamaño máximo será de 1.0".
- El número estructural efectivo del pavimento (SNefect) fue también calculado de acuerdo a las recomendaciones de la Guía AASHTO 93 para el retrocálculo.
- Se calculo los refuerzos estructurales adicionales a los establecidos en el estudio de mantenimiento periódico de la carretera: Panamericana Norte Tramo II:

GMI S.A.  
  
ING. YGNACIO MELCHOR ARECHE  
CIP 59767  
Especialista en Suolos y Pavimentos

GMI S.A.  
  
Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
Jefe de Estudios  
CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600 TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600  CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	Fecha: 16/05/2013 Página 27 de 28
----------------------------------	---	--------------------------------------



Sector	De	Hasta	Mr (psi)	SN Requerido Año 5	Refuerzo necesario AÑO 5 (pulg)	Refuerzo requerido adicional (pulg)	Espesores Constructivos adicionales 2013	Espesores Constructivos totales 2013
1	736 + 600	742 + 150	32114.98	2.53	-5.79	0.0	0.0	1.0
2	742 + 150	744 + 400	11559.88	3.62	-0.67	0.0	0.0	1.0
3	744 + 400	744 + 900	9856.62	3.82	-1.97	0.0	0.0	1.5
4	744 + 900	746 + 900	32642.36	2.51	-7.70	0.0	0.0	0.0
5	746 + 900	748 + 150	29969.09	2.59	-8.70	0.0	0.0	0.0
6	748 + 150	756 + 650	30124.58	2.59	-8.37	0.0	0.0	0.0
7	756 + 650	758 + 250	48396.59	2.17	-6.91	0.0	0.0	1.0
8	758 + 250	759 + 150	37436.07	2.39	-5.62	0.0	0.0	1.0
9	759 + 150	763 + 250	33595.15	2.49	-4.33	0.0	0.0	1.0
10	763 + 250	769 + 850	18990.41	3.05	-3.06	0.0	0.0	0.0
11	769 + 850	771 + 050	11544.81	3.91	0.86	0.9	1.0	1.0
12	771 + 050	773 + 750	15329.13	3.55	0.23	0.2	0.0	0.0
13	773 + 750	779 + 050	12812.73	3.77	-1.01	0.0	0.0	0.0
14	779 + 050	783 + 250	9405.49	4.18	3.57	1.6	1.5	3.5
15	783 + 250	785 + 650	9303.44	4.20	0.99	0.0	0.0	2.0
16	785 + 650	788 + 050	11372.47	3.93	1.20	0.0	0.0	2.5
17	788 + 050	789 + 250	16552.20	3.46	-1.92	0.0	0.0	0.0
18	789 + 250	791 + 450	13029.64	3.78	-2.75	0.0	0.0	0.0
19	791 + 450	794 + 650	9232.76	4.23	2.85	0.3	0.0	2.5
20	794 + 650	795 + 550	11462.93	3.94	2.23	0.2	0.0	2.0
21	795 + 550	797 + 350	6078.00	4.76	5.28	2.3	2.0	5.0
22	797 + 350	799 + 350	12954.40	3.71	-0.27	0.0	0.0	2.0
23	799 + 350	804 + 300	8889.14	4.52	4.33	2.3	2.0	4.0
24	804 + 300	805 + 200	10726.43	4.26	2.29	1.3	1.0	2.0
25	805 + 200	807 + 350	7065.07	4.86	5.60	3.1	3.0	5.5
26	807 + 350	812 + 550	10164.29	4.33	4.21	2.7	2.5	4.0
27	812 + 550	815 + 300	16436.30	3.69	0.76	0.0	0.0	1.0
28	815 + 300	816 + 800	11334.91	4.18	-0.10	0.0	0.0	0.0
29	816 + 800	820 + 250	24317.24	3.23	-5.24	0.0	0.0	0.0

GMI S.A.  
  
 ING. JOSÉ IGNACIO MELCHIOR ARECHAGA  
 CIP: 59767  
 Especialista en Suelos y Pavimentos.

GMI S.A.  
  
 Ing. Abdón Arevalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731

181154-66-INF-003 Revisión: 0	<b>ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO KM 557+600 – KM 886+600</b> TRAMO II: KM. 736+600 – KM. 886+600 <b>CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL</b>	Fecha: 16/05/2013 Página 28 de 28
----------------------------------	--	--------------------------------------



Sector	De	Hasta	Mr (psi)	SN Requerido Año 5	Refuerzo necesario AÑO 5 (pulg)	Refuerzo requerido adicional (pulg)	Espesores Constructivos adicionales 2013	Espesores Constructivos totales 2013
30	820 + 250	820 + 750	15234.56	3.79	-2.17	0.0	0.0	0.0
31	820 + 750	825 + 850	12885.41	4.01	-0.08	0.0	0.0	1.0
32	825 + 850	827 + 050	7400.24	4.79	4.82	2.8	2.5	4.5
33	827 + 050	828 + 900	10458.72	4.29	3.79	1.8	1.5	3.5
34	828 + 900	829 + 200	11989.38	4.10	3.60	1.1	1.0	3.5
35	829 + 200	830 + 450	11487.72	4.16	2.07	0.6	0.5	2.0
36	830 + 450	831 + 750	14995.02	3.81	0.74	0.0	0.0	1.0
37	831 + 750	834 + 750	11720.69	4.13	2.22	1.2	1.0	2.0
38	834 + 750	835 + 900	14023.97	3.89	0.49	0.5	0.5	0.5
39	835 + 900	839 + 350	10140.88	4.33	1.77	0.3	0.0	1.5
40	839 + 350	842 + 950	14671.33	3.84	0.16	0.0	0.0	1.0
41	842 + 950	850 + 500	28169.94	3.06	-3.39	0.0	0.0	0.0
42	850 + 500	853 + 550	13946.77	3.90	0.99	0.0	0.0	1.5
43	853 + 550	854 + 600	26220.97	3.14	-1.82	0.0	0.0	1.0
44	854 + 600	863 + 350	12613.41	4.03	3.35	1.9	2.0	3.5
45	863 + 350	867 + 350	7808.71	4.71	6.15	3.2	3.0	6.0
46	867 + 350	872 + 750	18418.16	3.55	0.53	0.0	0.0	1.0
47	872 + 750	886 + 600	9634.83	4.41	4.12	3.1	3.0	4.0

GMI S.A.  
  
 ING. J. IGNACIO MEJÍA ARCE  
 CIP 69767  
 Área de Estudios y Pavimentos

GMI S.A.  
  
 Ing. Abdón Arévalo Cotrina  
 Jefe de Estudios  
 CIP 20731