

# ***Estudio de Falla y Metodología de Remediación del Pavimento de la Autopista Duarte en la República Dominicana***

*Gustavo G. Estrada  
Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil  
Alberto Guzman Ph.D.  
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental  
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

**Abstracto** — *Se presenta una solución para la remediación del pavimento en un tramo de la autopista Juan Pablo Duarte en la República Dominicana. Esta autopista es la vía de comunicación más importante en este país ya que conecta la región norte del país con la ciudad de Santo Domingo. Se ha registrado en algunos tramos de esta vía diferentes tipos de fallas en el pavimento, tales como: bombeos de finos, grietas de diferentes tipos y baches. La remediación para este tipo de fallas constara con una técnica basada en triturar el pavimento de hormigón hidráulico que ha fallado para reutilizarlos con algunos componentes químicos tales como la emulsión asfáltica catiónica (rapid curing) y materiales de mayor resistencia sobre esta como cementante y sellado y agregando mayor economía en el proceso, pues sobre esta base se colocaría la capa de rodadura de hormigón asfáltico caliente.*

**Términos Claves** — *Carpeta Asfáltica, Pavimento, Rapid Curing, Remediación.*

## **INTRODUCCIÓN**

La autopista Juan Pablo Duarte en República Dominicana es la vía de mayor flujo de vehículos con un Trafico Promedio Diario de 8,300 vehículos al día según La Dirección General de Control, Mantenimiento y Supervisión del Sistema de Peajes Nacionales del Ministerio de Obras Publicas de la Republica Dominicana (MOPC) [1]. Esta data de vehículos incluye los de dos o más ejes, ya que, esta autopista es la que comunica la región norte del país que es donde está la mayor producción agrícola, con la ciudad de Santo Domingo. En este proyecto se presenta la remediación del pavimento del tramo comprendido entre los kilómetros cuarenta (40) y cuarenticinco (45) en dirección

noroeste-sureste donde se encontraron fallas los baches mostrados en la figura 1.



**Figura 1**  
**Baches**

**Tomada aproximándose al km 43 dirección noroeste-sureste de la autopista Juan Pablo Duarte**

Se tomará en cuenta datos suplidos por Ministerio de Obras Públicas de la República Dominicana [1].

Entre las informaciones que tomaremos en cuenta tendremos:

- Tráfico Diario de Vehículos
- Ejes de Carga de los Vehículos
- Detalles del Pavimento Anterior
- Drenajes del Tramo de la Carretera
- Ensayos a los Materiales a Utilizar
- Numero Estructural del Pavimento

## **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DEFINICIONES**

Existen varios métodos para la remediación de pavimentos Y asfalto según la AASHTO, una de ellas es el Método de Rehabilitación con Recapeo “overlays” [2], que se basa en determinar las defecciones con el aparato “FWD” Falling Wheel

Deflectometer, medida de la deflexión no destructiva el cual cuenta con:

- Concreto Asfáltico sobre Concreto Asfáltico
- Concreto Asfáltico sobre Concreto Hidráulico
- Concreto Hidráulico sobre Sub-Base Granular

También se encuentra otro método para remediación con el nombre de Método de Rehabilitación sin Recapeo [3], el cual se basa:

- Reparación del Full-Depth (todo asfalto), fresado en frío
- Tratamiento superficial con riegos asfálticos

Para el diseño de pavimento de esta remediación se usara la ecuación 1. Provista por la Sociedad Americana de Funcionarios de Transportación y Carreteras (AASHTO) por sus siglas en inglés [4].

También el ábaco de diseño para pavimentos flexibles provisto por la AASHTO será de utilidad para este nuevo diseño, ya que uno de los fallos a remediar seria varios baches producidos por contaminación en los agregados y falta de mantenimiento en el drenaje lateral en el mencionado tramo de la Autopista Juan Pablo Duarte.

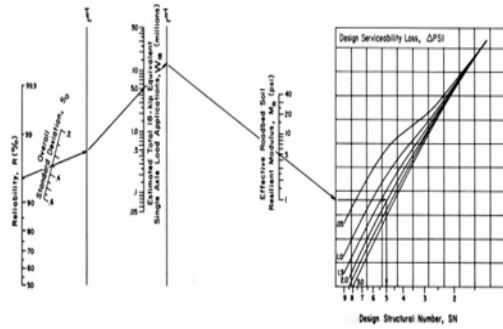
Este se debe obtener según la norma de la AASHTO II-32 [4].

Ecuación de Diseño Estructural de Pavimento

$$\text{Log} w_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log} M_R - 8.07 \quad (1)$$

Dónde:

- W18 = Tráfico equivalente o ESAL's.
- ZR = Factor de desviación normal para un nivel de confiabilidad R
- So = Desviación estándar
- ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado
- MR = Módulo de resiliencia efectivo de la subrasante(utilizando el valor del CBR)
- SN = Número estructural



AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES. P. II-32

Figura 2  
Diseño Estructural del Pavimento

## OBJETIVO

La finalidad de este Proyecto es diseñar un pavimento flexible para remediar el que fallo anteriormente, triturándolo y aglomerándolo con una emulsión asfáltica catiónica de curado rápido que es un sellante de penetración.

## METODOLOGÍA

Esta sección describe la metodología que se seguirá, limitado a cálculos para el diseño del pavimento, ensayos de laboratorio y la aplicación de Microsoft Excel para obtener los resultados.

Se utilizó una técnica basada en triturar el pavimento que ha fallado, se mezcla con aditivos como emulsión asfáltica catiónica, se coloca sobre una capa de gravilla de tamaño 1/4" y 1/2". Como resultado obtendremos una capa con una nueva base para el pavimento flexible, un mejoramiento en la economía de materiales y fácil de suplir con una resistencia del pavimento mejorada para la cantidad de vehículos que la transitan diariamente [5].

Además se hizo ensayos a los materiales que son:

- Clasificación del suelo
- Límites Líquidos y Plásticos
- Proctor Modificado
- Entre otros

También se tomara en cuenta una buena selección de los agregados que cumplan con los requerimientos recomendados por la ASTM para el

diseño de mezcla a utilizar y las proporciones adecuadas de cada uno de sus componentes para la capa de rodadura final [6].

Para diseñar el pavimento es importante obtener el número estructural (SN), que es el número que expresa la resistencia del pavimento en términos del valor de soporte del suelo, del equivalente diario de 18 kip de carga por eje, del índice de utilidad y del factor regional. Los coeficientes adecuados convierten el valor SN en el espesor real de la carpeta, de la base y de la sub-base.

La tabla 1 muestra el promedio de tráfico diario vehículos (ADT), donde T.I.P. es el tráfico inducido por periodo y T.I.A. es el tráfico inducido por año, según la Dirección General de Control, Mantenimiento y Supervisión del Sistema de Peajes Nacionales del ministerio de obras públicas para el diseño de este nuevo pavimento [1].

**Tabla 1**  
Proyección del Tráfico Promedio Diario en Ambas Direcciones en el Tramo Km 40 al Km 45

AÑO	T.I.P.	T.I.A.	TPD
2014	-	-	13650.00
2019	5	5	16038.00
2024	5	5	18845.30
2029	5	5	22143.60

DATO OBTENIDO INFORME N°26 DE SUPERVISIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOPISTA DUARTE, MOPC.

**Tabla 2**  
Composición del Tráfico de Camiones (Ejes Sencillos)

EJES SENCILLOS		
PROMEDIO DE CARGA POR EJES (KIP)	NUMERO DE EJES	PORCENTAJE DEL TOTAL 2703 EJES
3.30	77	2.85%
6.60	764	28.26%
11.000	497	18.39%
15.400	222	8.2%
19.800	114	4.2%
24.400	140	5.1%
28.600	170	6.2%
33.000	98	3.6%
37.400	19	0.7%
41.800	5	0.1%
46.200	0	0.0%
50.600	1	0.04%
55.000	0	0.0%
59.400	0	0.0%
63.800	0	0.0%
<b>TOTAL</b>	<b>2107</b>	<b>77.95%</b>

En las tablas 2 y 3 obtuvimos el promedio de ejes de cargas de los vehículos incluyendo los ejes

superiores e inferiores a los 18 kip para 2,703 ejes según la DGTT.

Y luego en la tabla 4 y 5 las repeticiones de carga en los ejes sencillos de carga y los ejes tándem [1].

**Tabla 3**  
Composición del Tráfico de Camiones (Ejes Tandem)

EJES TANDEM		
PROMEDIO DE CARGA POR EJES (KIPS)	NUMERO DE EJES	PORCENTAJE DEL TOTAL 2703 EJES
3.30	1	0.00%
6.60	4	0.04%
11.000	25	0.15%
15.400	29	0.92%
19.800	20	1.07%
24.400	44	0.74%
28.600	78	1.63%
33.000	76	2.89%
37.400	70	2.81%
41.800	58	2.59%
46.200	91	2.15%
50.600	65	3.37%
55.000	27	4.40%
59.400	8	1.00%
63.800	0	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>596</b>	<b>22.05%</b>

**Tabla 4**  
Repeticiones de Carga

EJES SENCILLOS		
PROMEDIO DE CARGA	PORCENTAJE TOTAL 2703 EJES	REPETICIONES PROYECTADAS
3.30	2.83%	370,000.25
6.60	28.25%	3,668,854.50
11.000	18.39%	2,387,481.75
15.400	8.21%	1,065,854.50
19.800	4.22%	547,861.30
24.400	5.18%	672,498.50
28.600	6.29%	816,599.25
33.000	3.63%	471,264.75
37.400	0.70%	90,877.30
41.800	0.18%	23,367.90
46.200	0.00%	0.00
50.600	0.04%	5,198.00
55.000	0.00%	0.00
59.400	0.00%	0.00
63.800	0.00%	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>77.95%</b>	<b>10,119</b>

**Tabla 5**  
Repeticiones de Carga

EJES TANDEM		
PROMEDIO DE CARGA	PORCENTAJE DEL TOTAL 2703 EJES	REPETICIONES DE CARGAS
3.30	0.00%	0.00
6.60	0.04%	5,248.00
11.000	0.15%	19,680.00
15.400	0.92%	120,704.00

19.800	1.07%	140,384.00
24.400	0.74%	97,088.00
28.600	1.63%	213,866.00
33.000	2.89%	379,168.00
37.400	2.81%	368,672.00
41.800	2.99%	339,808.00
46.200	2.15%	282,080.00
50.600	3.37%	442,144.00
55.000	2.40%	314,880.00
59.400	1.00%	131,200.00
63.800	0.30%	39,360.00
<b>TOTAL</b>	<b>22.06%</b>	<b>2,894,272.00</b>

DATOS REFERIDOS POR LA DGTT

**Tabla 6**  
**Factores de Equivalencia de Carga**

CARGA KIPS	EJES SENCILLOS	EJES TANDEM
	FACTORES DE EQUIVALENCIA A EJES SENCILLOS DE 18 KIPS	FACTORES DE EQUIVALENCIA A EJES SENCILLOS DE 18 KIPS
3.30	0.0020	0
6.60	0.0140	0.013
11.000	0.1000	0.039
15.400	0.4500	0.100
19.800	1.5000	0.260
24.400	3.8000	0.500
28.600	7.5000	0.950
33.000	14.0000	1.700
37.400	24.0000	2.700
41.800	34.0000	4.000
46.200	65.0000	6.500
50.600	98.0000	8.500
55.000	135.0000	8.500
59.400	230.0000	12.000
63.800	300.0000	17.000

DATOS REFERIDOS POR LA DGTT

Partiendo de la tabla 6 determinamos los factores de equivalencias para ejes sencillos y ejes tándem. Luego determinamos en las Tablas 7 y 8 el total equivalente a ejes sencillos y tándem de 18 kips, para luego aplicar la formula descrita en la página II-32 de la AASHTO guide of design of pavement structures [4]. También se puede usar el gráfico que nos provee la misma.

**Tabla 7**  
**Ejes Equivalentes de Ejes Sencillos de 18 Kips**

CARGAS KIPS	REPETICIONES PROYECTADA	FACTORES DE EQUIVALENCIA A EJES DE 18 KIPS	CARGAS EQUIVALENCIA A 18 KIPS
3.31	370,001.25	0.002	740.00
6.61	3,668,854.50	0.014	51,363.90
11.02	2,387,481.75	0.100	238,748.20
15.43	1,065,863.25	0.450	479,638.50
19.84	547,861.50	1.500	821,792.25
24.24	672,493.50	3.800	255,475.30
28.65	816,599.25	7.500	6,124,494.40
33.06	471,264.75	14.000	6,597,706.50
37.47	90,877.50	24.000	2,181,060.00
41.88	23,368.50	34.000	794,529.00
46.28	0.00	65.000	0.00
50.69	5,193.00	98.000	508,914.00
55.10	0.00	155.000	0.00
59.51	0.00	230.000	0.00
63.92	0.00	300.000	0.00

**Tabla 8**  
**Ejes Equivalentes de Ejes Tandem de 18 Kips**

CARGAS	REPETICIONES PROYECTADA	FACTORES DE EQUIVALENCIA A EJES DE 18 KIP	CARGAS EQUIVALENCIA A 18 KIP
3.31	0	-	-
6.61	5,240	0.0013	6.82
11.02	19,680	0.0130	255.80
15.43	120,704	0.0390	4,707.50
19.84	140,384	0.1000	14,038.40
24.24	97,085	0.2600	25,242.10
28.65	213,856	0.5000	106,928.00
33.06	379,168	0.9500	360,209.60
37.47	368,672	1.7000	626,742.40
41.88	339,808	2.7000	917,481.60
46.28	282,080	4.0000	1,128,320.00
50.69	442,144	6.5000	2,873,936.00
55.10	314,880	8.5000	2,676,480.00
59.51	131,700	12.0000	1,574,400.00
63.92	39,360	17.0000	669,120.00

Luego se obtuvo el resultado del total ejes equivalentes a 18 kips que es  $W_{18} = 29,032,330.20$ .

Para calcular el número estructural (SN), del nuevo pavimento aplicamos la formula por medio de ms Excel, y calculamos el numero con los siguientes datos de la Tabla 9.

**Tabla 9**  
**Datos para Determinar el Número Estructural (SN)**

VALORES	W18 (ESAL'S APD)	R (%)	So	Mr (PSD)	Pi	PT
VALOR ACTUAL	29,032,330.27	95	0.35	3500	4.4	2.5
RANGO VALOR TIPICO	0 – 80 MM	80% – 95%	0.30 – 0.50	3000 – 9000	4.4 – 4.8	2.0 – 3.0
VALOR TIPICO DEL SN	4.8					
SN DE DISEÑO A COMPARAR	4.8					
DISEÑO ES SUFICIENTE						

Luego confirmamos para determinar el SN requerido en la tabla 10 por motivos de seguridad utilizando una hoja de cálculo en Excel aplicando la fórmula del libro AASHTO FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN [4]:

**Tabla 10**  
**Resultado de Diseño del Pavimento**

CAPA	1	2	3
DESCRIPCION	CAPA DE RODADURA	BASE	SUB-BASE
COEFICIENTE DE CAPA (ei)	0.44	0.14	0.11
COEFICIENTE DRENAJE(mi)	1	1	1
COEFICIENTE DE CAPA(in)	4	10	12
SN	1.72	1.44	1.32
TOTAL = 4.48			

De esta manera confirmamos que el número estructural es suficiente para el nuevo diseño del pavimento [7].

### Aplicación del Diseño

El diseño se dividirá en tres partes:

#### Capa de Rodadura

La capa de rodadura estará compuesta de AC-30, grava-arena y polvillo de piedra caliza triturada con un espesor de 4".

#### Base

Como se mencionó anteriormente se triturará la base del pavimento anterior que fallo. Para triturar el pavimento de la base anterior se usó una guillotina de trituración de pavimentos marca stomper que se muestra en la figura 3. El cual

contiene un martillo de 12,900 libras, este aporta rapidez y reduce en un mínimo el uso de camiones de carga ya que el material será re-utilizado en la reconstrucción de la base.



LL Engineering - The Stomper Demolition Guillotine Pavement

**Figura 3**  
**Guillotina Rompe Pavimentos**

Con una muestra de 1545 gramos se determinó en el laboratorio la composición granulométrica del material como se muestra en las tablas 11 y 12 [6], luego se mezclará con una emulsión asfáltica de curado rápido en frío, para conformar la base de este nuevo pavimento y tendrá un espesor de 10". En su parte superior se penetrará con un sellante de gravilla de entre 1/2" y 1/4".

**Tabla 11**  
**Composición Granulométrica del Material Triturado de Capa de Rodadura**

Malla	Apertura, mm	Peso suelo ret.gr	% ret	Ret. Acomulado	% pasante
3 1/2"	87,00	0	0,00	0,00	100,00
3"	75,00	0	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,00	0	0,00	0,00	100,00
2"	50,00	0	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	50	3,24	3,24	96,76
3/4"	19,00	200	12,94	16,18	83,82
3/8"	9,50	570	36,89	53,07	46,93
4	4,75	300	19,42	72,49	27,51
10	2,00	203	13,14	85,63	14,37
40	0,42	115	7,44	93,07	6,93
200	0,074	13	0,84	93,92	6,08

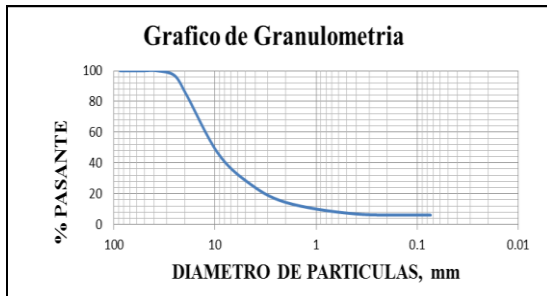


Figura 4  
Gráfico de Granulometría

Tabla 12  
Resultado de Granulometría

GRAVA	72.49	%
ARENA	21.42	%
FINOS	6.08	%

### Sub-Base

Esta capa estará conformada por una grava-arena triturada en cantera compactada al 100% del proctor modificado siendo menos resistente que la base con un grosor de 12".

Para el ensayo de este material se utilizó el método AASHTO T-180 [8]. En la tabla 13. Se especifica el peso de las muestras con sus respectivos resultados y en las tablas 14 y 15 la especificación del ensayo al proctor modificado del material y el contenido de agua del mismo

Tabla 13  
Especificación Ensayo Proctor Modificado

MOLDE No.	1	1	1	1
No.DE CAPAS	5	5	5	5
No.GOLPES/CAPAS	56	56	56	56
MAT.HUM-MOLDE	7472	7689	7900	7793
PESO DE MOLDE	2981	2981	2981	2981
PESO MAT-HUMEDO	4491	4708	4919	4812
VOL. MUESTRA	0.002	0.002	0.002	0.002
PESO UNITARIO HUM.	2.13	2.23	2.33	2.28

Tabla 14  
Contenido de Agua Proctor Modificado

ENVASE	MAT HUMEDO(gr)	MAT. SECO (gr)	%AGUA
CO16	57.15	55.2	1.95
CO18	63.7	61.5	2.2
CO3	92.3	87.75	4.55
CO49	85.3	80.65	4.65
CO12	94.1	87.35	6.75
11-A	97.35	90.35	7

CO2	110.8	101.3	9.5
CO4	114	103.45	10.55

Tabla 15  
Resultado para Curva Densidad-Humedad del Ensayo Proctor Modificado

% HUMEDAD	4.04	6.11	8.53	10.80
DENS. SECA	2051	2108	2153	2063

Figura 5  
Curva de Densidad – Humedad Proctor Modificado

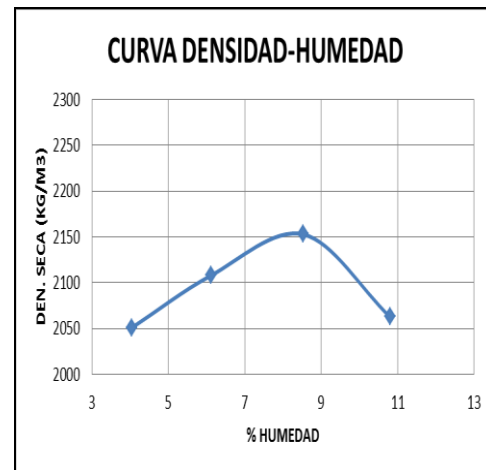


Tabla 16  
Resultado Proctor Modificado

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2156.00	KG/M3
HUMEDAD ÓPTIMA	8.20	%

Este diseño será distribuido en tres capas, utilizando las dimensiones y espesores anteriores a la remediación como se ve en la figura 6.

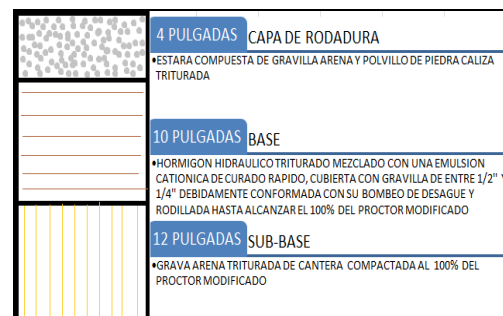


Figura 6  
Esquema del Diseño del Pavimento

## CONCLUSIÓN

Este nuevo pavimento gracias a la remediación aplicada tendrá un rendimiento mayor al que existía anterior al fallo con una economía considerable, ya que reduciremos la compra de materiales en canteras y prefabricados.

También se puede agregar que tiene un nivel bajo de dificultad para su aplicación y el tránsito no será afectado en su totalidad en el momento de remediar.

En este caso particularmente el poco material a utilizarse de cantera es abastecido en la misma zona ya que existen varias canteras en el kilómetro 30 de la autopista Juan Pablo Duarte que pueden suplir sin ningún problema los agregados necesarios para abastecer y consolidar el diseño de remediación propuesto.

## TRABAJOS FUTUROS

Este diseño de remediación a bajo costo y sencillo de elaborar puede ser aplicado en cualquier pavimento que haya fallado ya que es un mejoramiento para fallas a la base ocasionados por falta de drenajes o mantenimientos del mismo que fue el caso anterior.

Agregándole un sistema de drenaje de mayor capacidad y un mantenimiento más efectivo al mismo funcionara correctamente, por ejemplo revertir los taludes para poder limpiarlas con equipos mecánicos más barato.

## AGRADECIMIENTOS

Las informaciones necesarias para este proyecto fueron obtenidas gracias al ministerio de obras públicas. Alberto Guzman PhD. Contribuyo en la revisión y los análisis técnicos de este Proyecto. Ing. Salvador Montilla, contribuyo en la revisión

## REFERENCIAS

[1] Ministerio de Obras Públicas de República Dominicana, "Informe No. 26 de la Autopista Juan Pablo Duarte", MOPC, Santo Domingo, R.D. 1999.

- [2] AASHTO, AASHTO III-79 Rehability Method for Pavement with Overlays, 1999.
- [3] AAHTO, AAHSTO III-59 Rehability Method for Pavement without Overlays, 1999.
- [4] AASHTO, AASHTO II-32 Design of Pavement Structures, Design Chart for Pavement Structures, Guide for Design of Pavement Structures, 1999.
- [5] R. J. Miranda Rebolledo, "Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos", Universidad Austral de Chile, 2010.
- [6] ASTM INTERNATIONAL, ASTM D 6913-04 Standard Test Method for Particle Size-Distribution (Gradation) of Soils using Sieve Analysis, 2009.
- [7] AASHTO (marzo 14, 2008), AASHTO FLEXIBLE DESING SOFTWARE, SN Determination [online]. Disponible: <http://www.pavementinteractive.org/article/1993-aashto-flexible-pavement-structural-design>.
- [8] AASHTO, AASHTO T-180 Moisture-Density Relations of Soils, 1999.