



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

“Análisis de retrocálculo para la determinación de las propiedades del pavimento whitetopping de la vía Biblián – Zhud”

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Civil

Autores:

Marco Aurelio Parra Bernal

CI: 0302077284

Xavier Andrés Quizhpi Sisalima

CI: 0104853437

Director:

Ing. Jaime Asdrúbal Bojorque Iñiguez., PhD

CI: 0102857885

Cuenca, Ecuador

Septiembre - 2019



RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se realiza la evaluación estructural del pavimento whitetopping de la vía Biblián - Zhud mediante técnicas de retrocálculo. Mediante dicho análisis se busca determinar si los resultados obtenidos por tres metodologías de retrocálculo, se relacionan con los resultados que se obtienen a partir de 18 calicatas extraídas a lo largo de la vía. La evaluación estructural parte de los resultados que se obtienen mediante ensayos no destructivos de deflectometría a través del deflectómetro de impacto (FWD). Con dichos resultados, mediante retrocálculo se determina el módulo de reacción de la subrasante, el módulo de elasticidad, el módulo de rotura de la losa de hormigón y la eficiencia de la transferencia de carga entre las losas del pavimento. Las metodologías utilizadas para el análisis son; AASHTO 93, el software Elmod 6 y finalmente el método de la distancia crítica. Al comparar las correlaciones de las metodologías empleadas de retrocálculo, se determina que, si es factible realizar análisis de retrocálculo en pavimentos de estructura compuesta whitetopping, ya que los resultados indican relaciones en el rango de aceptables y excelentes, siendo el método de la distancia crítica, el que mejor se ajusta a los datos de campo con un 95% de relación.

PALABRAS CLAVE: Evaluación estructural. Retrocálculo. Pavimento whitetopping. Calicatas. Deflectometría. Módulo de reacción de la subrasante. Módulo de elasticidad. Módulo de rotura. Pavimento rígido.



ABSTRACT

On this research work the structural evaluation of the whitetopping pavement of the Biblián - Zhud track is described thought out of retro calculation techniques. This analysis determines if the results which were gotten by three retro calculation methodologies are related to the results of 18 soil spits, extracted along the way. The structural evaluation is based on the results obtained through non-destructive reflectometry tests through the impact reflectometer (FWD). With these results, the reaction module of the subgrade, the modulus of elasticity and the modulus of rupture of the concrete slab and the efficiency of load transfer between the paving slabs are determined by retro calculation. The methodologies used for the analysis are; AASHTO 93, the Elmod 6 software and finally the critical distance method. Comparing the correlations of the methodologies used for retro calculation, it is determined that, if it is feasible to perform analysis of retro calculation on pavements of whitetopping composite structure, since the results indicate relationships in the range of acceptable and excellent, being the distance method Critical, the one that best fits the field data with a 95% ratio.

KEY WORDS: Structural evaluation. Retro calculation. Whitetopping pavement. Soil spits. Reflectometry. Subgrade reaction module. Elasticity modulus. Rupture modulus. Rigid pavement.



INDICE GENERAL

Agradecimientos.....	20
Dedicatoria	21
Capítulo 1.....	22
1. Introducción	22
1.1 Antecedentes.....	23
1.2 Problemática.....	24
1.3 Justificación	24
1.4 Objetivos.....	25
1.4.1 Objetivo General.....	25
1.4.2 Objetivos Específicos	25
1.5 Alcance	25
1.6 Delimitación de la zona de estudio	26
Capítulo 2.....	27
2. Marco teórico	27
2.1 Generalidades.....	27
2.1.1 Definición de pavimento	27
2.1.2 Definición de pavimento compuesto	27
2.1.3 Pavimento compuesto whitetopping	27
2.1.3.1 Clasificación de pavimentos rígidos whitetopping.....	28
2.1.3.2 Estructura del pavimento whitetopping	29
2.1.3.2.1 Subrasante.....	29
2.1.3.2.2 Subbase	29
2.1.3.2.3 Base	29
2.1.3.2.4 Capa de Rodadura	29
2.1.3.2.5 Juntas.....	30
2.1.3.3 Consideraciones de rehabilitación para la metodología whitetopping.	30
2.2 Evaluación Estructural	31
2.2.1 Deflectómetro de Impacto	31
2.2.1.1 Localización de los ensayos	32
2.2.1.2 Ubicación de los sensores	33
2.2.1.3 Análisis del cuenco de deflexiones.....	33



- 2.2.1.4 Análisis de retrocálculo 36
 - 2.2.1.4.1 Clasificación del retrocálculo..... 36
- 2.2.2 Método AASHTO..... 37
 - 2.2.2.1 Transferencia de cargas..... 37
- 2.2.3 Software ELMOD 6 38
- 2.2.4 Método de la distancia crítica 39
 - 2.2.4.1 Principio del método 39
 - 2.2.4.2 Modelado de estructuras para obtener las desviaciones. 40
 - 2.2.4.3 Parámetros determinados por el método..... 41
- 2.2.4 Parámetros Estructurales 41
 - 2.2.4.1 Módulo de reacción de la subrasante 41
 - 2.2.4.2 Módulo de Elasticidad 41
 - 2.2.4.3 Módulo de rotura 42
- 2.3 Análisis de correlación..... 42
- Capítulo 3..... 44
- 3. Materiales y Métodos..... 44
 - 3.1 Estructura general del pavimento de la vía Biblián –Zhud..... 44
 - 3.2 Evaluación Estructural 44
 - 3.2.1 Deflectómetro de Impacto (FWD) 44
 - 3.2.1.1 Localización de los ensayos 45
 - 3.2.1.2 Ubicación y espaciamiento de los sensores 45
 - 3.2.1.3 Aplicación del FWD..... 46
 - 3.2.2 Método AASHTO..... 47
 - 3.2.2.1 Módulo de reacción de la subrasante 47
 - 3.2.2.1.1 Ejemplo de aplicación..... 49
 - 3.2.2.2 Módulo de rotura de la losa de hormigón 50
 - 3.2.2.2.1 Ejemplo de aplicación..... 52
 - 3.2.2.3 Eficiencia de la transferencia de carga 52
 - 3.2.3 Software ELMOD 6 53
 - 3.2.3.1 Ejemplo de Aplicación 56
 - 3.2.4 Método de la distancia crítica 60
 - 3.2.4.1 Metodología para determinar la distancia crítica 60
 - 3.2.4.2. Retrocálculo para determinar el módulo equivalente de la subestructura 63



3.2.4.3. Módulo de elasticidad de la losa de hormigón.	64
3.2.4.4 Ejemplo de aplicación.....	64
3.2.4.4.1 Distancia crítica	64
3.2.4.4.2 Módulo de elasticidad la sub estructura	65
3.2.4.4.3 Módulo de elasticidad de la losa de concreto.....	66
3.3 Análisis de Correlación	69
3.3.1 Identificación de valores atípicos “outliers”.....	70
Capítulo 4.....	71
4. Análisis de resultados.....	71
4.1 Deflectometría.....	71
4.2 Evaluación Estructural	72
4.2.1 Metodología AASHTO 1993.....	72
4.2.1.1 Módulo de reacción de la subrasante	72
4.2.1.2 Módulo elástico de la losa de concreto.....	75
4.2.1.3 Módulo de rotura de la losa de concreto	76
4.2.1.4 Eficiencia de la transferencia de carga	77
4.2.2 ELMOD 6	77
4.2.2.1 Módulo elástico de la losa de concreto.....	77
4.2.2.1.1 Modelo 1	78
4.2.2.1.2 Modelo 2	79
4.2.2.1.3 Modelo 3	80
4.2.2.2 Módulo de rotura de la losa de Concreto	82
4.2.3 Método de la distancia crítica (MDC).....	83
4.2.3.1 Cálculo de la distancia crítica	83
4.2.3.2 Modulo de elasticidad de la losa de concreto.....	87
4.2.3.3 Modulo de rotura de la losa de concreto.....	89
4.2.4 Ensayos de laboratorio	90
4.2.4.1 Calicatas.....	90
4.3 Análisis de correlación.....	91
4.3.1 Módulo de rotura: Calicatas vs AASHTO	91
4.3.2 Módulo de rotura: Calicatas vs ELMOD 6.....	92
4.3.3 Módulo de rotura: Calicatas vs Distancia Crítica.....	93
4.3.3 Módulo de rotura: AASHTO vs ELMOD 6.....	93



4.3.4 Módulo de rotura: AASHTO vs Distancia Crítica..... 95

4.3.5 Módulo de rotura: ELMOD 6 vs Distancia Crítica 95

4.3.6 Módulo de rotura: AASHTO vs ELMOD 6..... 97

4.3.7 Módulo de rotura: AASHTO vs Distancia Crítica..... 100

4.3.8 Módulo de rotura: ELMOD 6 vs Distancia Crítica 102

Capítulo 5..... 106

5. Conclusiones y recomendaciones 106

5.1 Conclusiones..... 106

5.2 Recomendaciones 108

Bibliografía..... 109

ANEXOS..... 113

ANEXO A 114

RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA PARA EL CARRIL DERECHO 115

RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA PARA EL CARRIL IZQUIERDO 118

ANEXO B 121

RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA CORREGIDA PARA EL CARRIL DERECHO..... 122

RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA CORREGIDA PARA EL CARRIL IZQUIERDO 125

ANEXO C 128

RESULTADOS DE LA MÉTODOLOGÍA ASSHTO PARA EL CARRIL DERECHO 129

RESULTADOS DEL MÉTODO ASSHTO PARA EL CARRIL IZQUIERDO 132

ANEXO D 135

RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CARGA PARA EL CARRIL DERECHO..... 136

RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CARGA PARA EL CARRIL IZQUIERDO 141

ANEXO E..... 146

RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 1 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL DERECHO 147

RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 1 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL IZQUIERDO..... 150

RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 2 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL DERECHO 153

RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 2 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL IZQUIERDO..... 156

RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 3 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL DERECHO 159



RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 3 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL IZQUIERDO..... 162

ANEXO F..... 165

RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ROTURA PARA LOS 3 MODELOS CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL DERECHO 166

RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ROTURA PARA LOS 3 MODELOS CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL IZQUIERDO 169

ANEXO G 172

PARAMETROS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA DISTANCIA CRÍTICA..... 173

ANEXO H..... 180

PARAMETROS ESTRUCTURALES CALCULADOS POR EL MÉTODO DE LA DISTANCIA CRÍTICA PARA EL CARRIL DERECHO 181

PARAMETROS ESTRUCTURALES CALCULADOS POR EL MÉTODO DE LA DISTANCIA CRÍTICA PARA EL CARRIL IZQUIERDO..... 184



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Trazado de la vía de estudio (Biblián – Zhud).....	26
Figura 2.1. Esquema típico de rehabilitación por la técnica Whitetopping (Gutiérrez, 2012).....	28
Figura 2.2. Tipos de juntas de dilatación con pasadores (Morales, 2004).....	30
Figura 2.3. Esquema del equipo FWD y su cuenco de deflexiones (Díaz, s.f.).....	31
Figura 2.4. Longitud característica (l_0) (Casia, 2015).....	34
Figura 2.5. Tipos de cuenco de deflexiones característicos (Ávila, Llivisaca, 2014).....	34
Figura 2.6. Cuenco de deflexiones no característicos tipo I (Guillén, 2009).....	35
Figura 2.7. Cuenco de deflexiones no característicos tipo II (Guillén, 2009).....	35
Figura 2.8. Cuenco de deflexiones no característicos tipo III (Guillén, 2009).....	36
Figura 2.9. Eficiencia en la transferencia de cargas (AASHTO, 1993).....	38
Figura 2.10. Principio de St. Venant (Haifang W, Xiaojun L. 2012).....	40
Figura 2.11. Distancia crítica para ultra whitetopping (Haifang W, Xiaojun L. 2012).....	40
Figura 3.1. Esquema de los elementos que integran el pavimento en la vía Zhud – Biblián (Zarate, 2019).....	44
Figura 3.2. Localización de los ensayos en la vía Biblián - Zhud.....	45
Figura 3.3. Disposición de los geófonos en la vía Biblián - Zhud.....	45
Figura 3.4. Sentido de los ensayos FWD en la vía Biblián – Zhud.....	46
Figura 3.5. Interfaz del programa ELMOD 6 para el ingreso de los parámetros estructurales.....	54
Figura 3.6. Interfaz del programa ELMOD 6 para la estimación de los módulos de las capas de la estructura.....	55
Figura 3.7. Deflexiones cargadas a la base de datos ELMOD 6.....	56
Figura 3.8. Configuración de la estructura para la abscisa 31+700 (ELMOD 6).....	57
Figura 3.9. Configuración del interfaz para el cálculo de módulos de elasticidad de la abscisa 31+700 (ELMOD 6).....	58
Figura 3.10. Resultados del análisis para la abscisa 31+700 (ELMOD 6).....	59
Figura 3.11. Evaluación del Error mínimo cuadrado RMS para la abscisa 31+700 (ELMOD 6).....	60
Figura 3.12. Cálculo de la distancia crítica (Haifang Wen, Xiaojun Li, Wilfung Martono, 2010).....	63
Figura 3.13. Interfaz de la pestaña General para la configuración del tipo de análisis (KENSLABS).....	67
Figura 3.14. Esquema del mallado de las losas (KENSLABS).....	67
Figura 3.15. Interfaz de la pestaña Slab con la configuración para el estudio de la vía Biblián - Zhud (KENSLABS).....	68



Figura 3.16. Interfaz de la pestaña Foundation del software KENSLABS.....68

Figura 3.17. Resultados del análisis para la abscisa 31+700 (KENSLABS).69

Figura 4.1. Modelos utilizados para el análisis en el ELMOD 6.....77

Figura 4.2. Módulos de elasticidad de la losa de concreto: AASHTO, ELMOD Modelo 2, ELMOD Modelo 3.81

Figura 4.3. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 20000psi, Espesor de losa =7.7 in.84

Figura 4.4. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 20000psi, Espesor de losa =8.7 in.84

Figura 4.5. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 50000psi, Espesor de losa =7.7 in.85

Figura 4.6. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura =50000psi, Espesor de losa =8.7 in.85

Figura 4.7. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 80000psi, Espesor de losa =7.7 in.86

Figura 4.8. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 80000psi, Espesor de losa =8.7 in.86

Figura 4.9. Correlación entre los módulos de rotura: Calicatas vs AASHTO.....91

Figura 4.10. Correlación entre los módulos de rotura: Calicatas vs ELMOD 6 Modelo 2.....92

Figura 4.11. Correlación entre los módulos de rotura: Calicatas vs ELMOD 6 Modelo 3.....92

Figura 4.12. Correlación entre los módulos de rotura: Calicatas vs Distancia Crítica.93

Figura 4.13. Correlación entre los módulos de rotura: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 2.94

Figura 4.14. Correlación entre los módulos de rotura: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 3.94

Figura 4.15. Correlación entre los módulos de rotura: AASHTO vs Distancia Crítica.95

Figura 4.16. Correlación entre los módulos de rotura: ELMOD 6 MODELO 2 VS Distancia Crítica.96

Figura 4.17. Correlación entre los módulos de rotura: ELMOD 6 MODELO 3 vs Distancia Crítica.96

Figura 4.18. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 2.97

Figura 4.19. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril derecho:
AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 2.98

Figura 4.20. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 2.98

Figura 4.21. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 3.99

Figura 4.22. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril derecho:
AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 3.99

Figura 4.23. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 3.100

Figura 4.24. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: AASHTO vs Distancia Crítica.....100

Figura 4.25. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril derecho:
AASHTO vs Distancia Crítica.....101

Figura 4.26. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: AASHTO vs Distancia Crítica.101



Figura 4.27. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril izquierdo:
AASHTO vs Distancia Crítica.....102

Figura 4.28. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: ELMOD MOD. 2 VS Distancia Crítica.103

Figura 4.29. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: ELMOD MOD. 2 VS Distancia Crítica. ..103

Figura 4.30. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: ELMOD MOD. 3 VS Distancia Crítica.104

Figura 4.31. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: ELMOD MOD. 3 VS Distancia Crítica. ..104

Figura 4.32. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril izquierdo:
ELMOD MOD. 3 VS Distancia Crítica.....105



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tramos de pavimento rígido en la vía Biblián - Zhud.....	26
Tabla 2.1. Características y ubicación de los geófonos (MTC, 2014).....	33
Tabla 2.2. Disposición de sensores según SHRP (Schmalzer,2009).	33
Tabla 2.3. Evaluación según el tipo de cuenco (Crespo, 2001).....	34
Tabla 2.4. Valores semilla del software ELMOD 6 (Abad, Sangurima, 2018).	39
Tabla 2.5. Valores típicos de módulos de capas de pavimentos (INVIAS, 2002).	42
Tabla 3.1. Disposición de geófonos en la vía Biblián - Zhud.	46
Tabla 3.2. Deflexiones abscisa 31+700 del carril derecho de la vía Zhud - Biblián.....	49
Tabla 3.3. Calificación de la transferencia de carga (AASHTO, 2002).....	53
Tabla 3.4. Estructura definida para determinar la distancia crítica.....	61
Tabla 3.5. Tamaños de la losa definidas para determinar la distancia crítica.	61
Tabla 3.6. Clasificación según el grado de correlación evaluadas (Montgomery y Runger, 2011).	70
Tabla 4.1. Deflexiones calculadas por ECUATEST CIA. LTDA para los 18 puntos de interés.....	71
Tabla 4.2. Módulo de reacción de la subrasante para la vía Biblián – Zhud.	73
Tabla 4.3. Rangos típicos de la subrasante (Fonseca, 2006).	74
Tabla 4.4. Caracterización de la subrasante.	74
Tabla 4.5. Módulo elástico de la losa de hormigón para la vía Biblián – Zhud determinados por AASHTO 93.	75
Tabla 4.6. Módulo de rotura de la losa de hormigón para la vía Biblián – Zhud determinados por AASHTO 93.....	76
Tabla 4.7. Eficiencia de transferencia de carga para los dos carriles de la vía Biblián – Zhud.	77
Tabla 4.8. Características del modelo 1 en ELMOD 6.	78
Tabla 4.9. Módulos de elasticidad para la losa de concreto del modelo 1 calculados por ELMOD 6.	79
Tabla 4.10. Características del modelo 2 en ELMOD 6.	79
Tabla 4.11. Módulos de elasticidad para la losa de concreto del modelo 2 calculados por ELMOD 6.	80
Tabla 4.12. Características del modelo 3 en ELMOD 6.	80
Tabla 4.13. Módulos de elasticidad para la losa de concreto del modelo 3 calculados por ELMOD 6.	81
Tabla 4.14. Módulos de rotura del modelo 2 calculados en base a los módulos elásticos del ELMOD 6.	82
Tabla 4.15. Módulos de rotura del modelo 3 calculado en base a los módulos elásticos de ELMOD 6.....	83
Tabla 4.16. Módulos de elasticidad de la subestructura determinados por MDC.	87



Tabla 4.17. Módulos de elasticidad de la losa de hormigón determinados por MDC.....	88
Tabla 4.18. Módulos de rotura de la losa de hormigón determinados por MDC.....	89
Tabla 4.19. Módulos de rotura obtenidos en las calicatas (MTO, 2017).....	90



LISTADO DE SIMBOLOS Y SIGNOS

AASHTO:	AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
ASTM:	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
ACPA:	AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION
FEM:	MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS
FWD:	FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER
INVIAS:	INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
LET:	TEORÍA ELÁSTICO LINEAL
LTPP:	LONG TERM PAVEMENT PERFORMANCE
MDC:	MÉTODO DE LE DISTANCIA CRÍTICA
MET:	MÉTODO DE ESPESOR EQUIVALENTE
MTC:	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES
MTOP:	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
NEVI:	NORMA ECUATORIANA VIAL
SHRP:	STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM
TPDA:	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL
a:	RADIO DEL PLATO DE CARGA
A y H:	VALORES QUE DEPENDEN DE LA FUNCIONES z/a Y r/a
AF_{do} :	COEFICIENTE DE AJUSTE PARA EL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE
AF_i :	COEFICIENTE DE AJUSTE PARA EL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE
D_i :	GEÓFONOS
d_i :	DEFLEXIÓN A UNA DISTANCIA “ i ”
do :	DEFLEXIÓN EN EL CENTRO DEL PLATO DE CARGA
do^* :	COEFICIENTE ADIMENSIONAL DE LA DEFLEXIÓN EN EL CENTRO DE LA LOSA
D_{PCC} :	ESPESOR DE LA LOSA DE HORMIGÓN
D_l :	DEFLEXIÓN A LOS 15 CM DE LA JUNTA EN LA LOSA CARGADA
D_{ul} :	DEFLEXION A LOS 15 CM DE LA JUNTA EN LA LOSA NO CARGADA
D_z :	DEFLEXIÓN VERTICAL
E:	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBESTRUCTURA



E_{pcc} :	MÓDULO ELÁSTICO DE LA LOSA DE HORMIGÓN
ft:	FOOT
IN:	INCH
K:	MÓDULO DINÁMICO
Kg/cm ² :	KILOGRAMO POR CENTIMETRO CUADRADO
K_{din} :	MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE DINÁMICO
K_{est} :	APROXIMACIÓN DE MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE ESTÁTICO
$K_{estático}$:	MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE ESTÁTICO
ksi:	KILO POUND PER SQUARE INCH
l_{est} :	RADIO DE RIGIDEZ
L_l :	LONGITUD DE LA LOSA
L_w :	ANCHO DE LA LOSA
L_k :	RADIO DE RIGIDEZ RELATIVA
LTE:	EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CARGA EN LA JUNTA
mm:	MILIMETRO
Mpa:	MEGAPASCAL
Mr:	MÓDULO DE ROTURA
P:	CARGA APLICADA
p:	PRESIÓN DEBIDO A LA CARGA
pci:	POUND PER CUBIC INCH
psi:	POUND PER SQUARE INCH
r:	DISTANCIA RADIAL DESDE EL CENTRO DEL PLATO DE CARGA
RMS:	ERROR MÍNIMO CUADRADO
S'_c :	MÓDULO DE ROTURA DE LA LOSA DE HORMIGÓN
U_{pcc} :	MÓDULO DE POISSON DE LA LOSA DE HORMIGÓN
\bar{X} :	MEDIA POBLACIONAL
X_i :	MUESTRAS DE LA POBLACIÓN
z:	PROFUNDIDAD DEL PUNTO DE ANÁLISIS
Z:	RANGOS DE PUNTUACIÓN
γ :	CONSTANTE DE EULER
σ :	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA POBLACIÓN



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo Marco Aurelio Parra Bernal en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de retrocálculo para la determinación de las propiedades del pavimento whitetopping de la vía Biblián - Zhud ", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de Octubre del 2019

Marco Aurelio Parra Bernal

C.I: 0302077284



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo Xavier Andrés Quizhpi Sisalima en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de retrocálculo para la determinación de las propiedades del pavimento whitetopping de la vía Biblián - Zhud", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de Octubre del 2019

Xavier Andrés Quizhpi Sisalima

C.I: 0104853437



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo Marco Aurelio Parra Bernal, autor del trabajo de titulación "Análisis de retrocálculo para la determinación de las propiedades del pavimento whitetopping de la vía Biblián - Zhud", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 21 de Octubre del 2019

Marco Aurelio Parra Bernal

C.I: 0302077284



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo Xavier Andrés Quizhpi Sisalima, autor del trabajo de titulación "Análisis de retrocálculo para la determinación de las propiedades del pavimento whitetopping de la vía Biblián - Zhud", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 21 de Octubre del 2019

Xavier Andrés Quizhpi Sisalima

C.I: 0104853437



Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios por haberme dado la vida y su bendición a lo largo de este proceso, además quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Ing. Jaime Bojorque Iñiguez, PHD. por dedicar su tiempo, conocimientos, esfuerzo y dedicación en la dirección de este proyecto, por su apoyo, sugerencias y correcciones en el transcurso de la realización de esta tesis. A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, a mi esposa e hija por su paciencia y sobre todo por su amor. Finalmente quiero agradecer a Anita Rodríguez (+), quien fue la gestora para que inicie mis estudios en mi prestigiosa universidad.

¡GRACIAS TOTALES!

Marco Aurelio

Agradezco a Dios, por darme un hogar donde aprendí valores que me han servido a lo largo de mi vida, por darme salud y la fuerza necesaria para poder culminar con esta importante etapa. Agradezco a toda mi familia por el constante apoyo que recibí, lo cual hizo que mi camino tanto estudiantil como personal haya sido más fácil de afrontar a pesar de los problemas que se presentaron, en especial quiero agradecer a mi madre Blanca Sisalima por su sacrificio, paciencia, consejos y apoyo, los cuales me han encaminado a cumplir con mis objetivos. De manera especial agradezco al Ing. Jaime Bojorque por ser nuestro director, guía y por su tiempo invertido en las revisiones del presente trabajo de titulación.

Xavier Andrés



Dedicatoria

A mi hija Amelia y mi esposa Sandy, por su amor, paciencia, confianza y apoyo incondicional a lo largo de este proceso. A mi mami Fanny y mis hermanos Oscar Fernando (+), Tyrone Fabián, Osquítar Fernando, por haberme brindado su amor, la seguridad y confianza para alcanzar mi objetivo. Finalmente quiero dedicar este añorado logro, desde lo más profundo de mi corazón, a mi papi Aurelio, sus consejos, su amor y sobre todo su presencia han permitido culminar con éxito mis estudios.

Marco Aurelio

El presente trabajo de titulación está dedicado a toda mi familia, por la dedicación y ayuda que me han brindado. De manera especial a mi madre, quien me enseñó que solo con sacrificio y perseverancia se puede conseguir las metas propuestas. Quiero dedicar esta meta alcanzada a mi abuela Blanca (+), quien siempre será importante en mi vida, por la confianza, apoyo y el amor que me tuvo.

Xavier Andrés



Capítulo 1

1. Introducción

Debido a que las redes viales de un país son las que promueven un verdadero desarrollo social, cultural y económico de sus habitantes, la evaluación de las condiciones que presentan los pavimentos ha sido y continuara siendo un factor importante para que el nivel de servicio sea adecuado; el cual relaciona la calidad estructural de un pavimento y la comodidad que presentan los usuarios viales, al momento de conducir sus vehículos (Montejo, 2002).

Durante la vida útil de una vía, el pavimento está expuesto a diversos factores naturales como lluvia, variaciones de temperatura, cambios volumétricos y a las cargas producidas por el tráfico, los cuales deterioran gradualmente el pavimento (Montejo, 2002). Este deterioro afecta directamente al nivel de servicio del pavimento, por lo que, una evaluación eficaz permitirá prolongar la vida útil del pavimento, además de la optimización de recursos.

Existen principalmente dos tipos de evaluaciones de pavimentos, el primero corresponde a la evaluación funcional, la cual establece el estado superficial de la vía mediante la evaluación de la calidad de rodaje del pavimento (Corros et al., 2009). El segundo tipo de evaluación es la evaluación estructural, en la cual tradicionalmente se emplean métodos destructivos para determinar esta condición (Jiménez, 1998). Esta metodología es cara, lenta, además altera el comportamiento y las condiciones del sistema, al realizar perforaciones mediante la invasión de maquinaria y equipos de perforación.

No obstante, a través de nuevas técnicas conocidas como pruebas no destructivas se ha mejorado la evaluación y el desempeño de las vías, estas nuevas técnicas determinan la capacidad estructural de un pavimento sin alterar su estructura, y se puede realizar en cualquier momento de su vida de servicio (Rondón y Reyes, 2015). De entre estas técnicas se destaca el ensayo de deflectometría mediante deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD), el cual distribuye una carga en el pavimento, la misma que simula el paso de un vehículo estándar provocando un cuenco de deflexiones en la estructura. Posteriormente, las deflexiones generadas son registradas y procesadas por métodos de retrocálculo (Higuera, 2009).

El presente proyecto realiza la evaluación estructural no destructiva del pavimento de la vía Biblián – Zhud mediante análisis de retrocálculo, la estructura a evaluar no es convencional, está compuesta por una capa de hormigón hidráulico, sobre una estructura de pavimento asfáltico (Whitetopping).



El análisis comprende la aplicación de 3 metodologías de retrocálculo, comparándolas entre sí, con el objetivo de buscar el modelo que mejor se ajuste a los datos obtenidos en campo a través de ensayos destructivos, y validar el análisis de retrocálculo cuando se evalúen pavimentos con este tipo de estructuras compuestas.

1.1 Antecedentes

La vía Biblián - Zhud forma parte de la red vial estatal del Ecuador, es de gran importancia pues facilita la conexión entre los sectores agrícolas del centro del país, cuenta con una tasa de circulación vehicular alta, el Tráfico Promedio Diario Anual del 2018 (TPDA) es de 11.110 automotores (Zárate, 2019), tiene una longitud de 54 km y está constituida por pavimento compuesto, conformado por pavimento flexible y una capa de concreto hidráulico colocada en el 2014 con una inversión de USD \$ 37'772.669,31 (MTOPE Ecuador, 2015).

Al ser una vía de alta circulación vehicular, es indispensable que el estado de la misma, se encuentre en óptimas condiciones, esto se logra a través de mantenimientos rutinarios adecuados, pero sobre todo realizados en los tiempos correctos, pero dicha actividad en el Ecuador no se la practica correctamente, esto se da principalmente por motivos económicos, es por ello el deterioro acelerado de las vías, lo cual es un problema que afecta directamente a los usuarios, al incrementar los tiempos y reducir la calidad de viaje.

Las evaluaciones estructurales de los pavimentos otorgan las condiciones reales del estado actual de la estructura, dicha evaluación se puede realizar mediante métodos destructivos los cuales, al ser invasivos, comprometen el trabajo del conjunto estructural. La otra metodología consiste en técnicas no destructivas, las cuales, por su facilidad, rapidez, economía, entre otras, se han ganado espacio al momento de evaluación de pavimentos.

La deflectometría es uno de los ensayos no destructivos más utilizados, para evaluar estructuralmente los pavimentos, generalmente su aplicación se realiza en pavimentos de estructura convencional, con lo que, mediante técnicas de retrocálculo se han obtenido resultados favorables y fiables. Caso contrario al aplicar este tipo de ensayos en pavimentos compuestos como el whitetopping, los resultados no han sido lo suficientemente confiables y en la gran mayoría de casos discrepan con las condiciones reales del pavimento, además de no existir literatura o metodología alguna, que sirva de guía al momento de analizar este tipo de estructuras. Un claro ejemplo de ello es la evaluación que se realizó en la vía de estudio mediante el proyecto: *“Plan de mantenimiento vial para la vía Biblián – Zhud, en los tramos de pavimento rígido”*, el cuál presentó resultados que no se relacionan con los obtenidos a través de ensayos destructivos (calicatas).



1.2 Problemática

Con el paso del tiempo los pavimentos sufren deterioros, por lo que, la evaluación oportuna de su condición estructural, permite tomar soluciones pertinentes sobre su mantenimiento o rehabilitación, evitando la inseguridad de los usuarios, demoras en los tiempos de viaje, daños mecánicos en los vehículos, entre las más comunes.

El pavimento de la vía Biblián – Zhud es del tipo whitetopping, es decir, está compuesto por una capa de hormigón hidráulico colocada sobre la estructura de pavimento asfáltico, el cual ha sido evaluado mediante técnicas de retrocálculo. Sin embargo, al utilizar estas técnicas, se encontraron valores que no se relacionan con los obtenidos a través de ensayos destructivos (calicatas), por lo que el problema a resolver es encontrar una metodología cuyos resultados se aproximen de mejor manera con los datos de campo.

Los análisis de retrocálculo que se han realizado principalmente se enfocan en pavimentos rígidos y asfálticos, es decir, pavimentos con estructuras convencionales, por lo que, no se tiene claro cuál es el método de retrocálculo que se adapta mejor a las estructuras de otros tipos de pavimentos. La importancia del análisis se enfoca en buscar una metodología de retrocálculo que permita determinar correctamente las características estructurales de la vía Biblián - Zhud, la cual es del tipo whitetopping, por lo que las metodologías que se escogen puedan usarse en el análisis de vías que presenten condiciones similares, sin la necesidad de realizar ensayos complejos o destructivos.

1.3 Justificación

En el Ecuador durante largo tiempo el único indicador del estado del pavimento ha sido el percibido por el usuario al momento del viaje, y esto sucede cuando el deterioro del pavimento es excesivo o éste ha fallado, para contrarrestar esta problemática; determinar el estado funcional y estructural del pavimento a tiempo es primordial. Esto permite un correcto plan de mantenimiento vial, y a su vez una acertada rehabilitación del pavimento.

El análisis estructural destructivo es demorado y costoso, pero principalmente afecta el comportamiento y las condiciones del sistema estructural al realizar perforaciones en el conjunto. Es por ello que, se han optado por técnicas no destructivas como es la deflectometría, la cual mide las deflexiones en el pavimento; estas deflexiones son analizadas y luego procesadas a través del retrocálculo, para determinar las características estructurales actuales del pavimento sin romper o afectar el trabajo conjunto de la estructura.



1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Determinar las características estructurales del pavimento whitetopping de la vía Biblián – Zhud mediante el análisis de retrocálculo, analizar la factibilidad y eficiencia de la metodología escogida para este tipo de pavimento.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar diferentes modelos de retrocálculo del pavimento, así como sus ventajas, desventajas, restricciones y aplicaciones de los mismos para el análisis de pavimentos whitetopping.
- Determinar mediante retrocálculo los parámetros del pavimento, así como su capacidad estructural.
- Comparar los resultados del análisis de retrocálculo, con los resultados obtenidos mediante ensayos destructivos, para validar el modelo de retrocálculo que mejor se ajuste a los resultados de campo.

1.5 Alcance

El presente estudio está enfocado en la utilización del ensayo no destructivo (Falling Weight Deflectometer, FWD), el mismo que permitirá conocer las características estructurales del pavimento tales como: módulo de reacción de la subrasante, modulo elástico y módulo de rotura de la capa de hormigón, eficiencia en la transferencia de carga de las juntas, el análisis será desarrollado en la vía Biblián – Zhud, el cual es un pavimento compuesto del tipo whitetopping (Zárate, 2019).

Con los datos proporcionados por el MTOP del ensayo deflectométrico FWD, se utilizan 3 metodologías de retrocálculo las cuales permiten determinar la capacidad estructural de la vía Biblián – Zhud. Al conocer la capacidad estructural las instituciones responsables pueden realizar las obras de rehabilitación, mantenimiento o reconstrucción, las cuales garantizan un servicio de calidad a cada uno de los usuarios.

Los resultados que se obtienen mediante la aplicación de las 3 metodologías de retrocálculo, son comparadas y correlacionadas con los resultados que se obtienen a través de ensayos destructivos (calicatas), de esta manera se puede determinar una metodología no destructiva que presente resultados similares a los obtenidos en campo. La metodología escogida podrá servir de base para futuras evaluaciones que se pretendan realizar en pavimentos compuestos de tipo whitetopping, siempre y cuando las características que presenten los pavimentos sean similares a las de la vía Biblián – Zhud.

1.6 Delimitación de la zona de estudio

El presente trabajo se enfoca en los tramos de la vía Biblián – Zhud compuesto por pavimento rígido, comprendiendo un total de 36 km de estudio, se delimitan en la vía tres tramos de pavimento rígido mostrados en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Tramos de pavimento rígido en la vía Biblián - Zhud.

TRAMO	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL
Zhud – Juncal	0+000	9+124
Cañar – Campo Alegre	24+609	46+069
Campo Alegre – Biblián	47+509	53+019

La vía representa el medio de comunicación más importante de la provincia del Cañar, la Figura 1.1, presenta el trazado de la vía Biblián - Zhud, con sus poblaciones beneficiadas.



Figura 1.1. Trazado de la vía de estudio (Biblián – Zhud).



Capítulo 2

2. Marco teórico

En este capítulo mediante una revisión de la bibliografía se presentan conceptos generales sobre los pavimentos con estructuras compuestas whitetopping. Se estudia su estructura, clasificación, y su rehabilitación; además se hace referencia a las metodologías de evaluación del estado del pavimento.

2.1 Generalidades

2.1.1 Definición de pavimento

“Un pavimento está compuesto por un grupo de capas superpuestas, relativamente horizontales, diseñadas y construidas técnicamente con apropiados materiales y adecuadamente compactados. La estructura del pavimento se asienta sobre un rasante producto del movimiento de tierras y diseñados para resistir de forma adecuada los esfuerzos que se producen por las cargas repetidas del tránsito, transmitidas durante el periodo para el cuál fue diseñada la estructura del pavimento” (Montejo, 2011).

Un buen diseño del pavimento garantiza un tiempo de vida adecuado, otorga niveles altos de serviciabilidad a los usuarios, de igual forma un correcto plan de mantenimiento vial, reduce las fallas en los pavimentos, además de optimizar los recursos, sobre todo otorgar confort y seguridad durante todo el ciclo de vida del pavimento.

2.1.2 Definición de pavimento compuesto

Un pavimento compuesto es aquel que está formado por una estructura de pavimento flexible sobre la cual se coloca una sobre carpeta de hormigón hidráulico, o a su vez también puede ser un pavimento rígido sobre el cual se coloca una capa de rodadura de hormigón asfáltico. Este tipo de pavimento es muy caro y se usa rara vez como construcción nueva, generalmente este tipo de estructura se observa en pavimentos rehabilitados (Orell, 2009).

2.1.3 Pavimento compuesto whitetopping

El pavimento whitetopping es un pavimento que tiene como capa de rodadura hormigón hidráulico, construido sobre un pavimento asfáltico existente. Su diseño consiste en lograr una correcta unión entre las dos capas para evitar la aplicación de una tercera capa, además de la limpieza y preparación del pavimento asfáltico existente (Llanovarced, 2014).

La Figura 2.1, presenta el esquema típico de la estructura y rehabilitación en pavimentos flexibles, mediante la técnica whitetopping.

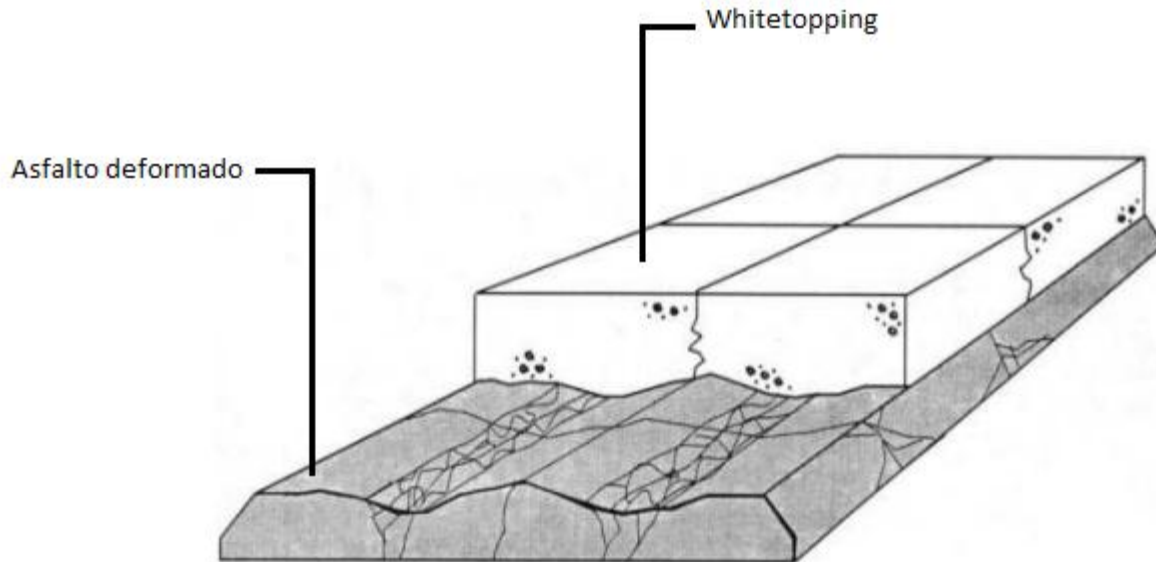


Figura 2.1. Esquema típico de rehabilitación por la técnica Whitetopping (Gutiérrez, 2012).

Además de ser una alternativa de rehabilitación que permite extender la vida de un pavimento asfáltico deteriorado, existen numerosos beneficios en el uso del whitetopping entre los cuales se pueden mencionar (Ruz, 2006):

- Proveer un tránsito suave que puede mejorar significativamente la vida funcional del pavimento.
- No se utiliza una nueva base, sino que se utiliza la existente del pavimento asfáltico como una base sólida, otorgando al pavimento una estabilidad adicional, lo cual reduce el bombeo, falla y pérdida de soporte del pavimento.
- Demanda de una mínima preparación de la superficie dañada, consistiendo ésta en la reparación de baches y el lavado de la carpeta asfáltica, en el caso del pavimento convencional y el fresado superficial de la carpeta para el caso del delgado, previo a la construcción de la losa de concreto
- Una superficie de hormigón es duradera y requiere de menos tiempo y dinero para el mantenimiento.
- La vida útil del camino se incrementa a 20 años, disminuyendo drásticamente los costos por mantenimiento.
- No refleja los problemas existentes de la superficie de asfalto.

2.1.3.1 Clasificación de pavimentos rígidos whitetopping

La clasificación de los pavimentos whitetopping depende básicamente del espesor de la losa de concreto hidráulico; teniendo 3 tipos:

1. Whitetopping convencional. Con un espesor de losa de concreto mayor a 20 cm.
2. Whitetopping delgado. Con un espesor de losa de concreto que varía entre los 10 y 20 cm.
3. Whitetopping ultra delgado. Con un espesor de losa de concreto que varía entre los 5 y 10 cm.



Para aplicar esta técnica, el espesor de la capa de pavimento flexible existente debe ser considerable, es por eso que la American Concrete Pavement Association (ACPA), recomienda que el espesor mínimo de pavimento asfáltico para utilizar la técnica Whitetopping sea de 75 mm después de realizar el fresado. El fresado es una técnica en la rehabilitación de pavimentos asfálticos deteriorados que consiste en retirar superficialmente el pavimento bituminoso existente en mal estado, a fin de restaurar el mismo, para luego posibilitar la colocación de una nueva capa de rodadura.

2.1.3.2 Estructura del pavimento whitetopping

2.1.3.2.1 Subrasante

Es la capa en donde se asienta la estructura del pavimento, contempla una potencia tal que no afecte a la carga de diseño correspondiente al tránsito, puede conformarse en áreas de corte o relleno, las cuales deben ser correctamente compactadas en secciones transversales dependiendo del diseño (Zarate, 2019).

La calidad de la subrasante influye de forma directa en el espesor del pavimento, por lo que ésta debe de cumplir con requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por lo tanto, la subrasante sirve como fundación para la estructura del pavimento (NEVI, 2013).

2.1.3.2.2 Subbase

Su función es soportar, transmitir y distribuir uniformemente las cargas aplicadas a la superficie de rodadura del pavimento. La subbase se encargará de controlar cambios volumétricos y de elasticidad dañinos para el pavimento. Adicionalmente ayuda para el drenaje y controla el ascenso del agua por capilaridad, generalmente se usan materiales granulares (NEVI, 2013).

2.1.3.2.3 Base

Es la capa que se asienta sobre la subbase y está constituida generalmente por materiales granulares, o su vez por mezclas con cal, cemento o materiales bituminosos. La capa de base está diseñada para absorber los esfuerzos transmitidos desde la capa de rodadura y que son producidos por las cargas vehiculares. Adicional, la base mejora el drenaje evitando que las aguas que ascienden por capilaridad y que atraviesan la subbase o subrasante, y que impide su paso hacia la capa de rodadura (NEVI, 2013).

2.1.3.2.4 Capa de Rodadura

Es la capa superior de la estructura del pavimento, es decir la capa que soporta las cargas dinámicas del tráfico y las transfiere a las capas antepuestas. Generalmente se tiene una capa de rodadura construida con concreto hidráulico sobre la estructura de un pavimento asfáltico existente (pavimento compuesto), por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante

en la losa, más que en la capacidad de la subrasante. En consecuencia, el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento (Brito & Alejandro, 2011).

2.1.3.2.5 Juntas

Las juntas de hormigón tienen la función de responder a la fisuración que se puede desarrollar en el pavimento de servicio de forma natural (Calo, 2014). Las juntas se clasifican en longitudinales y transversales dependiendo de la ubicación respecto al eje del pavimento; mientras que por su funcionalidad se pueden clasificar en juntas de contracción, articulación, construcción expansión y aislamiento. De acuerdo a su forma pueden ser rectas, machiembradas, acanaladas (Morales, 2004).

Un adecuado diseño de juntas puede prevenir el fisuramiento longitudinal y transversal, la infiltración de agua, o el ingreso de materiales no compresibles a la estructura del pavimento (Calo, 2014).

La Figura 2.2, muestra la sección típica de junta de dilatación con pasadores en el pavimento rígido.

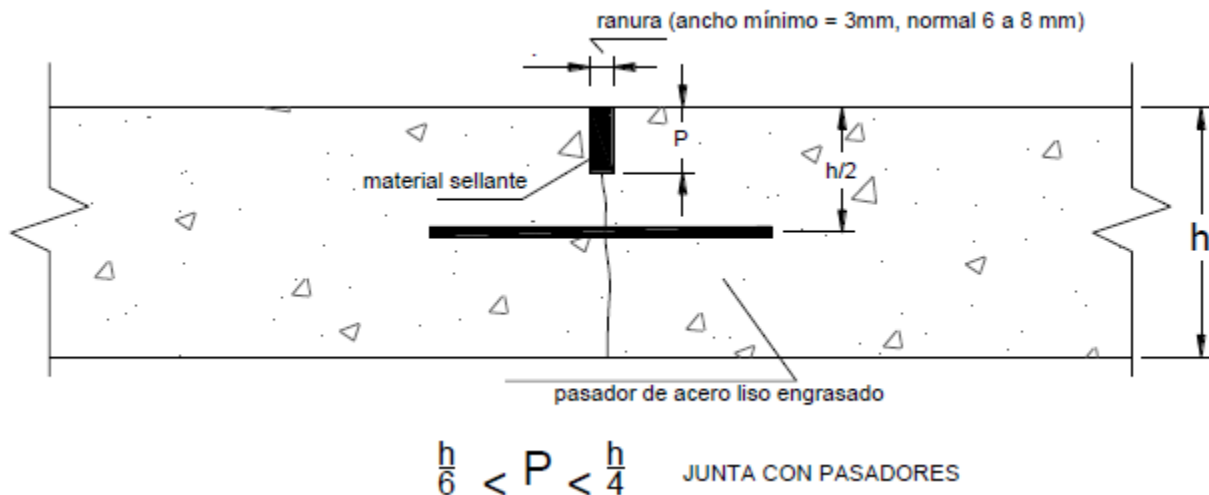


Figura 2.2. Tipos de juntas de dilatación con pasadores (Morales, 2004).

2.1.3.3 Consideraciones de rehabilitación para la metodología whitetopping.

Según la ACPA las consideraciones para la rehabilitación mediante el método whitetopping son:

- Los recubrimientos de concreto sobre asfalto, se los debe realizar siempre y cuando el pavimento asfáltico presente fallas tales como ahuellamiento, desplazamiento y otras fallas superficiales.
- Cuando el pavimento asfáltico se encuentra dañado severamente y presenta un importante deterioro estructural con daños en las capas inferiores como la base o subbase, mal drenaje o socavamiento interno no se recomienda la rehabilitación por Whitetopping.
- Como se explica en la Sección 2.1.3.1, el pavimento a rehabilitar debe tener un espesor mínimo de 75 mm luego de realizar el fresado.

2.2 Evaluación Estructural

2.2.1 Deflectómetro de Impacto

El deflectómetro de impacto es un ensayo no destructivo que determina los parámetros estructurales del pavimento mediante metodologías de retrocálculo, el ensayo genera un cuenco de deflexiones en la superficie del pavimento mediante la aplicación de una carga en caída libre, que simula la que provoca el neumático de un vehículo (Higuera, 2009).

El deflectómetro de impacto es un ensayo tanto para pavimentos rígidos, flexibles o compuestos, permite determinar las condiciones del pavimento en su etapa constructiva, operativa y de mantenimiento, sobre todo sirve de apoyo en investigaciones y recomendaciones con el fin de tener un pavimento gestionado y que brinde condiciones adecuadas en todo momento a los usuarios (Higuera, 2009). Un esquema del deflectómetro de impacto como del cuenco de deflexiones que produce se lo puede observar en la Figura 2.3.

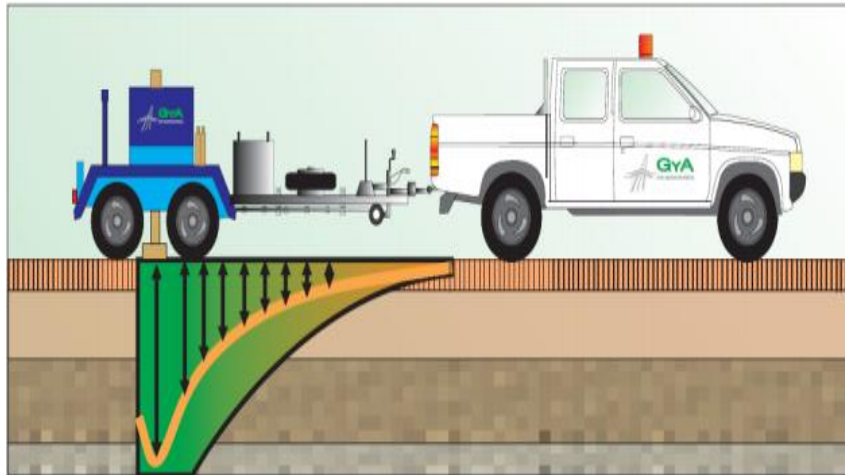


Figura 2.3. Esquema del equipo FWD y su cuenco de deflexiones (Díaz, s.f.).

Este tipo de ensayo presenta beneficios ya que no interrumpe el tránsito, es sencillo y rápido, pero sobre todo no afecta las condiciones del pavimento al ser no destructivo. El equipo presenta las siguientes partes: dispositivo generador de impacto, placa de carga, transductor de deflexión, sistema de instrumentación y celda de carga (Guillén, 2009).

- El dispositivo generador de impacto: Se encarga de aplicar la carga seleccionada al pavimento en estudio.
- Placa de carga: Elemento donde se aplica la carga, debe presentar las condiciones necesarias para que la carga sea aplicada en su centro.
- Transductor de deflexión: Es el sistema que se encarga de medir las deflexiones del cuenco en cada uno de los geófonos.



- Sistema de instrumentación: Se encarga de procesar cada uno de los datos registrados en los geófonos.
- Celda de carga: Se encarga de registrar cada uno de los valores de carga que serán aplicados en el ensayo.

El deflectómetro está acoplado a un remolque que se debe conectar a un vehículo. Para usar el equipo se debe proceder de la siguiente manera (ASTM D4694, 1996).

- Se coloca el deflectómetro sobre la zona de prueba deseada, el equipo debe estar detenido.
- Con ayuda de un software que incluye el equipo, se desciende el plato y los sensores sobre la superficie del pavimento, la masa que genera el golpe sobre el plato se eleva a una altura, tal que, al caer imparta la fuerza deseada.
- Al caer, la masa genera desplazamientos verticales en el pavimento, esta información es registrada por los geófonos. Se debe registrar mínimo tres golpes para asegurar que la repetitividad de la medición este dentro de un rango aceptable de variación. La diferencia entre mediciones debe ser menor al 3% para cada sensor.
- Se levanta el plato y los geófonos, para avanzar al siguiente punto.

2.2.1.1 Localización de los ensayos

Para vías de un solo carril se debe medir las deflexiones en el borde externo, así como en las zonas donde el pavimento presente zonas muy deterioradas. En vías de dos carriles se coloca el plato de carga a un lado de las juntas y en el centro transversal de la losa, con el objetivo de determinar la transferencia de carga sobre las juntas (Morales, 2004).

De acuerdo a (ASTM D4694, 1996), se sugieren tres niveles de muestreo:

- **Nivel 1:** Los ensayos se realizan a intervalos de 200-500 m; por cada sección uniforme con un mínimo de 5 a 10 ensayos para asegurar una muestra estadísticamente significativa. Para pavimentos rígidos simples con juntas se ubica en el centro de la losa, en el borde para medir la eficiencia en la transferencia de carga, el ensayo en las juntas a evaluarse debe ser de al menos el 5% de todas las losas.
- **Nivel 2:** Cuando el proyecto requiere realizar posibles rehabilitaciones, los ensayos se realizan en intervalos de 25-200 m; por cada sección uniforme se recomienda un mínimo de 10 a 20 ensayos, se recomienda trabajar con el 25% de las losas de concreto para medir la eficiencia de la transferencia de carga.
- **Nivel 3:** Es un análisis más detallado en donde se debe analizar zonas con alta deflexión o detección de vacíos bajo los pavimentos de hormigón hidráulico; los intervalos van de 3 a 25 m y se realizan en ambas huellas de la pista tanto externa como interna. Se recomienda ensayar todas las juntas conforme se ensaya el centro de losa, grietas y juntas cercanas a la misma.



2.2.1.2 Ubicación de los sensores

En Perú el 3 de abril del 2014 según la resolución directoral N° 09-2014-MTC/14 el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), presenta las características y espaciamentos que deben tener los geófonos al momento de realizar el ensayo deflectométrico (Falling Weight Deflectometer, FWD), según lo indica la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Características y ubicación de los geófonos (MTC, 2014).

Descripción	Especificación
Cantidad de geófonos	Mínimo 6 sensores
Posición de los geófonos	0, 200, 300, 450, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100 y 2400 milímetros
Distancia obligatorias	0, 300, 600, 900 milímetros

Otra disposición que se recomienda es la dispuesta por SHRP (Strategic Highway Research Program), la cual es detallada en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Disposición de sensores según SHRP (Schmalzer, 2009).

Sensor de deflexión	Espaciamento
D1	0
D2	203 mm (8")
D3	305 mm (12")
D4	457 mm (18")
D5	610 mm (24")
D6	914 mm (36")
D7	1219 mm (48")
D8	1524 mm (60")
D9	-305 mm (-12")

Es necesario mencionar que el último geófono se ubica del lado contrario al resto, esto se hace cuando el análisis se realiza en pavimentos rígidos, con el objetivo de analizar y evaluar las juntas de dichos pavimentos.

Cabe recalcar que los espaciamentos de los geófonos en los ensayos, pueden ser cambiados de acuerdo a las consideraciones o criterios que tenga el ingeniero en campo.

2.2.1.3 Análisis del cuenco de deflexiones

Mediante el cuenco de deflexiones se obtienen los parámetros estructurales, tanto de la subrasante como de cada una de las capas que conforman el pavimento, se debe considerar que las deflexiones que se encuentran cerca del lugar donde se aplica la carga, determinan las condiciones de la capa superficial del pavimento, mientras que las deflexiones más alejadas brindan las características estructurales de la subrasante (Ávila, Llivisaca, 2014).

La longitud característica y el área del cuenco son parámetros que permiten definir las condiciones estructurales de la subrasante como de las capas que conforman el pavimento.

- Longitud característica: Se define como la longitud radial entre el lugar donde se aplica la carga y donde se forma el punto de inflexión del cuenco de deflexiones, la misma se representa en la Figura 2.4. Este parámetro se encarga de medir la rigidez del pavimento y de la subrasante. Según las longitudes que se obtengan se podrá presentar una evaluación preliminar sobre la subrasante como las condiciones de las capas del pavimento (Ávila, Llivisaca, 2014).

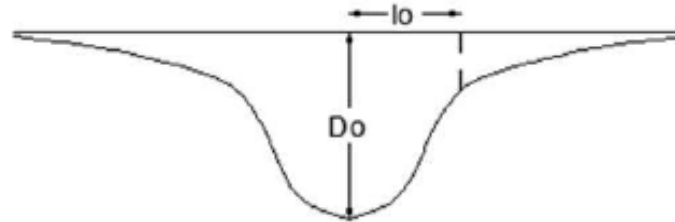


Figura 2.4. Longitud característica (l_o) (Casia, 2015).

- Área del cuenco: Se determina mediante una relación entre las deflexiones medidas en los geófonos, arroja una evaluación preliminar de la subrasante como del paquete estructural que conforma el pavimento (Hoffman, 2003).

Según la longitud característica y el área del cuenco obtenidas, se puede presentar una evaluación preliminar tanto del conjunto de las capas que forman el pavimento como de la subrasante, según lo que indican la Figura 2.5 y la Tabla 2.3.

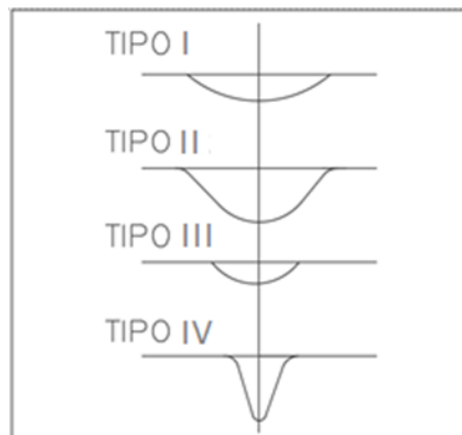


Figura 2.5. Tipos de cuenco de deflexiones característicos (Ávila, Llivisaca, 2014).

Tabla 2.3. Evaluación según el tipo de cuenco (Crespo, 2001).

Tipo	D_o	l_o	Evaluación
I	Bajo	Alto	Buena subrasante / Buen pavimento
II	Alto	Alto	Mala subrasante / Buen pavimento
III	Bajo	Bajo	Buena subrasante / Mal pavimento
IV	Alto	Bajo	Mala subrasante / Mal pavimento

Los cuencos de deflexiones se obtienen en cada uno de los puntos de ensayo, el eje de las abscisas (eje "X") representa la distancia de los geófonos, mientras que el eje de las ordenadas (eje "Y") son las deflexiones medidas.

La guía (AASHTO, 1993) señala la existencia de tres tipos de cuencos no característicos:

La Figura 2.6, indica el cuenco tipo I, el cual se presenta generalmente en pavimentos rígidos, el comportamiento es un indicador de la presencia de vacíos debajo de la losa, perdida de soporte, falla por gradiente térmico, entre las más comunes. No se recomienda utilizar el análisis de retrocálculo.

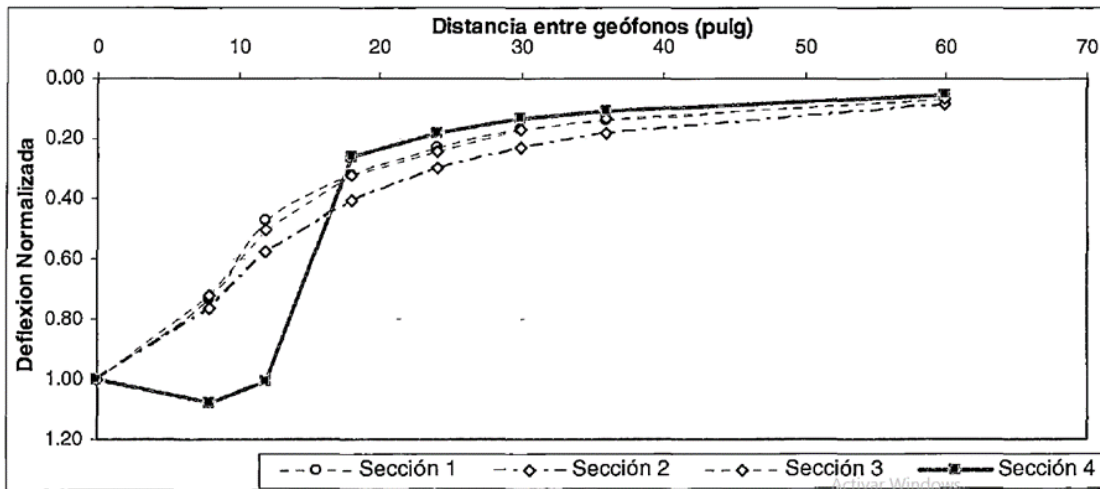


Figura 2.6. Cuenco de deflexiones no característicos tipo I (Guillén, 2009).

En la Figura 2.7 se observa el cuenco de deflexiones tipo II, posee al inicio del cuenco un cambio brusco en las deflexiones, ocurre por lo general en pavimentos flexibles que presentan una capa rígida estabilizadora sobre la subrasante, es decir se da un cambio de rigidez en el pavimento.

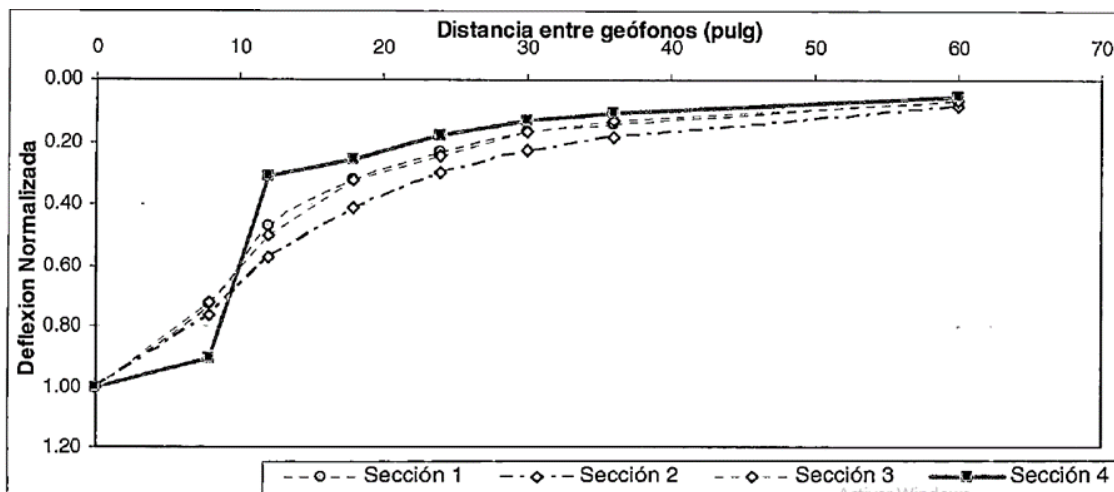


Figura 2.7. Cuenco de deflexiones no característicos tipo II (Guillén, 2009).

Mientras que la Figura 2.8, indica el cuenco tipo III, el cual es un cuenco que presenta valores iguales en geófonos contiguos, se da por lo general en pavimentos rígidos y las causas pueden ser al igual que en el tipo I, la pérdida de soporte en el suelo, presencia de vacíos debajo de la losa, falla por gradiente térmico, entre los más comunes. Es un tipo de cuenco no recomendado para análisis de retrocálculo.

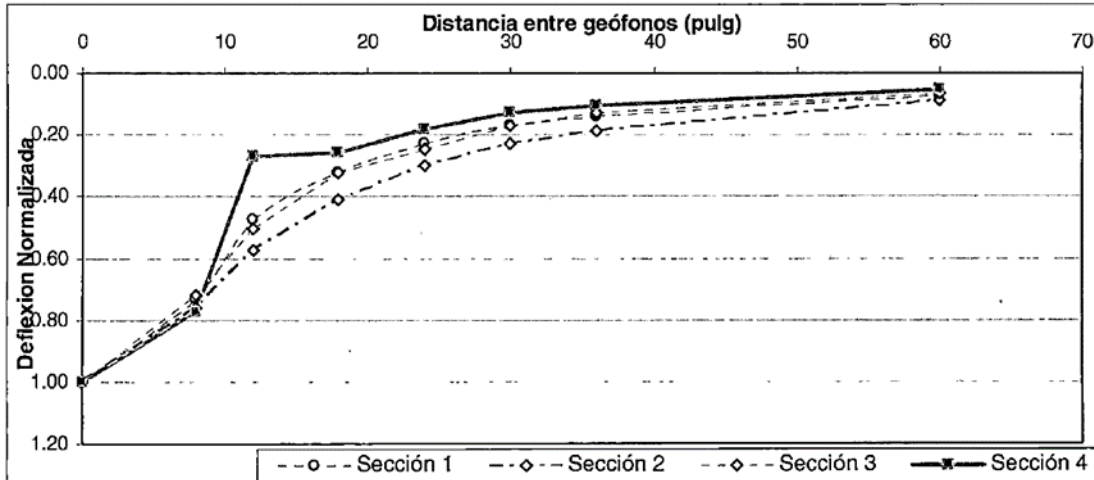


Figura 2.8. Cuenco de deflexiones no características tipo III (Guillén, 2009).

2.2.1.4 Análisis de retrocálculo

2.2.1.4.1 Clasificación del retrocálculo

Para procesar la información obtenida del ensayo (Falling Weight Deflectometer, FWD), se han desarrollado algunos métodos de retrocálculo, los cuales permiten determinar las condiciones del pavimento a evaluar, entre estos métodos están los siguientes (Abad, Sangurima, 2018):

- Método iterativo: Para estimar el módulo de elasticidad de cada capa, este procedimiento asume primero un conjunto inicial de valores de módulo, para luego mediante un proceso iterativo calcular repetidas veces las deflexiones teóricas, hasta que las medidas se encuentren dentro de un nivel de tolerancia o cuando se alcanza el número máximo de iteraciones.
- Método de base de datos: Mediante la interpretación lineal de las deflexiones medidas y las deflexiones teóricas, este método encuentra un conjunto de valores que funcionan generando una base de datos de cuencos de deflexión, para una matriz de valores de módulo de capa elástica y de espesores de capa fija, o una matriz de espesores, para luego buscar la base de datos que más se aproxima a la cuenca medida.
- Método de espesor equivalente o de Odemark: Se encarga de analizar las deflexiones y reducir un sistema multicapa a un sistema equivalente con menos capas (generalmente tres o menos). El método de espesor equivalente utiliza los métodos iterativos o de base de datos para encontrar un conjunto adecuado de valores de módulo.



- Método de cálculo directo o solución de forma cerrada: Estos métodos se conocen como métodos de cálculo "hacia adelante" y proporcionan una solución única para cada cuenca de deflexión, este método utiliza puntos específicos del cuenco para calcular directamente los módulos de elasticidad de cada capa. La desventaja de este método es que la solución está limitada a tres o menos capas de pavimento, esta limitación hace que el análisis presente anomalías o defectos difíciles de identificar porque requieren el uso de concepto de rigidez equivalente.
- Método de Boussinesq con rueda simple: El método de Boussinesq es un método muy utilizado en el estudio de suelos, mediante la aplicación de esfuerzos a compresión se podrán determinar las deformaciones y desplazamientos, siempre que el suelo presente características de ser semifinito, isótropo y que los esfuerzos sean proporcionales a las deformaciones, es decir que tenga un comportamiento elástico lineal. Boussinesq presentó las soluciones para estos parámetros, las ecuaciones establecidas solo podían ser aplicadas cuando las cargas eran puntuales, sin embargo, mediante métodos matemáticos de integración, se desarrollaron los parámetros necesarios que permitían aplicar cargas distribuidas.
- Otros métodos: Se han desarrollado nuevos métodos como el uso de redes neuronales (ANNs), algoritmos genéricos y métodos dinámicos de retrocálculo.

2.2.2 Método AASHTO

El método de la AASHTO 93, usa los resultados obtenidos por ensayos no destructivos sobre pavimentos, como puede ser el ensayo de deflectometría FWD. El método permite determinar las condiciones estructurales del pavimento.

Este es un método de retrocálculo que permite determinar parámetros como el módulo de reacción de la subrasante (k), el módulo elástico de la losa de hormigón (E_{PCC}) y el módulo de rotura de la losa de hormigón ($S'c$). El pavimento es considerado como un sistema de dos capas, la una es la subrasante y la otra es la losa de hormigón que forman el pavimento. En este método es necesario determinar las áreas del cuenco de deflexiones, donde las deflexiones son medidas a distintas distancias radiales del centro del plato de carga, las deflexiones deben ser decrecientes mientras más alejadas del centro del plato de carga se encuentren (AASHTO, 1993).

2.2.2.1 Transferencia de cargas

Una correcta eficiencia en la transferencia de cargas, se produce cuando el pavimento como sus juntas han tenido un correcto diseño y un adecuado proceso constructivo, mediante personal capacitado y materiales que presenten características de acuerdo al diseño inicial.

Las tres formas existentes para que la transferencia de carga sea eficiente son: la trabazón de los agregados, la instalación de sistemas de transferencia de carga como pueden ser los pasadores y

elevando el módulo de reacción de la subrasante al colocar una base estabilizada (ECUATEST CIA. LTDA, 2014).

En la Figura 2.9 se observan dos condiciones distintas en la transferencia de cargas, en la una se ve un pavimento donde la transferencia de cargas es mala, mientras que en la otra se presenta una eficiencia de transferencia de carga excelente ya que las deflexiones que se presentan a cada lado de la junta son iguales.



Figura 2.9. Eficiencia en la transferencia de cargas (AASHTO, 1993).

2.2.3 Software ELMOD 6

ELMOD 6 es desarrollado por Ullidtz, Lytton & Michalak y distribuido por Dynatest. Es un programa que utiliza un método aproximado basado en las ecuaciones de Boussinesq y en el método de Odemark de espesores equivalentes para estimar los módulos de capa (Casia, 2015).

Es importante implementar un software que permita determinar distintas características estructurales del pavimento de forma fácil y rápida. Los parámetros de ingreso que se utiliza son las deflexiones que se obtienen por el FWD, el software puede procesar los datos mediante los siguientes tres módulos (Abad, Sangurima, 2018).

- Ajuste del cuenco de deflexión: Para este método se debe ingresar como parámetros de entrada los módulos de elasticidad estimados “módulos semilla” de cada capa del pavimento, valores característicos que se utilizan se los registra en la Tabla 2.4. A partir de estos valores se genera un cuenco de deflexiones teórico el cual, se compara y se ajusta con los cuencos que se obtienen en campo (los módulos sufren variaciones del $\pm 10\%$ generalmente). Este es un proceso iterativo hasta que se encuentre un mínimo de error entre los cuencos de deflexión calculados y de medición. Una ventaja que presenta este método es que se podrá analizar hasta 5 capas en un pavimento.



Tabla 2.4. Valores semilla del software ELMOD 6 (Abad, Sangurima, 2018).

Material	Módulo (psi)	Módulo (MPa)
Concreto asfáltico	500.000	3.500
Concreto de cemento portland	5.000.000	35.000
Bases tratadas con cemento	600.000	4.100
Bases granulares	30.000	200
Subbases granulares	15.000	100
Suelos cohesivos	7.000	50
Suelos estabilizados con cemento	50.000	350
Suelos estabilizados con cal	20.000	140

- Radio de curvatura: Mediante las características que presenta la subrasante, se podrán encontrar los valores de los módulos de cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento, todo esto mediante la utilización del radio de rigidez. El proceso empieza mediante la determinación de las propiedades de la subrasante como la rigidez y la no linealidad del pavimento, mediante las deflexiones medidas en los geófonos exteriores, mientras que los geófonos centrales se encargaran de medir y evaluar la rigidez de la capa de rodadura del pavimento, para el resto de las capas se determina su rigidez en base a la respuesta global del pavimento.
- FEM/LET/MET: Realiza evaluaciones mediante método de elementos finitos (FEM), método de espesor equivalente (MET), o teoría elástico lineal (LET). FEM trabaja en base al uso de metodologías de elementos finitos axial simétrica, la cual fue desarrollada por Wilson en la Universidad de California (Duncan, Monismith, y Wilson, 1968). LET utiliza el programa WESLEA (programa elástico lineal multicapa que permite el análisis de una estructura de pavimento, incluyendo los efectos de los sistemas de carga complejas). El método MET del programa ELMOD aplica de un modo sencillo y rápido los factores de ajuste de Odermark, el programa aplica un método similar al ajuste del cuenco de deflexión.

2.2.4 Método de la distancia crítica

2.2.4.1 Principio del método

El método de la distancia crítica se basa en el principio de St. Venant “*La diferencia entre los esfuerzos o tensiones causadas por sistemas de cargas estáticas equivalentes son insignificantes a distancias mayores que la dimensión del área más grande sobre la cual están actuando las cargas*” (Love, 1927). En la Figura 2.10, se puede observar la aplicación del principio de St. Venant.

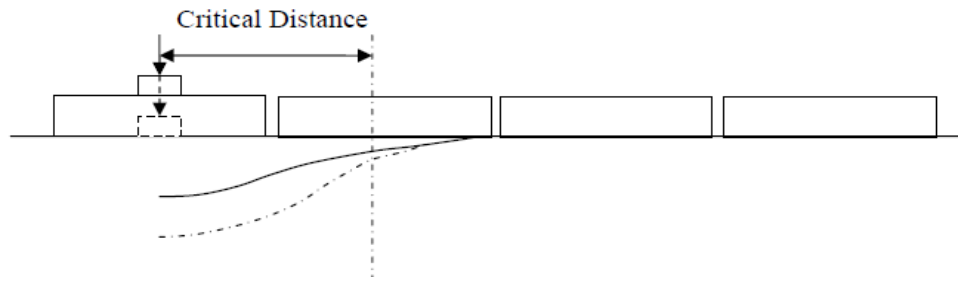


Figura 2.10. Principio de St. Venant (Haifang W, Xiaojun L. 2012).

2.2.4.2 Modelado de estructuras para obtener las desviaciones.

Para determinar el método, se usa diferentes estructuras de pavimentos de tipo whitetopping, con lo cual se realizan simulaciones y combinaciones entre dichas estructuras.

Al combinar las estructuras se calculan las deflexiones en base a distintos módulos compuestos de la subestructura, módulos de la losa de hormigón y distintos espesores de la estructura (Haifang W, Xiaojun L. 2012). Dichas deflexiones se comparan con las calculadas mediante el FWD, y las diferencias existentes entre ambas determinan la distancia crítica, siendo ésta la distancia desde donde estas diferencias son menores al 10 %.

La Figura 2.11 muestra la distancia crítica para un modelo con diferentes características del pavimento ultra whitetopping.

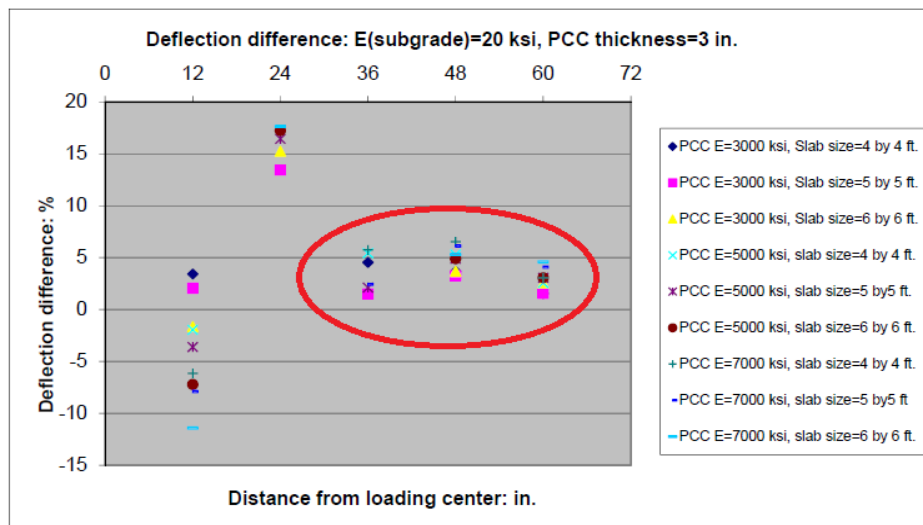


Figura 2.11. Distancia crítica para ultra whitetopping (Haifang W, Xiaojun L. 2012).

En la Figura 2.11, se observa que las diferencias en las deflexiones se reducen a partir del geófono D36 siendo ésta la distancia crítica para esta combinación de estructura.



2.2.4.3 Parámetros determinados por el método

Mediante el método de retrocálculo se obtiene el módulo de la subestructura, la cual está conformada por todas las capas que se encuentran debajo de la losa de hormigón, las propiedades pueden ser halladas en función de las deflexiones que se encuentran más allá de la distancia crítica. Una vez que se encuentran las propiedades de la subestructura, se determina las propiedades de losa de hormigón haciendo coincidir las deflexiones que se dan en el centro de la placa del ensayo FWD, mediante un proceso iterativo (Haifang W, Xiaojun L. 2012).

2.2.4 Parámetros Estructurales

2.2.4.1 Módulo de reacción de la subrasante

El módulo de reacción de la subrasante indica el valor que se asienta la subrasante al estar sometida a un esfuerzo, el módulo corresponde a la capa del suelo en la que se construye el pavimento, esta se puede determinar por los siguientes tres métodos determinados por la guía AASHTO:

- Correlación con el tipo de suelo y otras propiedades o ensayos del suelo.
- Desempeño del ensayo del plato de carga.
- Ensayos de deflexión y retrocálculo.

Actualmente, lo que más se utiliza son los ensayos no destructivos, los cuales permiten evaluar sus resultados mediante retrocálculo y obtener el módulo de reacción de la subrasante de una manera rápida y mucho más económica que los métodos destructivos.

2.2.4.2 Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad permite relacionar la carga aplicada con la deformación que se produce en un material, en las losas de pavimentos permite definir la rigidez y la capacidad de transmitir las cargas que producen los neumáticos (ECUATEST CIA. LTDA, 2014).

En los pavimentos de hormigón armado existen parámetros como el coeficiente de expansión térmica, el coeficiente de retracción, que permite determinar los valores del módulo de elasticidad de las distintas capas del pavimento (AASHTO, 1993). La Tabla 2.5, presenta rangos de valores de los módulos de elasticidad para diferentes materiales que generalmente conforman los pavimentos.



Tabla 2.5. Valores típicos de módulos de capas de pavimentos (INVIAS, 2002).

MATERIAL	Rango (psi)		Rango (Kg/cm2)		Rango (MPa)		Valor típico		
	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	psi	Kg/cm2	MPa
Concreto hidráulico	2844668	7822838	200000	550000	19613	53936	4267002	300000	29419
Concreto asfáltico	200000	450000	14061	31638	1379	3103	350000	24607	2413
Base estabilizada con asfalto	100000	400000	7031	281123	689	2758	200000	14061	1379
Base estabilizada con cemento	500000	1000000	35153	70307	3447	6895	800000	56246	5516
Base granular	20000	50000	1406	3515	138	345	35000	2461	241
Subbase granular	10000	20000	703	1406	69	138	15000	1055	103
Subrasante	3000	15000	211	1055	21	103	7000	492	48

2.2.4.3 Módulo de rotura

El módulo de rotura es un parámetro importante como variable de entrada para diseño de pavimentos rígidos, se define como la medida del esfuerzo en la fibra extrema que se desarrolla al someter una viga a la flexión (ECUATEST CIA. LTDA, 2014).

Para determinar el módulo de rotura se sigue por la norma ASTM C78, es decir se realiza la prueba a flexión en laboratorio con el objetivo de definir la resistencia a momento del hormigón, para este ensayo se usan probetas prismáticas con cargas en el tercio central. Luego de realizar el ensayo de laboratorio, mediante ecuaciones se determina el módulo de rotura.

Generalmente se usa la resistencia a flexión para determinar el módulo de rotura, sin embargo, se han desarrollado correlaciones con otras pruebas como la resistencia a la compresión o resistencia a la tracción indirecta, que son pruebas más comunes y convenientes (Kosmatka, et al., 2006).

2.3 Análisis de correlación

En un análisis de correlación generalmente sus resultados son usados para toma de decisiones de procedimientos que puede aplicarse en diferentes campos de la ciencia, tiene por objetivo determinar si dos variables diferentes, tienen o no alguna relación. Existen cinco tipos de correlaciones, los cuales se clasifican en cinco grupos (Barrios, 2012).

Las correlaciones se clasifican en:

Correlación perfecta: Variación igual en las variables dependientes e independientes.

Correlación positiva: Cuando la variable dependiente e independiente tienden a crecer.

Correlación negativa: Cuando la variable dependiente e independiente tienden a decrecer.

Correlación alta: Cuando la variable independiente altera de manera considerable la variable dependiente.

Correlación baja: Cuando la variable independiente no altera considerablemente la variable dependiente.



Mientras que los tipos de correlación son:

- Positiva y lineal
- Negativa y lineal
- Relaciones curvilíneas
- Ausencia de relación

Capítulo 3

3. Materiales y Métodos

En el presente capítulo se realiza el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos de la deflectometría de impacto, además se describen las metodologías utilizadas para determinar los parámetros estructurales del pavimento whitetopping mediante retrocálculo, para finalizar se desarrollan ejemplos de aplicación de dichas metodologías con datos reales de la vía de estudio.

3.1 Estructura general del pavimento de la vía Biblián –Zhud.

La Figura 3.1, muestra la estructura general de la vía Biblián – Zhud, y los espesores de las capas se obtienen a partir de los estudios realizados por la empresa ECUATEST CIA. LTDA.

Para la vía de estudio no se realiza fresado, se realiza una reconfirmación en los tramos que carecían de pavimento, se completa y nivela la base granular para posterior a ello, colocar la carpeta de pavimento rígido (Hidalgo E Hidalgo, 2019).

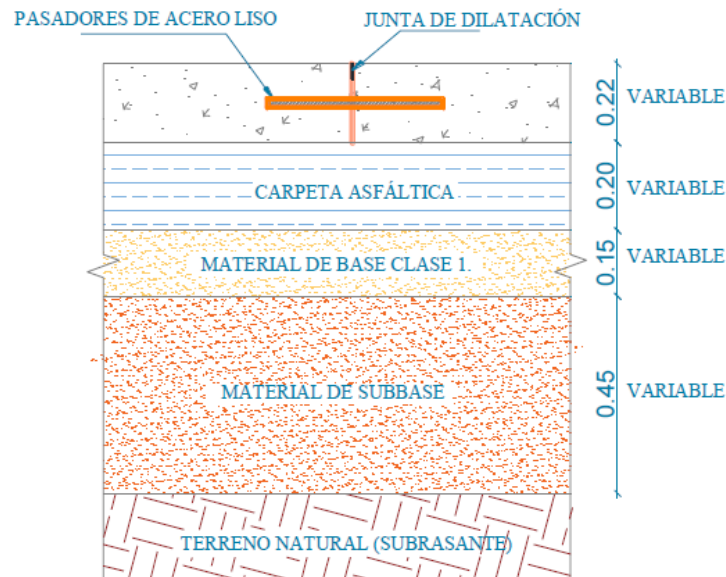


Figura 3.1. Esquema de los elementos que integran el pavimento en la vía Zhud – Biblián (Zarate, 2019).

3.2 Evaluación Estructural

3.2.1 Deflectómetro de Impacto (FWD)

Para la evaluación estructural del pavimento se utiliza el deflectómetro de impacto, dicha metodología ofrece una evaluación eficiente, ya que realiza ensayos no destructivos, es decir sin afectar el conjunto estructural. Este equipo registra las deflexiones producidas en la superficie del pavimento, las cuáles son generadas a partir de la caída de una carga sobre un plato asentado en el pavimento.

El equipo de medición que se utiliza para las deflexiones en la vía de estudio es un FWD modelo PRIMAX 2100. El cual genera un impulso de carga sobre el firme mediante el impacto provocado por la caída libre de una masa sobre un sistema de amortiguación instalado sobre una placa circular segmentado en cuatro partes de 30 cm de diámetro (ECUATEST CIA. LTDA, 2014).

La carga aplicada en los ensayos fue de 63,77 KN con una dispersión del orden de +/- 5 KN, valor equivalente a una simulación de carga de 13 Ton. Posteriormente y con el fin de realizar los cálculos de acuerdo a lo establecido en la metodología AASHTO 93, se procede con la corrección de las deflexiones a una carga estándar de 40 KN, correspondiente a una simulación de 8.2 Ton. En cada ensayo se realizaron tres golpes, el primero de ellos para ajuste del plato, el cual fue descartado para los procesos de cálculo pertinentes (ECUATEST CIA. LTDA, 2014).

3.2.1.1 Localización de los ensayos

De acuerdo a los tres niveles de muestreo mostrados en la Sección 2.2.1.1, para la vía de estudio se realiza el muestreo conforme al nivel 1, es decir, ensayos en intervalos de entre los 200 a 500 m, realizados en el centro, en la esquina, en la junta y en la pasajunta, según lo indica la Figura 3.2.

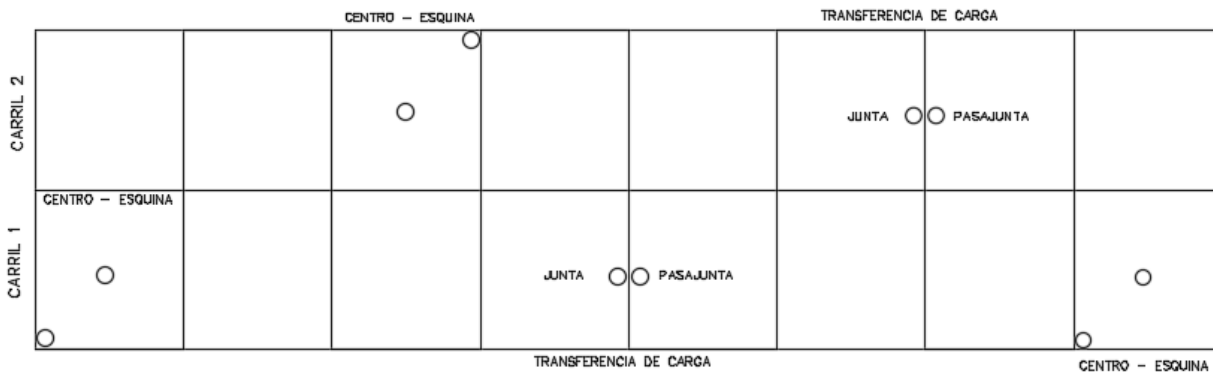


Figura 3.2. Localización de los ensayos en la vía Biblián - Zhud.

3.2.1.2 Ubicación y espaciamiento de los sensores

Para la vía Biblián – Zhud se utilizan un total de 9 geófonos (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9) los cuáles se colocan en una disposición lineal radial tal como indica la Figura 3.3.

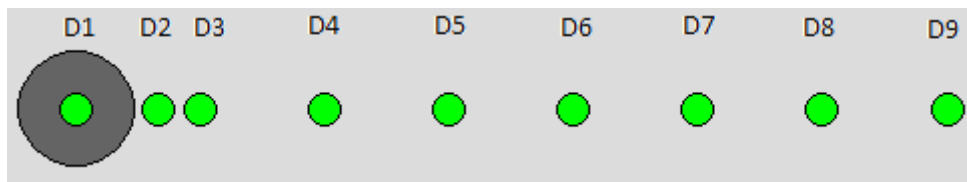


Figura 3.3. Disposición de los geófonos en la vía Biblián - Zhud.

En lo que respecta al espaciamiento de los geófonos dicha disposición se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Disposición de geófonos en la vía Biblián - Zhud.

Sensor de deflexión	Espaciamiento
D1	0
D2	20 cm (8")
D3	30 cm (12")
D4	60 cm (24")
D5	90 cm (36")
D6	120 cm (48")
D7	150 cm (60")
D8	180 cm (72")
D9	210 cm (84")

3.2.1.3 Aplicación del FWD

Los ensayos se realizan en los dos carriles de la vía, tal como se muestra en la Figura 3.4. Iniciando con en el carril izquierdo en la abscisa 0 + 006, seguidamente con el carril derecho partiendo desde la abscisa 0+535. En el estudio se realizan un total 737 aplicaciones englobando caídas en el centro de la losa, en la esquina, en la junta y pasajunta, respectivamente. Para este estudio se utilizan los datos de 183 aplicaciones correspondientes el centro de la losa, 92 para el carril izquierdo y 91 para el carril derecho respectivamente, con un total de 36094 metros de longitud de sondeo en los dos carriles (ECUATEST CIA. LTDA, 2014).

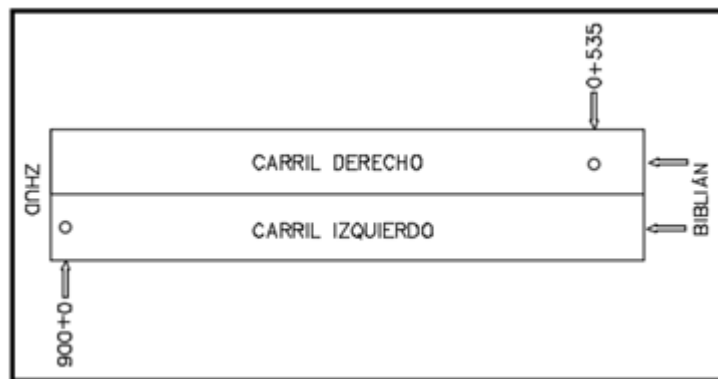


Figura 3.4. Sentido de los ensayos FWD en la vía Biblián – Zhud.

Al momento de analizar las deflexiones, se observa que la deflexión calculada con el geófono D4, resulta mayor a la del D3, dando como resultado una deflectometría no decreciente, distinto a lo que en teoría debe darse, sin embargo, se debe anotar que este tipo de registros ocurren en la práctica profesional y con frecuencia en pavimentos rígidos, y más aún en pavimentos compuestos. Debido a esta



problemática se procede a corregir el valor de la deflexión D4, se opta por realizar una extrapolación para los registros en los que el punto D4, aporta medidas no decrecientes, esto se hace en base al valor promedio de la relación entre la deflexión D3, D4, y D5, respectivamente, de todos aquellos registros de deflexión en el centro de la losa, en los que si se registran deflexiones no decrecientes (ECUATEST CIA. LTDA, 2018).

A partir de estos valores, se aplica la Ecuación 3.1 para la extrapolación de D4:

$$D4_i = D3_i - (D3_i - D5_i) \frac{1 - (D4/D3)_m}{1 - (D5/D3)_m} \quad (3.1)$$

Donde:

$D(X)_i$ = Valor de deflexión en el punto X para la medida i

$(DX/DY)_m$ = Valor medio de la relación entre la deflexión en el punto X y en el punto Y

3.2.2 Método AASHTO

El suplemento de la AASHTO Guide of Pavement Structures “Part II, - Rigid Pavement Design and Rigid Pavement Joint Design”, presenta la metodología que se usa para determinar el módulo de reacción de la subrasante como el módulo de elasticidad de la losa de hormigón (AASHTO, 1993).

3.2.2.1 Módulo de reacción de la subrasante

Para determinar el módulo de reacción de la subrasante se realiza el siguiente proceso:

Se calcula el área del cuenco de deflexiones, para lo cual se utiliza la Ecuación 3.2.

$$AREA_7 = 4 + 6 \left(\frac{d_8}{d_0}\right) + 5 \left(\frac{d_{12}}{d_0}\right) + 6 \left(\frac{d_{18}}{d_0}\right) + 9 \left(\frac{d_{24}}{d_0}\right) + 18 \left(\frac{d_{36}}{d_0}\right) + 12 \left(\frac{d_{60}}{d_0}\right) \quad (3.2)$$

Donde:

d_i = Deflexión a una distancia “i” (in)

d_0 = Deflexión en el centro del plato de carga (in)

Se determina el radio de rigidez relativa y se asume una losa infinita, es decir que la losa no está limitada por juntas para lo cual se usa la Ecuación 3.3.

$$l_{est} = \left[\frac{\ln\left(\frac{60 - AREA_7}{289,708}\right)}{0,698} \right]^{-2,566} \quad (3.3)$$

Se determina una primera aproximación del módulo de reacción estático de la subrasante mediante la Ecuación 3.4.



$$k_{est} = \frac{Pdo^*}{do(l_{est})^2} \quad (3.4)$$

Donde:

P = Carga aplicada (lb)

do^* = Coeficiente adimensional de deflexión en el centro de la placa

l_{est} = Radio de rigidez (in)

El valor del coeficiente adimensional se determina a partir de la Ecuación 3.5.

$$do^* = 0,124e^{[-0,14707e^{(-0,07565l_{est})}]} \quad (3.5)$$

Mediante las Ecuaciones 3.6 y 3.7 se calculan los valores de ajuste para losas finitas.

$$AF_{do} = 1 - 1,15085e^{-0,71878\left(\frac{L}{l_{est}}\right)^{0,80151}} \quad (3.6)$$

$$AF_l = 1 - 0,89434e^{-0,61662\left(\frac{L}{l_{est}}\right)^{1,04831}} \quad (3.7)$$

Donde el valor de "L" depende de las siguientes restricciones:

- Si la longitud de la losa es menor o igual que dos veces el ancho de la losa, se utiliza la Ecuación 3.8.

$$Si L_l \leq 2L_w, \quad L = \sqrt{L_l * L_w} \quad (3.8)$$

- Si la losa es mucho más grande que dos veces su ancho se utiliza la Ecuación 3.9.

$$Si L_l \geq 2L_w, \quad L = \sqrt{2} * L_l \quad (3.9)$$

Por último, se calcula el valor del módulo de reacción dinámico (k_{din}), mediante la Ecuación 3.10. Se tiene en cuenta que AASHTO 93 establece que el módulo de reacción estático (k_{est}), se obtiene al dividir para dos el valor de k_{din} calculado según la Ecuación 3. 11.

$$k_{din} = \frac{k_{est}}{AF_l^2 * AF_{do}} \quad (3.10)$$

$$k_{estático} = \frac{k_{din}}{2} \quad (3.11)$$



3.2.2.1.1 Ejemplo de aplicación

El ejemplo permite determinar el módulo de reacción de la subrasante mediante el método AASHTO, la abscisa evaluada es la 31+700, correspondiente al carril derecho en sentido Biblián – Zhud.

La Tabla 3.2, indica los valores de las medidas de las deflexiones corregidas para una carga estándar de 40 KN, según se indica en la Sección 3.2.1, además de la corrección del valor del censor D4, conforme se indica en la Sección 3.2.1.3.

Para cada uno de los geófonos del ensayo deflectométrico, las distancias de los geófonos al centro del plato de carga son: 0, 8, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 pulgadas, mientras que las medidas de las deflexiones se expresan en micromilímetros.

Tabla 3.2. Deflexiones abscisa 31+700 del carril derecho de la vía Zhud - Biblián.

Abscisa	DEFLEXIONES								
	d0 (um)	d8 (um)	d12 (um)	d24 (um)	d36 (um)	d48 (um)	d60 (um)	d72 (um)	d84 (um)
31+700	242	208	174	159	126	101	79	59	51

Una vez determinadas las deflexiones se procede como se detalla a continuación:

Se calcula el área del cuenco de deflexión mediante la Ecuación 3.2, Para hallar el valor d18, (deflexión a una distancia de 18 pulgadas del centro del plato de carga), se obtiene a partir de una interpolación lineal entre las deflexiones d12 y d24, para lo cual se realiza el procedimiento que se indica a continuación.

$$d_{18} = d_{24} + \frac{(d_{12} - d_{24})}{2} = 159 + \frac{(174 - 159)}{2} = 166.5 \text{ um}$$

Con el valor obtenido de d18 se calcula el área del cuenco con la Ecuación 3.2.

$$AREA_7 = 4 + 6 \left(\frac{208}{242} \right) + 5 \left(\frac{174}{242} \right) + 6 \left(\frac{165.5}{242} \right) + 9 \left(\frac{159}{242} \right) + 18 \left(\frac{126}{242} \right) + 12 \left(\frac{79}{242} \right)$$

$$AREA_7 = 36.08 \text{ in}^2$$

Para la determinar del radio de rigidez se utiliza la Ecuación 3.3.

$$l_{est} = \left[\frac{\ln \left(\frac{60 - 36.08}{289.708} \right)}{0.698} \right]^{-2.566} = 26.26 \text{ in}$$

Se calcula el valor do* mediante la Ecuación 3.5.

$$do^* = 0.124e^{[-0.14707e^{(-0.07565*26.26)}]} = 0.1215$$

Mediante el uso de la Ecuación 3.4, se determina el módulo de reacción de la subrasante.



$$k_{est} = \frac{9000 * 0.1215}{0.00953(26.26)^2} = 166.52 \text{ pci}$$

Se calcula el valor de “L” de acuerdo a las condiciones geométricas que presenta la vía, por lo que se utiliza la Ecuación 3.8, según se indica a continuación.

$$Si L_l \leq 2L_w$$

$$Como 177.17 \leq 2 * 157.48, \quad L = \sqrt{177.17 * 157.48} = 167.03 \text{ in}$$

Se calcula los valores de ajuste para una losa de dimensiones finitas según lo indicado en las Ecuaciones 3.6 y 3.7, respectivamente.

$$AF_{do} = 1 - 1.15085e^{-0.71878\left(\frac{167.03}{26.26}\right)^{0.80151}} = 0.95$$

$$AF_l = 1 - 0.89434e^{-0.61662\left(\frac{167.03}{26.26}\right)^{1.04831}} = 0.99$$

Se obtiene el módulo de reacción de la subrasante corregido mediante la Ecuación 3.10.

$$k_{din} = \frac{166.52}{0.99^2 * 0.95} = 179.38 \text{ pci}$$

Finalmente se utiliza la Ecuación 3.11, para determinar el módulo de reacción estático corregido de la subrasante.

$$k_{estático} = \frac{179.38}{2} = 89.69 \text{ pci}$$

3.2.2.2 Módulo de rotura de la losa de hormigón

Para determinar el módulo de rotura de la losa de hormigón se debe seguir los pasos propuestos por la guía AASHTO 93:

Se determina el módulo elástico de la losa de hormigón según la Ecuación 3.12.

$$E_{PCC} = \frac{l_k^4 * 12 * (1 - u_{PCC}^2) * k}{D_{PCC}^3} \tag{3.12}$$

Donde:

E_{PCC} = Módulo elástico de la losa de hormigón (psi)

D_{PCC} = Espesor de la losa de hormigón (in)

u_{PCC} = Módulo de Poisson de la losa de hormigón (0,15 valor típico)

k = Módulo de reacción de la subrasante (pci)

l_k = Radio de rigidez relativa (in)



El radio de rigidez relativa propuesto por la metodología AASHTO 93, se determina a partir de la Ecuación 3.13. Mientras que el área del cuenco de deflexiones se determina mediante la Ecuación 3.14.

$$l_k = \left[\frac{\ln \left(\frac{36 - AREA}{1812.279133} \right)}{-2.55934} \right]^{4.387} \quad (3.13)$$

$$AREA = 6 * \left[1 + 2 \left(\frac{d_{12}}{d_0} \right) + 2 \left(\frac{d_{24}}{d_0} \right) + \left(\frac{d_{36}}{d_0} \right) \right] \quad (3.14)$$

Donde:

d_i = Deflexión a una distancia “i” (in)

d_0 = Deflexión en el centro del plato de carga.

El módulo de reacción de la subrasante que se utiliza en la Ecuación 3.12, vienen dada por la Ecuación 3.15, mientras que el módulo dinámico se determina mediante la Ecuación 3.16.

$$K = \left(\frac{P}{8d_0 l_k^2} \right) \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \left[\ln \left(\frac{a}{2l_k} \right) + \gamma - 1,25 \right] \left(\frac{a}{l_k} \right)^2 \right\} \quad (3.15)$$

$$k = \frac{K}{2} \quad (3.16)$$

Donde:

K = Módulo dinámico (pci)

P = Carga aplicada (lbs)

$\gamma = 0.5772157$ = Constante de Euler

a = Radio de la placa de carga (in)

k = módulo de reacción de la subrasante (pci)

Finalmente, el módulo de rotura de la losa de hormigón se determina mediante la Ecuación 3.17.

$$S'c = 43.5 \left(\frac{E_{PCC}}{1000000} \right) + 488.5 \quad (3.17)$$

Donde

$S'c$ = Modulo de rotura (psi)

E_{PCC} = Modulo elástico de la losa de hormigón (psi)



3.2.2.2.1 Ejemplo de aplicación

Se evalúa la abscisa 31+700, correspondiente al carril derecho de la vía Biblián – Zhud. Las deflexiones que se obtienen del ensayo deflectométrico se expresan en la Tabla 3.2. El proceso seguido se desarrolla a continuación:

Se calcula el área del cuenco de deflexiones mediante el uso de la Ecuación 3.14.

$$AREA = 6 * \left[1 + 2 \left(\frac{174}{242} \right) + 2 \left(\frac{159}{242} \right) + \left(\frac{126}{242} \right) \right] = 25.64 \text{ in}^2$$

Se determina el valor del radio de rigidez relativo mediante la Ecuación 3.13.

$$l_k = \left[\frac{\ln \left(\frac{36-25.64}{1812.279133} \right)}{-2.55934} \right]^{4.387} = 21.75 \text{ in}$$

Se calcula el valor del módulo dinámico con la Ecuación 3.15.

$$K = \left(\frac{9000}{8 * 0.00953 * 21.75^2} \right) \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \left[\ln \left(\frac{5.9}{2 * 21.75} \right) + 0.5772157 - 1.25 \right] \left(\frac{5.9}{21.75} \right)^2 \right\}$$

$$K = 243.86 \text{ pci}$$

Se determina el valor del módulo de reacción de la subrasante mediante la Ecuación 3.16.

$$k = \frac{243.86}{2} = 121.93$$

Se calcula el módulo de elasticidad de la losa de hormigón usando la Ecuación 3.12.

$$E_{PCC} = \frac{21.75^4 * 12 * (1 - 0.15^2) * 121.93}{8.7^3} = 485919.56 \text{ psi}$$

Finalmente, se determina el módulo de rotura de la losa de hormigón mediante la Ecuación 3.17.

$$S'c = 43.5 \left(\frac{485919.56}{1000000} \right) + 488.5 = 509.64 \text{ psi}$$

3.2.2.3 Eficiencia de la transferencia de carga

Para entender la esencia del funcionamiento del pavimento rígido, se debe conocer el funcionamiento del conjunto mismo. La eficiencia de la transferencia de carga es vital para lograr el correcto funcionamiento de dicho conjunto estructural. Esta eficiencia se logra con un correcto diseño de las juntas y una mejor construcción del pavimento.



Para este proyecto se evalúa la eficacia de la transferencia de carga (LTE) en función de la eficiencia en la transferencia de la deflexión. La eficiencia en la transferencia de carga en la junta y pasajunta basada en las deflexiones, se representa mediante la Ecuación 3.18.

$$LTE = \frac{Dul}{Dl} * 100 \tag{3.18}$$

Donde:

- LTE* = Eficiencia de la transferencia de carga en la junta
- Dul* = Deflexión a 15 cm de la junta en la losa no cargada
- Dl* = Deflexión a 15 cm de la junta en la losa cargada

Para determinar la eficiencia en la transferencia de carga con el equipo FWD en la junta, el plato de carga de diámetro 30 cm se coloca al borde de la junta a evaluar midiéndose la deflexión en la zona cargada (*Dl*) con el geófono D1, la deflexión en la zona no cargada (*Dul*) es la correspondiente al geófono D3, existiendo una distancia asimétrica entre los geófonos y la junta de 15 cm. Por su parte al evaluar la pasajunta, el plato de carga de diámetro 30 cm se coloca al borde de la pasajunta a evaluar y para el cálculo de la transferencia de carga, se utiliza la misma disposición de los geófonos que en el análisis de la junta.

Para la calificación de la transferencia de carga se utiliza la Tabla 3.3, la misma que tiene la calificación vigente de la AASHTO (2002) para la eficiencia de la transferencia de carga.

Tabla 3.3. Calificación de la transferencia de carga (AASHTO, 2002).

CALIFICACIÓN	LTE (%)
Excelente	90 - 100
Bueno	75 - 89
Regular	50 - 74
Pobre	25 - 49
Muy pobre	0 - 24

LTE = Eficiencia de la transferencia de carga en la junta.

3.2.3 Software ELMOD 6

La estructura del pavimento a evaluar no es convencional, consta de un pavimento de hormigón hidráulico colocado sobre una capa de pavimento flexible, por lo que, para analizar el pavimento se modelan 3 diferentes tipos de estructuras:

1. MODELO 1. Se modela la estructura real, es decir, una estructura compuesta por, una capa de pavimento rígido sobre una capa de pavimento flexible, sobre una capa de material base, sobre una capa de material sub base, y finalmente sobre la subrasante.

2. MODELO 2. Se modela una estructura de 4 capas, compuesta por una capa de pavimento rígido sobre una capa de pavimento flexible, sobre una capa de material base, y sobre la subrasante.
3. MODELO 3. Se modela una estructura de 3 capas, compuesta por una capa de pavimento rígido, sobre una capa de pavimento flexible, y a su vez sobre la subrasante.

Esto es posible realizar ya que el software ELMOD 6, (ELMOD, 2016). Es un software capaz de considerar hasta 5 capas de diferentes propiedades, para el análisis mediante el método de ajuste de cuenco de deflexión.

Con dichos modelos se busca encontrar el modelo que mejor se ajuste a los datos obtenidos en campo, mediante la extracción de calicatas, realizado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2017), comprendiendo un total de 18 puntos de muestreo.

Para procesar los datos de deflectometría se debe verificar que las deflexiones sean decrecientes a medida que se alejan del plato de carga del deflectómetro, para ello se procede a la corrección del valor D4, tal como se indica en la Sección 3.2.1.3. A continuación, se ingresan los datos de deflectometría corregidos al programa ELMOD 6. Cabe recalcar que ELMOD 6, trabaja con una base de datos con formato propio, es por ello que al no tener los datos en dicho formato se procede a la transformación de forma manual al formato mencionado, para ello se realizó el contacto mediante correo electrónico con los desarrolladores del software.

Una vez ingresada la deflectometría se ingresan los parámetros de entrada para el análisis, éstos implican básicamente las características y propiedades de la estructura, la Figura 3.5(a), presenta una captura de pantalla del programa con la interfaz para la configuración de la estructura general correspondiente al MODELO 1, para el análisis de la vía Biblián-Zhud, a su vez la Figura 3.5(b), representa la interfaz gráfica de la estructura que ofrece el ELMOD 6, al pulsar el botón ver estructura.

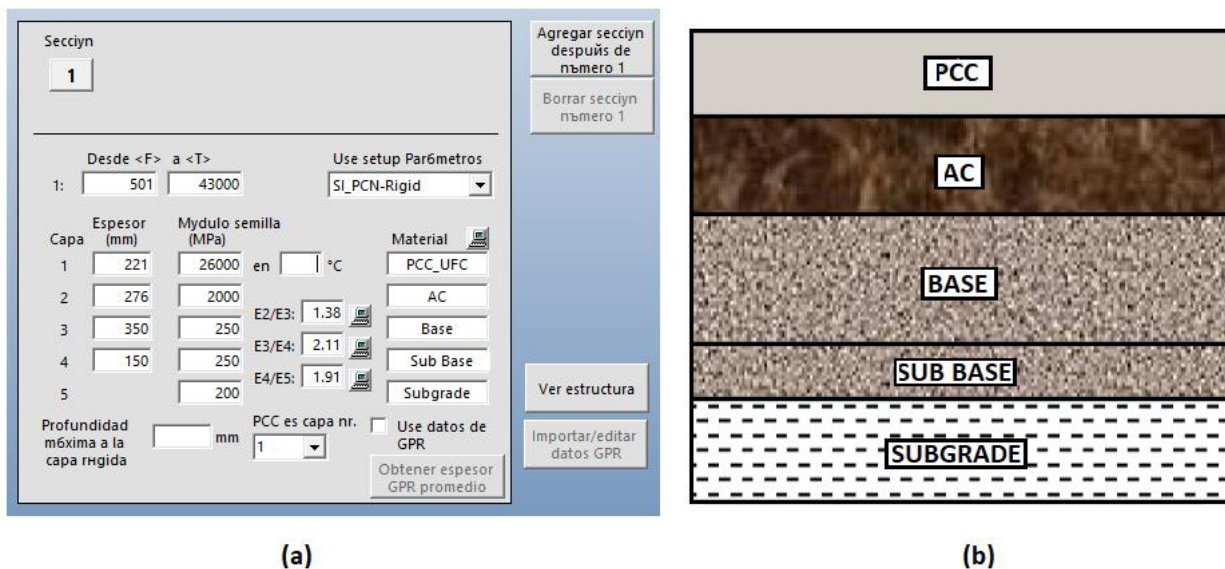


Figura 3.5. Interfaz del programa ELMOD 6 para el ingreso de los parámetros estructurales.

Los espesores de las capas se eligen a partir del promedio de los valores obtenidos mediante la extracción de calicatas, resultando para la capa de hormigón hidráulico 221 milímetros, para la capa de pavimento flexible 276 milímetros, para la capa de material base 350 milímetros y para la capa de material sub base 150 milímetros respectivamente, a su vez los valores de los módulos semilla se eligen conforme a la Tabla 2.4.

Otro parámetro que se puede ingresar es la temperatura de la capa de rodadura, pero ya que se trata de una losa de concreto hidráulico, es posible despreciar este valor porque no afecta en gran medida a los cálculos (Abad, Sangurima, 2018).

Posterior a esto, se evalúa las deflexiones a través de la segunda opción (ajuste al cuenco de deflexión), se escoge esta opción ya que los parámetros ingresados de deflectometría son simples, además de ofrecer el menor error medio cuadrático (RMS), siendo éste el error producido entre los datos de deflectometría ingresados con respecto a los calculados por el software.

En la Figura 3.6, se muestra una captura de pantalla del interfaz del programa donde se observa las diferentes opciones para retrocálculo que ofrece el software.

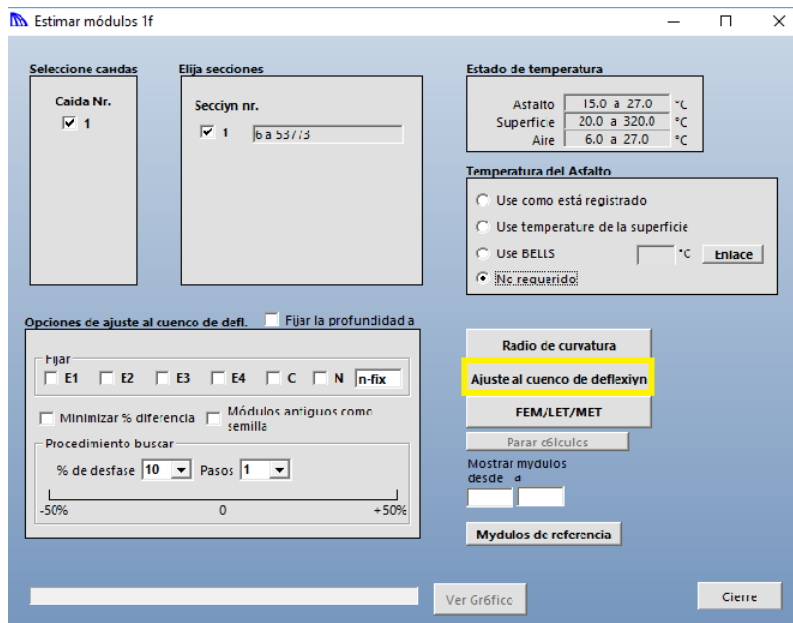
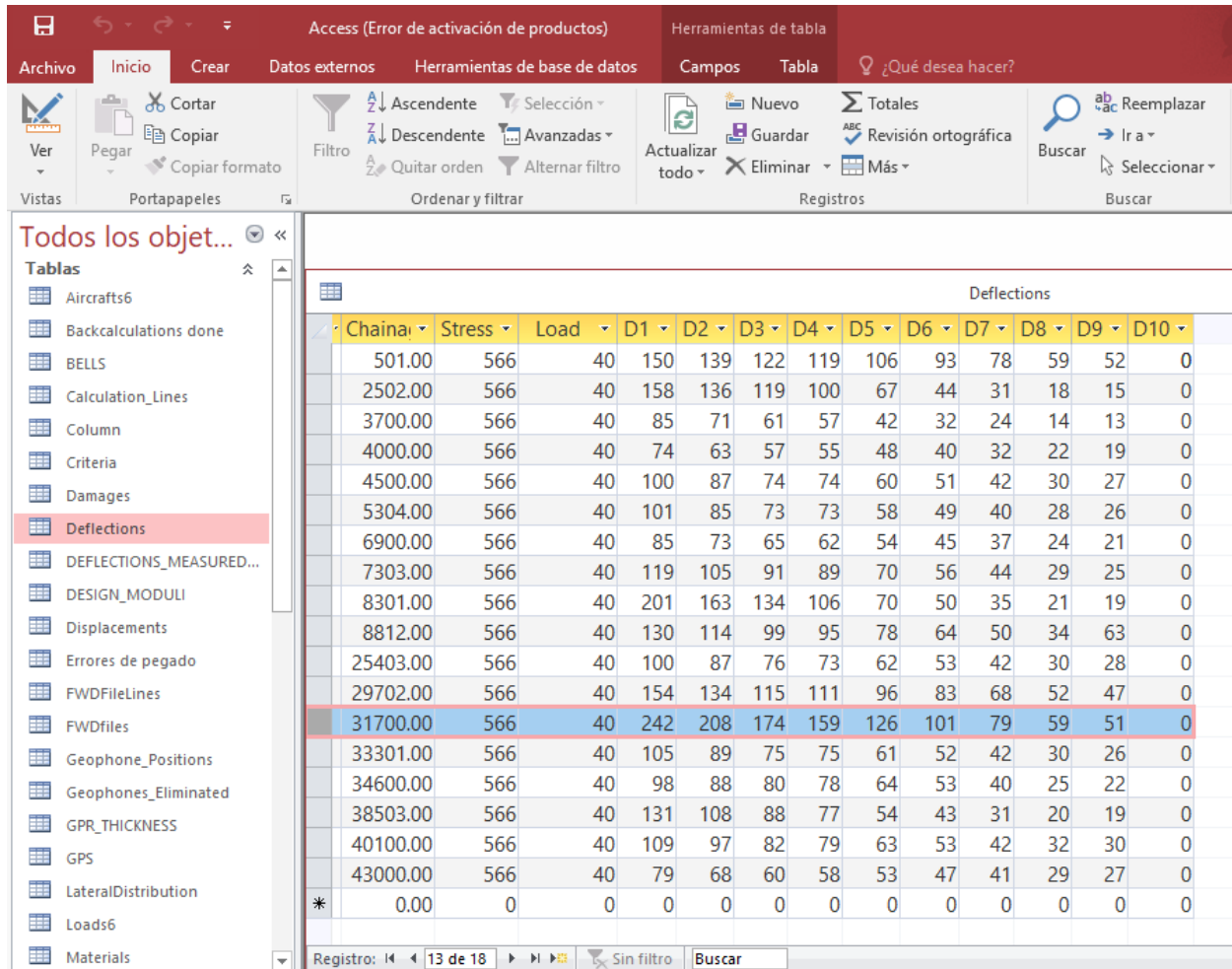


Figura 3.6. Interfaz del programa ELMOD 6 para la estimación de los módulos de las capas de la estructura.

3.2.3.1 Ejemplo de Aplicación

A continuación, se realiza un ejemplo para la estimación de los módulos, para ello se utiliza los valores de la Tabla 3.2, es decir la abscisa 31+700, dichos valores se cargan en la base de datos del ELMOD 6, como lo muestra la Figura 3.7.



Chainage	Stress	Load	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
501.00	566	40	150	139	122	119	106	93	78	59	52	0
2502.00	566	40	158	136	119	100	67	44	31	18	15	0
3700.00	566	40	85	71	61	57	42	32	24	14	13	0
4000.00	566	40	74	63	57	55	48	40	32	22	19	0
4500.00	566	40	100	87	74	74	60	51	42	30	27	0
5304.00	566	40	101	85	73	73	58	49	40	28	26	0
6900.00	566	40	85	73	65	62	54	45	37	24	21	0
7303.00	566	40	119	105	91	89	70	56	44	29	25	0
8301.00	566	40	201	163	134	106	70	50	35	21	19	0
8812.00	566	40	130	114	99	95	78	64	50	34	63	0
25403.00	566	40	100	87	76	73	62	53	42	30	28	0
29702.00	566	40	154	134	115	111	96	83	68	52	47	0
31700.00	566	40	242	208	174	159	126	101	79	59	51	0
33301.00	566	40	105	89	75	75	61	52	42	30	26	0
34600.00	566	40	98	88	80	78	64	53	40	25	22	0
38503.00	566	40	131	108	88	77	54	43	31	20	19	0
40100.00	566	40	109	97	82	79	63	53	42	32	30	0
43000.00	566	40	79	68	60	58	53	47	41	29	27	0
*	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.7. Deflexiones cargadas a la base de datos ELMOD 6.

A continuación, se enumeran los pasos a seguir para realizar el análisis de retrocálculo en el ELMOD 6:

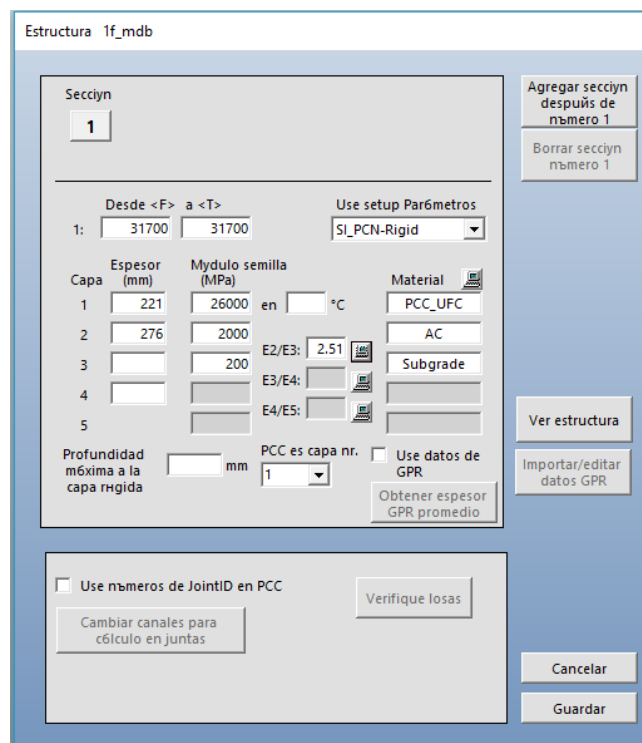
1.- Definir el espesor y los módulos de semilla de las capas de la estructura del pavimento.

- Se ingresa a la pestaña Estructura.
- Se elige el tramo o el punto a evaluar. En este caso los datos de la Tabla 3.2, es decir los correspondientes a la abscisa 31+700.
- En la opción Espesor se define el espesor de las capas. En este caso se realiza el análisis de retrocálculo para el MODELO 3, es decir una capa de pavimento rígido de 221 mm de espesor,

una capa de pavimento flexible de 276 mm y una subrasante que resulta de la combinación de todas las capas por debajo del pavimento flexible.

- En la opción Módulos semilla se define los módulos iniciales de cada capa. Para el análisis escogen valores dentro de los rangos indicados en la Tabla 2.4, siendo así: 26000 MPa para la capa de pavimento rígido, 2000 MPa para el pavimento flexible, y 200 MPa para la subrasante.
- En la opción Material se define los distintos tipos de material de cada capa.
- En la opción Agregar sección se define el número de tramos conforme las características de la estructura, pero para el presente estudio se opta por mantener una estructura homogénea durante todo el trayecto de la vía; conforme a los 3 MODELOS analizados.

La Figura 3.8, muestra la configuración de la pestaña Estructura para el ejemplo a realizar.



Capa	Espesor (mm)	Modulo semilla (MPa)	Material
1	221	26000	PCC_UFC
2	276	2000	AC
3	200	200	Subgrade
4			
5			

Figura 3.8. Configuración de la estructura para la abscisa 31+700 (ELMOD 6).

2.- Cálculo de los módulos de elasticidad de las capas de la estructura.

- En la opción Caída Nr se selecciona el casillero donde se especifica que se trabaja con el tercer golpe, para este caso, la base de datos se ha cargado directamente con el tercer golpe, es por ello que se elige automáticamente la opción 1.
- En la opción Sección Nr se elige el o los tramos a evaluar identificándolos básicamente mediante el abscisado, para este caso se evalúa la abscisa 31+700, con los datos de la Tabla 3.2.
- Se selecciona minimizar % diferencia para reducir el valor del error mínimo cuadrado (RMS).

- Se selecciona la opción ajuste al cuenco de deflexión para calcular los módulos de elasticidad de las capas estructurales del pavimento. La Figura 3.9, muestra la configuración de la interfaz del programa para realizar el cálculo de los módulos de elasticidad.

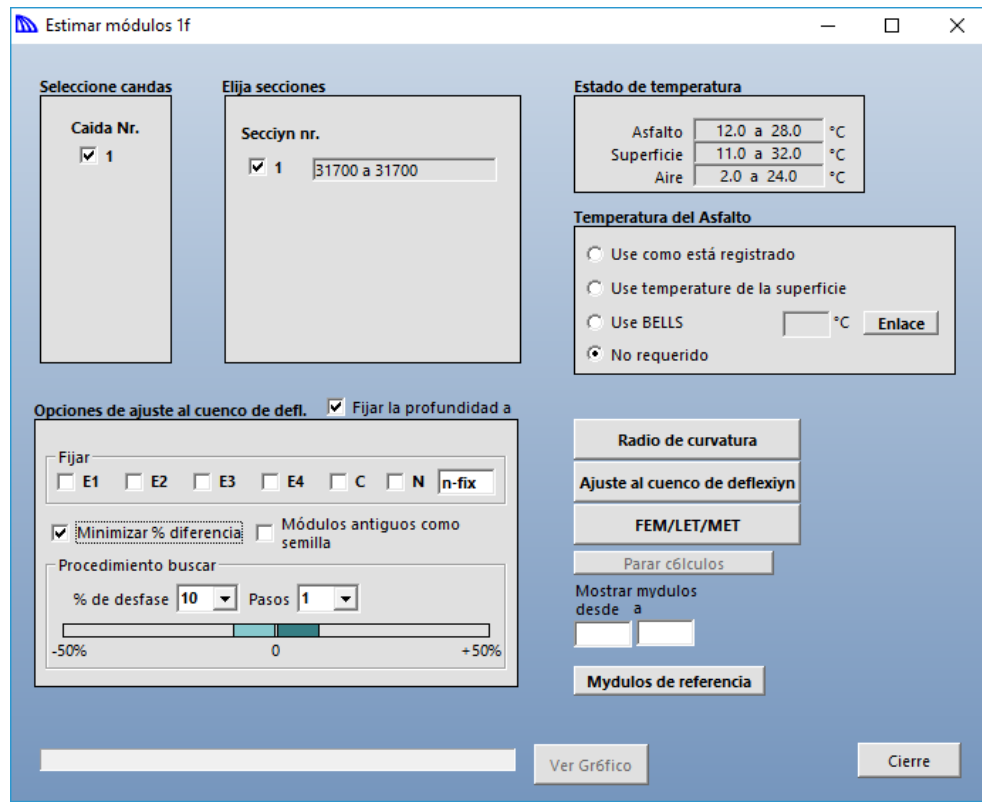


Figura 3.9. Configuración del interfaz para el cálculo de módulos de elasticidad de la abscisa 31+700 (ELMOD 6).

- Cuando se termina el análisis se selecciona la opción ver gráfico para obtener los resultados del análisis en forma gráfica o tabular tal como indica la Figura 3.10.

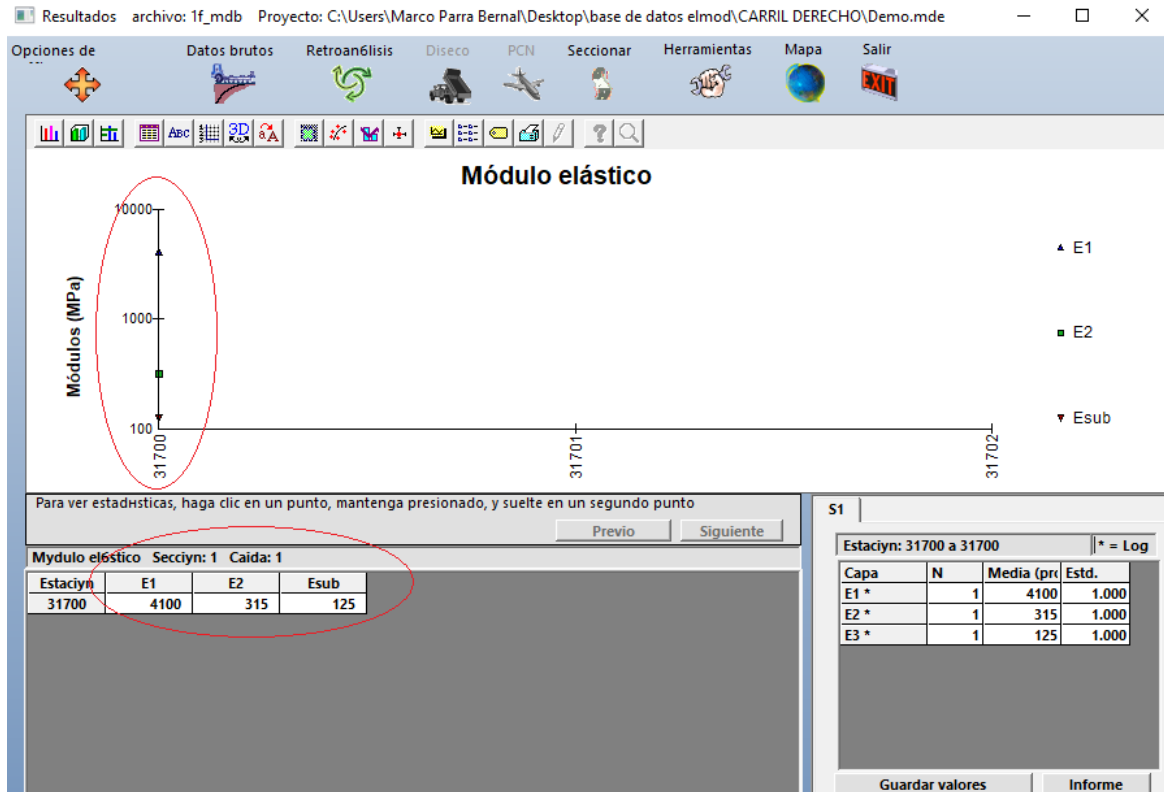


Figura 3.10. Resultados del análisis para la abscisa 31+700 (ELMOD 6).

3.- Evaluar el error mínimo cuadrado

- Una vez calculado el módulo de elasticidad se verifica que el error medio cuadrático sea menor al 4%, para esto se ingresa en la pestaña retroanálisis de la Figura 3.10, luego en la opción comparación de deflexiones.
- En la columna RMS de la Figura 3.11, se verifica el error del punto evaluado. Si el error es mayor al 4% se debe cambiar el módulo semilla de las capas (LTTP, 2010), pero como se observa el RMS resulta 3% por lo que los valores semilla, son válidos para este análisis.

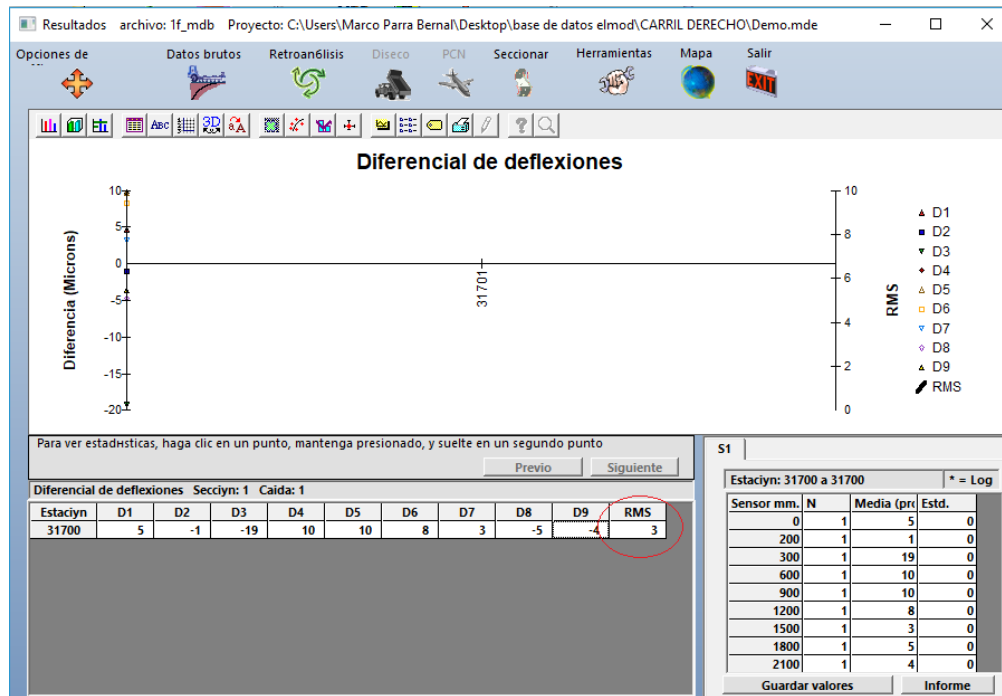


Figura 3.11. Evaluación del Error mínimo cuadrado RMS para la abscisa 31+700 (ELMOD 6).

3.2.4 Método de la distancia crítica

3.2.4.1 Metodología para determinar la distancia crítica

Para determinar la distancia crítica se analizan diferentes estructuras de pavimentos whitetopping convencionales, se realizan combinaciones de: propiedades de las capas y el tamaño de la losa. Para este estudio se realiza una combinación de 2 espesores de la losa de concreto, cada uno con 3 módulos de la sub estructura diferentes, y estos a su vez con 3 módulos de la losa de hormigón diferentes para cada sub estructura, finalmente se combina la estructura y las características con 3 diferentes tamaños de losa.

Los valores escogidos para realizar las combinaciones se presentan en las Tablas 3.5(a), 3.5(b) y en la Tabla 3.6, respectivamente



Tabla 3.4. Estructura definida para determinar la distancia crítica.

(a)

Espesor de la losa de hormigón (in)	E Subestructura (ksi)	E PCC (ksi)
8.7	20	3000
		5000
		7000
	50	3000
		5000
		7000
	80	3000
		5000
		7000

E = Modulo de elasticidad de la subestructura.

E_{PCC} = Modulo de elasticidad de la losa de hormigón.

(b)

Espesor de la losa de hormigón (in)	E Subestructura (ksi)	E PCC (ksi)
7.7	20	3000
		5000
		7000
	50	3000
		5000
		7000
	80	3000
		5000
		7000

E = Modulo de elasticidad de la subestructura.

E_{PCC} = Modulo de elasticidad de la losa de hormigón.

Tabla 3.5. Tamaños de la losa definidas para determinar la distancia crítica.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA LOSA					
1		2		3	
Largo (ft)	Ancho (ft)	Largo (ft)	Ancho (ft)	Largo (ft)	Ancho (ft)
14	12	15	13	16	14



Generalmente para los proyectos de retrocálculo en pavimentos whitetopping, la información que existe sobre las capas de la losa de hormigón a menudo no se dispone, la solución para este problema es plantear el modelo como un sistema bicapa, con características de acuerdo a la combinación de sus propiedades. Para este estudio las propiedades del pavimento a combinar son las que se muestran en las Tablas 3.4 (a) y (b), como en la Tabla 3.5, dicho análisis da como resultado un total de 54 posibles combinaciones de estructuras.

Las estructuras de pavimentos whitetopping que se simulan en el estudio son las que generalmente se usan en proyectos de tipo whitetopping. Las propiedades de las capas son seleccionadas con el objetivo de que se cubran los rangos de los valores típicos que suelen presentarse en este tipo de pavimentos compuestos.

En el método se usa una relación de Poisson de 0.15 para la losa de hormigón, mientras que para la subestructura se utiliza un valor de 0.42. Con los valores de las Tablas 3.4 y Tabla 3.5, se realiza la simulación de 54 combinaciones. Para que las condiciones coincidan con las previamente establecidas en el ensayo FWD, se considera una carga de 9000 libras colocada sobre un área de contacto circular de radio igual a 5.9 pulgadas.

Para cada combinación de pavimento se calculan las deflexiones mediante el software KENSLABS (Huang, Yang H. 2004), a distancias de 0, 12, 36, 48, 60, pulgadas desde el centro de la aplicación de la carga. Las deflexiones calculadas por el KENSLABS, se comparan con las obtenidas con el FWD, se grafican las diferencias entre estas deflexiones, con respecto a los 6 geófonos. Siendo la distancia crítica; la distancia al centro de carga, desde donde la diferencia de deflexiones, es menor o igual 10%.

La Figura 3.12, muestra el cálculo de la distancia crítica para un pavimento whitetopping de 3 pulgadas, con un módulo de la subestructura de 80 ksi, combinando los módulos y el tamaño de la losa de concreto.

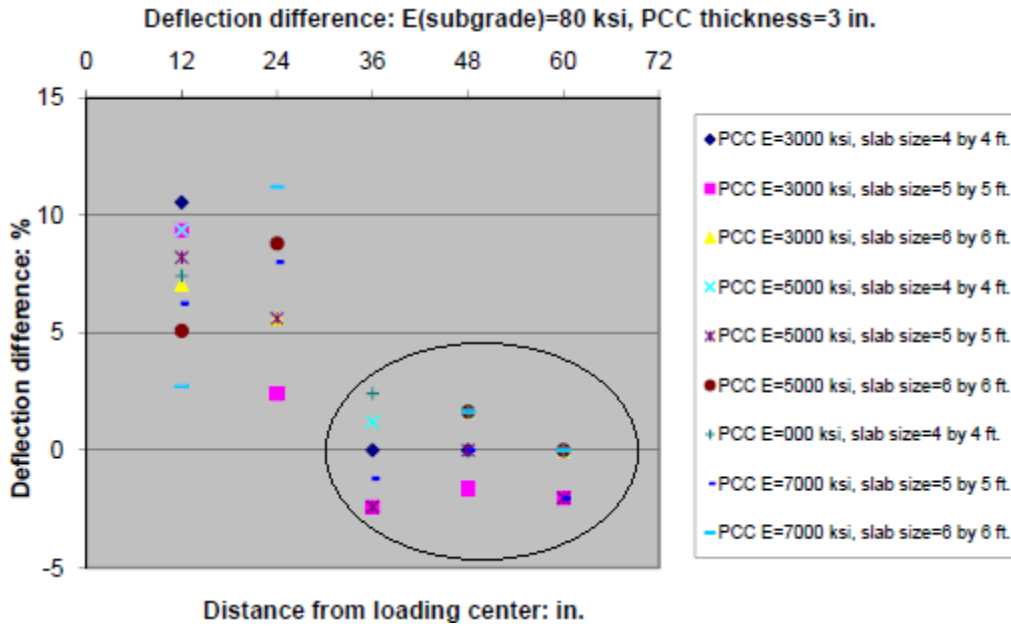


Figura 3.12. Cálculo de la distancia crítica (Haifang Wen, Xiaojun Li, Wilfung Martono, 2010).

En la Figura 3.12, se observa que la diferencia de las deflexiones, se reduce a menos del 10% a partir del cuarto geófono, siendo por lo tanto el D4 la distancia crítica para este tipo de combinación.

El valor referencial del 10% entre las diferencias de las deflexiones, se usa para pavimentos ultra whitetopping, es decir, pavimentos compuestos con losas de concreto, con espesores menores a las 4 pulgadas (Haifang Wen, Xiaojun Li, Wilfung Martono, 2010). La vía Biblián – Zhud, está compuesta por una losa de concreto con espesores promedio de 8.7 pulgadas, a lo largo de su trayecto, es por eso que, al analizar las diferencias entre las deflexiones mediante el KENSLABS, las reducciones de dichas diferencias resultan menores al 20% y se dan a partir del censor D5, dicho análisis se muestra en la Sección 4.2.3.1, del Capítulo 4.

3.2.4.2. Retrocálculo para determinar el módulo equivalente de la subestructura

Una vez que se identifica la distancia crítica para el pavimento a evaluar, se calcula el módulo de la subestructura. Al considerar la subestructura como un espacio semi-infinito y un análisis elástico de una capa, se utiliza la Ecuación 3.19, propuesta por Ahlvin y Ulery (1962).

$$D_z = \frac{p(1 + u_{PCC})a}{E} \left[\frac{z}{a} A + (1 - u)H \right] \quad (3.19)$$



Donde:

D_z = Deflexión vertical (in)

p = Presión debido a la carga (psi)

ν_{PCC} = Módulo de Poisson de la losa de concreto

a = Radio del plato de carga (in)

E = Módulo de elasticidad de la subestructura (psi)

A y H = Valores de funciones que dependen de z/a y de r/a .

z = Profundidad del punto de análisis (in)

r = Distancia radial desde el centro del plato de carga (in)

La Ecuación 3.19, debe aplicarse para todos los D_z a partir de la distancia crítica, siendo el módulo de elasticidad de la subestructura, el promedio de todos los valores calculados.

Para este estudio se promedian los módulos que se obtienen a partir de las deflexiones de los sensores d36, d48 y d60, respectivamente, es decir se descartan los módulos obtenidos a partir del d72 y d84, ya que dichos valores se encuentran fuera del rango promedio de los 3 sensores anteriores.

3.2.4.3. Módulo de elasticidad de la losa de hormigón.

Los módulos de la losa de hormigón se calculan mediante un método iterativo con la utilización del software KENSLABS (Huang, Yang H. 2004).

Para realizar las iteraciones el pavimento se considera como un sistema bicapa donde las características de la subestructura que se ingresan en el software, son las retrocalculadas con la Ecuación 3.19, mientras que el módulo de la capa de hormigón que se ingresa es escogido aleatoriamente y se itera hasta que las deflexiones calculadas por el software en el centro (D_1) converjan con las del centro del plato de carga del ensayo FWD, con un error medio cuadrático menor o igual al 4% (LTTP, 2010).

3.2.4.4 Ejemplo de aplicación

3.2.4.4.1 Distancia crítica

Como se explica en la Sección 3.2.4.1, la distancia crítica se determina a partir de las diferencias de las deflexiones resultantes al combinar valores típicos de los módulos de elasticidad de la estructura del pavimento y las características geométricas del mismo. Para la vía Biblián – Zhud las diferencias de las deflexiones se reducen a partir del geófono D5 con un 20% de diferencia, por lo que, para el análisis de la vía de estudio, se utiliza dicho resultado como el valor de la distancia crítica. Este proceso se presenta a detalle en la Sección 4.2.3.1, del Capítulo 4.



3.2.4.4.2 Módulo de elasticidad la sub estructura

Una vez definida la distancia crítica se procede a calcular el módulo de elasticidad de la subestructura, mediante la Ecuación 3.19, para ello se utilizan los valores de deflectometría que se muestran en la Tabla 3.2, pertenecientes al ensayo realizado en la abscisa 31 + 700 del carril derecho de la vía Biblián – Zhud.

El valor de los factores que engloban la Ecuación 3.19 se indica a continuación.

- El valor de **Dz**, es el valor de la deflexión vertical en pulgadas, de los geófonos que se encuentran a partir de la distancia crítica, es decir; D5, D6, D7, respectivamente, de la abscisa 31 + 700, de la vía Biblián – Zhud.
- La constante **p**, es el valor de la presión de carga aplicada siendo este 82 psi.
- La constante **u**, es el módulo de Poisson de la losa de concreto, el cual es 0.15 para el análisis.
- La variable **a**, representa el radio del plato de carga siendo este 5.9 pulgadas.
- La variable **z**, representa la profundidad del punto de análisis, para este caso al ser un ensayo superficial, el valor utilizado es 0.
- La variable **r**, representa la distancia radial desde el centro del plato de carga en pulgadas, siendo estos valores 36, 48 y 60 pulgadas.
- **A** y **H** representan valores que dependen de **z/a** y de **r/a**, dichos valores se obtienen de las Tablas 1 y 8, respectivamente, del artículo: Tabulated Values for Determining the Complete Pattern of Stresses, Strains, and Deflections Beneath a Uniform Circular Load on a Homogeneous Half Space (Ahlvín, Ulery, 1962).
- La constante **E**, representa el módulo de la subestructura en psi.

Con estos factores se aplica la Ecuación 3.19, para cada una de los 3 Dz, que determinan la distancia crítica, siendo el módulo de la sub estructura E, el promedio de dichos valores.

A continuación, se calcula el módulo promedio de la sub estructura para la abscisa 31 + 700, de la vía Biblián – Zhud.

- Dz₃₆

$$0.00496 = \frac{82 \cdot (1 + 0.15) \cdot 5.9}{E} \cdot (1 - 0.15) \cdot 0.164235$$

$$E = 15657 \text{ psi}$$

- Dz₄₈

$$0.00398 = \frac{82 \cdot (1 + 0.15) \cdot 5.9}{E} \cdot (1 - 0.15) \cdot 0.1238994$$

$$E = 14735 \text{ psi}$$



- Dz_{60}

$$0.00311 = \frac{82 \cdot (1 + 0.15) \cdot 5.9}{E} \cdot (1 - 0.15) \cdot 0.0978438$$

$$E = 14877 \text{ psi}$$

El valor promedio para el módulo de la sub estructura de la abscisa 31+700 resulta $E = 15090$ psi.

3.2.4.4.3 Módulo de elasticidad de la losa de concreto

Para el cálculo del módulo de elasticidad de la losa de concreto, se utiliza el software KENSLABS, mediante el cual, se calcula la deflexión en D1 a partir de un módulo de elasticidad impuesto, se repite este proceso de forma iterativa, hasta que la deflexión D1 calculada con el software no tenga una diferencia mayor al 4 % con la deflexión D0 que se obtiene a través del ensayo deflectométrico.

A continuación, se enumeran los pasos a seguir para realizar el análisis iterativo en el KENSLABS:

1.- Definir el tipo Análisis

- Al iniciar el software, se ingresa en la opción SLABSINP para estructuras de concreto.
- En la pestaña File, se crea un nuevo proyecto, o a su vez se abre un proyecto antiguo.
- En la pestaña General, se le da un nombre al proyecto, y se modifica únicamente la primera opción (Type of foundation), al tener una estructura base compuesta por dos capas se asigna la opción 2.
- En la parte derecha de la interfaz General, se selecciona: without uniform load, without temperature curling y with concentrated load, ésta configuración proporciona un análisis para una carga concentrada puntual, es decir simula el ensayo deflectométrico. La Figura 3.13, muestra el interfaz de la opción General y la configuración que se realiza para el análisis de la abscisa 31 + 700.

General Information for Set No. 1

TITLE 31700

Type of foundation (0=liquid, 1=solid, 2=layer)	(NFOUND)	2
Damage analysis (0=no, 1=PLA criteria, 2=user specified)	(NDAMA)	0
Number of periods per year	(NPY)	1
Number of load groups	(NLG)	1
Number of slab layers	(NLAYER)	1
Bond between two slab layers (0=unbonded, 1=bonded)	(NBOND)	0
Number of slabs	(NSLAB)	1
Number of joints	(NJOINT)	0
Nodal number for checking convergence	(NNCK)	1
Number of nodes for stress printout	(NPRINT)	0
Number of nodes on X axis of symmetry	(NSX)	0
Number of nodes on Y axis of symmetry	(NSY)	0
More detailed printout (0=no, 1=yes)	(MDPO)	0
Number of nodes with different thicknesses of slab layer 1	(NAT1)	0
Number of nodes with different thicknesses of slab layer 2	(NAT2)	0
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	0

Default options are shown by the black dots below. If they are not ok, please click the other button.

with uniform load
 without uniform load

with temperature curling
 without temperature curling

with concentrated load
 without concentrated load

OK

Figura 3.13. Interfaz de la pestaña General para la configuración del tipo de análisis (KENSLABS).

2.- Características de la losa

- Se ingresa en la pestaña Slab para determinar la disposición del mallado en la losa, para ello en la opción Arrangement se ingresa la disposición del mallado, que para este caso es de 7 en X, por 5 en Y, a su vez en las opciones X-coordinate y Y-coordinate, se especifica las coordenadas del mallado tanto en X como en Y. La Figura 3.14, muestra el esquema del mallado utilizado para el presente estudio, a su vez la Figura 3.15, muestra la interfaz de la pestaña Slab con la configuración para el análisis de la abscisa 31 + 700.

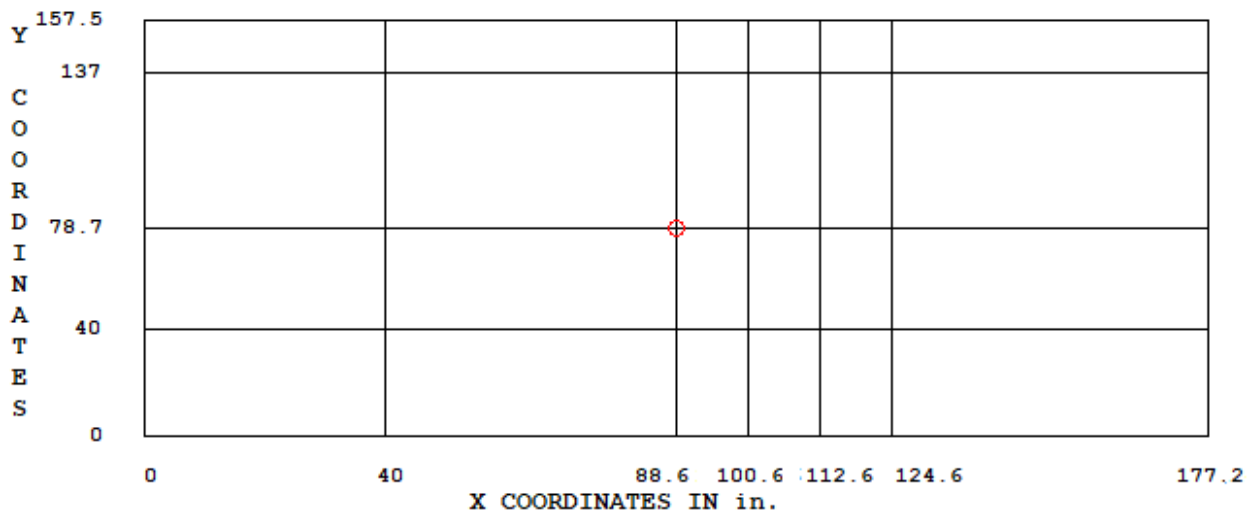


Figura 3.14. Esquema del mallado de las losas (KENSLABS).

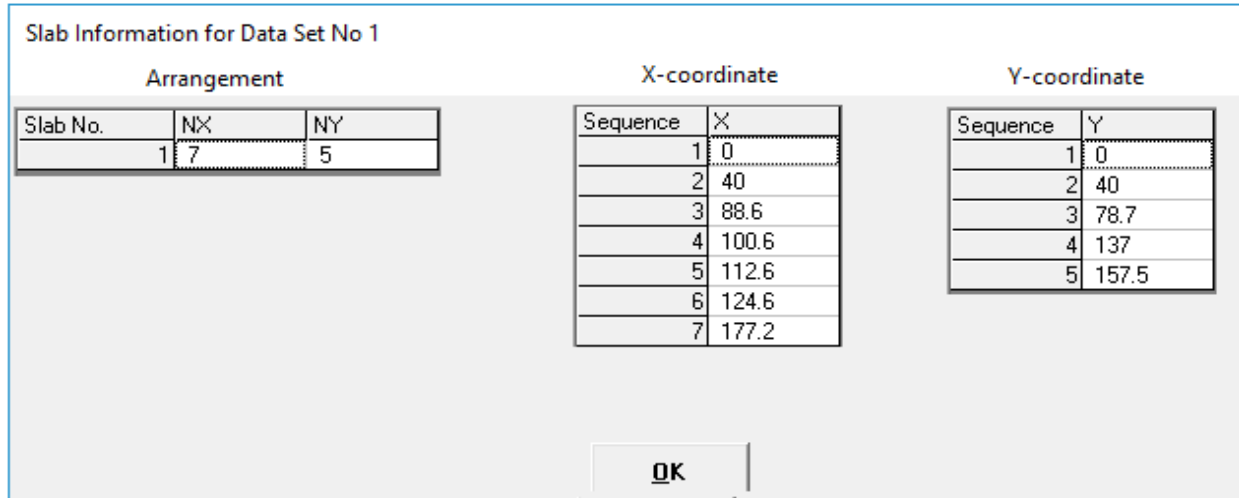


Figura 3.15. Interfaz de la pestaña Slab con la configuración para el estudio de la vía Biblián - Zhud (KENSLABS).

- En la pestaña Raft se elige el número del nodo donde se realiza el cálculo de la deflexión D1, para este caso se realiza en el centro de la losa, es decir, en el nodo 13 pintado de rojo en la Figura 3.14, contado de forma ascendente desde el nodo (0;0) mostrado en la esquina inferior izquierda de la Figura 3.14.

3.- Características de la estructura

- En la pestaña Foundation se escoge el número de capas, para este caso se escoge la opción 2 capas, a su vez se definen las características de las capas, la Figura 3.16, muestra la interfaz de la pestaña Foundation con las configuraciones para la abscisa 31 + 700, de la vía Biblián – Zhud.

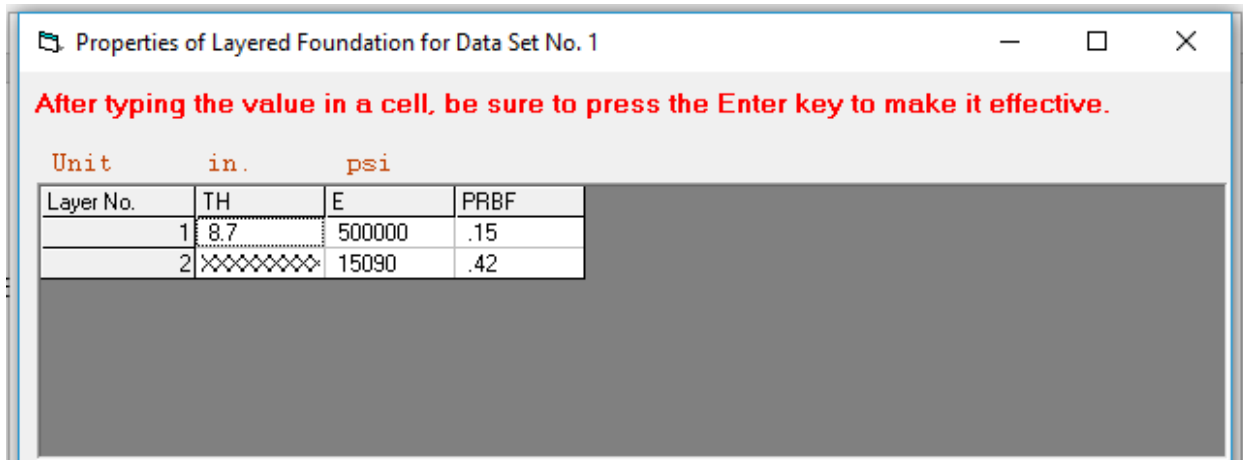


Figura 3.16. Interfaz de la pestaña Foundation del software KENSLABS.

- En la columna 1 de la Figura 3.16, se define el espesor de la losa, en la columna 2 se define los módulos de elasticidad de la estructura, en la fila 1 de la columna 2, se ingresa el módulo semilla de la losa, es decir el valor a iterar, en la fila 2 de la columna 2, se ingresa el módulo de la sub estructura calculado mediante la Ecuación 3.19, finalmente en la columna 3, se ingresan los módulos de Poisson tanto para la losa, como para la subestructura.



4.- Cálculo de las deflexiones

- Se selecciona la opción Save para guardar el documento, luego se selecciona Exit para regresar a la pantalla principal del software.
- En la pantalla principal del software se selecciona la opción KENSLABS para dar inicio al cálculo de las deflexiones.

5.- Resultados

- Se selecciona la opción SGRAPH, para obtener los resultados de forma gráfica
- Los resultados en forma tabular se guardan en formato .TXT y se ubican en la dirección C:\KENPAVE.
- Al abrir el archivo .TXT se visualizan los datos de entrada, las características de la estructura y finalmente las deflexiones calculadas, la Figura 3.17, muestra una captura de pantalla del archivo resultado.

```

31700_2 - Notepad
File Edit Format View Help

HALF BAND WIDTH (NB) = 105

PERIOD 1 LOAD GROUP 1 AND CYCLE NO. 1

NODAL NUMBERS AND DEFLECTIONS OF SLABS (F) ARE: (DOWNWARD POSITIVE)
  1  0.00145  2  0.00174  3  0.00189  4  0.00160  5  0.00145
  6  0.00181  7  0.00274  8  0.00363  9  0.00220 10  0.00181
11  0.00211 12  0.00465 13  0.00947 14  0.00294 15  0.00212
16  0.00209 17  0.00443 18  0.01022 19  0.00287 20  0.00209
21  0.00203 22  0.00390 23  0.00712 24  0.00269 25  0.00203
26  0.00193 27  0.00330 28  0.00502 29  0.00245 30  0.00193
31  0.00145 32  0.00174 33  0.00189 34  0.00160 35  0.00145
    
```

Figura 3.17. Resultados del análisis para la abscisa 31+700 (KENSLABS).

- La Figura 3.17 muestra el cálculo de la deflexión que se calcula en el nodo 13 es decir en el centro de la losa.

6.- Análisis de resultados

- Se verifica el error medio cuadrático (RMS) es decir que la diferencia entre la deflexión que se calcula con el KENSLABS y la deflexión que se obtiene con el FWD no supere el 4%.
- Para la abscisa 31+700 de la vía Biblián – Zhud, la deflexión D1 que se calcula con el FWD es de 0.00953 pulgadas, con lo que al compararla con el valor resultado del KENSLABS (0.00947) pulgadas, se obtiene un error medio cuadrático del 1% lo cual es satisfactorio.
- Si el RMS supera el 4%, se debe retornar al paso 3, es decir redefinir el módulo de la losa, y realizar dicho proceso hasta que el error no supere el 4%.

3.3 Análisis de Correlación

Con el objetivo de validar los resultados obtenidos mediante las diferentes metodologías, se realiza la correlación de dichos resultados con los datos obtenidos mediante la extracción de calicatas,



comprendiendo un total de 18 puntos a evaluar, dicho análisis sirve para determinar la metodología que mejor se ajuste a los datos de campo. Además, con el objetivo de validar los resultados, se realiza la correlación entre las metodologías de retrocálculo, esto para los 18 puntos de interés como para los 183 puntos ensayados en la vía.

Para calificar el grado de correlación de los datos se utiliza la Tabla 3.6, la cual depende básicamente del rango de correlación en que se encuentren las variables evaluadas (Montgomery y Runger, 2011).

Tabla 3.6. Clasificación según el grado de correlación evaluadas (Montgomery y Runger, 2011).

GRADO DE CORRELACIÓN	RANGO DE r	
Correlación perfecta	1	1
Correlación excelente	entre 0.9 y 1	entre -0.9 y -1
Correlación aceptable	entre 0.8 y 0.9	entre -0.8 y -0.9
Correlación regular	entre 0.6 y 0.8	entre -0.6 y -0.8
Correlación mínima	entre 0.3 y 0.6	entre -0.3 y -0.6
Ausencia de correlación	entre 0 y 0.3	entre -0.3 y 0

3.3.1 Identificación de valores atípicos “outliers”

Los valores atípicos son aquellos que se encuentra fuera de la tendencia del resto de los datos, lo que podría llevar a resultados desconfiables e interpretación de resultados inadecuada. Para ello se utiliza la Ecuación 3.20, donde son excluidos todos los valores atípicos, cuyos rangos de puntuación Z se encuentren fuera del rango estimado para el análisis.

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (3.20)$$

Donde:

Z = Rangos de puntuación

X_i = Muestra de la población

\bar{X} = Media poblacional

σ = Desviación estándar de la población



Capítulo 4

4. Análisis de resultados

En el presente capítulo se realiza el análisis de resultados de la evaluación estructural del pavimento whitetopping. Partiendo de la deflectometría, se han encontrado parámetros estructurales mediante retrocálculo a través de 3 metodologías, explicadas en el capítulo 3. Con dichos resultados se busca examinar posibles correlaciones con los resultados obtenidos en campo, a partir de la extracción de 18 calicatas; con ello se busca el modelo que mejor se ajuste en este tipo de evaluaciones, para este tipo de pavimentos compuestos.

4.1 Deflectometría

Como se explica en la Sección 3.2.1.3, se realizan 183 caídas en 36094 m de longitud de sondeo en dos carriles para el centro de la losa. Los resultados de dichos sondeos se muestran en el ANEXO A.

En la Tabla 4.1, se muestran los resultados de la deflectometría realizada en las abscisas donde a más de realizar los ensayos con el FWD, se realiza la extracción de 18 calicatas, comprendiendo un total de 18 puntos de muestreo.

Tabla 4.1. Deflexiones calculadas por ECUATEST CIA. LTDA para los 18 puntos de interés.

ABSCISA	CARRIL	DEFLEXIONES (um)								
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
0+501	D	150	139	122	119	106	93	78	59	52
2+502	D	158	136	119	100	67	44	31	18	15
3+700	D	85	71	61	57	42	32	24	14	13
4+000	I	74	63	57	55	48	40	32	22	19
4+500	D	100	87	74	74	60	51	42	30	27
5+304	D	101	85	73	73	58	49	40	28	26
6+900	D	85	73	65	62	54	45	37	24	21
7+303	D	119	105	91	89	70	56	44	29	25
8+301	D	201	163	134	106	70	50	35	21	19
8+812	I	130	114	99	95	78	64	50	34	63
25+403	I	100	87	76	73	62	53	42	30	28
29+702	D	154	134	115	111	96	83	68	52	47
31+700	D	242	208	174	159	126	101	79	59	51
33+301	D	105	89	75	75	61	52	42	30	26
33+600	I	98	88	80	78	64	53	40	25	22
38+503	D	131	108	88	77	54	43	31	20	19
40+100	D	109	97	82	79	63	53	42	32	30
43+000	I	79	68	60	58	53	47	41	29	27



Como se puede ver en la Tabla 4.1, la deflectometría resultado ya es decreciente, es decir, ya están corregidas las deflexiones del censor D4 mediante extrapolación. De igual manera se encuentran corregidas todas las deflexiones para una carga estándar de 40 KN, dichas correcciones se realizan conforme a la metodología explicada en la Sección 3.2.1.3.

En el ANEXO B, se presenta la deflectometría corregida para la totalidad de los puntos de muestreo lo cual sirve para el análisis posterior de retrocálculo.

4.2 Evaluación Estructural

Los ensayos no destructivos que se realizan a lo largo de los 53 Km de la vía Biblián – Zhud se los realiza mediante el uso del deflectómetro de impacto FWD, el cual está equipado con 9 geófonos ubicados a 0, 8, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 pulgadas del centro del plato de carga. Todas las deflexiones son determinadas para una carga estándar de 40 KN, por lo que se realiza la respectiva corrección a cada uno de los puntos de ensayo.

Para el estudio se consideran ensayos realizados en el centro de la losa, cuyas dimensiones son: 4,50 metros de largo por 4 metros de ancho, los ensayos se realizan en rangos de separación de 200 metros. Una vez realizada la corrección en el cuarto geófono según lo indica la Tabla 4.1, se procede con la aplicación de los métodos de retrocálculo tal como se indica a continuación.

4.2.1 Metodología AASHTO 1993

Mediante la aplicación del suplemento AASHTO Guide of Pavement Structures “Part II, - Rigid Pavement Design and Rigid Pavement Joint Design”, se puede determinar el módulo de reacción de la subrasante y el módulo de rotura de la losa de hormigón mediante el cálculo de su respectivo módulo de elasticidad.

4.2.1.1 Módulo de reacción de la subrasante

Para determinar el módulo de reacción de la subrasante se considera el procedimiento que se indica en la Sección 3.2.2.1, los valores que se determinan para cada una de las abscisas donde existen ensayos destructivos (calicatas) se definen en cada una de las columnas de la Tabla 4.2, según lo que se indica a continuación, mientras que los resultados correspondientes a todos los ensayos que se realizan en ambos carriles de la vía Biblián – Zhud se presentan en el ANEXO C.

La columna 1, presenta el área del cuenco de deflexiones, la cual se calcula mediante la Ecuación 3.3, para lo cual el valor de la deflexión a una distancia de 18 pulgadas del centro del plato de carga se obtiene mediante interpolación lineal tal como se indica en el Ejemplo 3.2.2.1.1.

Con el área del cuenco de deflexiones definida, se determina el radio de rigidez mediante la Ecuación 3.4, dichos valores se expresan en la columna 2. Con estos dos parámetros, se encuentra un valor



aproximado del módulo de reacción de la subrasante mediante la Ecuación 3.5, cuyo resultado se indica en la columna 4.

Se tiene en consideración que el largo de las losas es de 4.50 metros y el ancho de 4 metros, es por eso que, se realiza el ajuste para losas de dimensiones finitas, conforme a las Ecuaciones 3.7 y 3.8, respectivamente, dichos parámetros se los expresa en las columnas 5 y 6, respectivamente.

Con la aplicación de la Ecuación 3.12, se obtiene los valores del módulo de reacción dinámico, finalmente mediante la Ecuación 3.13, se determina el módulo de reacción estático de la subrasante, estos parámetros están definidos en las columnas 7 y 8, respectivamente.

Tabla 4.2. Módulo de reacción de la subrasante para la vía Biblián – Zhud.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Abscissa	Area 7 (in ²)	lest (in)	do*	Kest aprox (pci)	AFdo	AFI	Kdin (pci)	Kest (pci)
0+501	45	40	0.12	119	0.88	0.94	151	76
2+502	33	23	0.12	334	0.97	0.99	350	175
3+700	35	25	0.12	516	0.96	0.99	550	275
4+000	41	33	0.12	347	0.92	0.97	403	201
4+500	40	31	0.12	288	0.93	0.98	327	163
5+304	39	29	0.12	320	0.94	0.98	356	178
6+900	41	32	0.12	313	0.92	0.97	361	180
7+303	39	30	0.12	252	0.93	0.98	284	142
8+301	29	20	0.12	351	0.98	1.00	361	180
8+812	40	31	0.12	228	0.93	0.98	258	129
25+403	40	32	0.12	277	0.92	0.97	317	158
29+702	40	32	0.12	178	0.92	0.97	204	102
31+700	36	26	0.12	167	0.95	0.99	179	90
33+301	39	29	0.12	307	0.94	0.98	342	171
33+600	42	35	0.12	236	0.91	0.96	280	140
38+503	32	22	0.12	439	0.97	1.00	457	229
40+100	39	30	0.12	284	0.93	0.98	318	159
43+000	42	35	0.12	286	0.91	0.96	341	171

Área 7 = Área del cuenco de deflexión.

lest = Radio de rigidez.

do * = Coeficiente adimensional.

k est aprox = Módulo de reacción de la subrasante aproximado.

AFdo – AFI = Parámetros de ajuste para losas finitas.

k din = Módulo de reacción dinámico de la subrasante.

k est = Módulo de reacción estático de la subrasante.



La Tabla 4.3, muestra el rango de valores para el módulo de reacción de la subrasante y la caracterización del suelo, según la Tabla 8.13, del libro ingeniería de pavimentos de Motejo Fonseca (2006).

Tabla 4.3. Rangos típicos de la subrasante (Fonseca, 2006).

TIPO DE SUELO	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE K (PCI)
Suelo de grano fino	Bajo	75 - 120
Arenas y mezclas de arenas con gravas	Medio	130 - 170
Arenas y mezclas de arenas con grava libre de finoss	Alto	180 - 220
Subrasante tratada con cemento	Muy alto	250 - 400

La Tabla 4.4, presenta la caracterización del soporte de la subrasante de la vía Biblián-Zhud de acuerdo a los rangos indicados en la Tabla 4.3.

Tabla 4.4. Caracterización de la subrasante.

ABSCISA	SOPORTE	Kest (pci)
0+501	BAJO	76
2+502	MEDIO	175
3+700	MUY ALTO	275
4+000	ALTO	201
4+500	MEDIO	163
5+304	MEDIO	178
6+900	ALTO	180
7+303	MEDIO	142
8+301	ALTO	180
8+812	BAJO	129
25+403	MEDIO	158
29+702	BAJO	102
31+700	BAJO	90
33+301	MEDIO	171
33+600	MEDIO	140
38+503	ALTO	229
40+100	MEDIO	159
43+000	MEDIO	171

k_{est} = Módulo de reacción estático de la subrasante.

Los datos de la Tabla 4.4, indican que el soporte de la subrasante para 18 puntos de muestreo tiene un soporte: MEDIO en un 50%, ALTO en un 22%, un soporte BAJO en un 22% y un soporte MUY ALTO en un 6%. Por su parte al analizar la totalidad de los puntos ensayados para los dos carriles da como resultado: un soporte ALTO en un 29%, un soporte MEDIO en un 35%, un soporte MUY ALTO en un 14%, y un soporte BAJO con 22%.



4.2.1.2 Módulo elástico de la losa de concreto

El módulo elástico de la losa de hormigón se determina como se explica en la Sección 3.2.2.2, este procedimiento se desarrolla al aplicar la guía AASHTO 93. Los parámetros que se calculan para las abscisas donde existen calicatas están definidos en cada una de las columnas de la Tabla 4.5, como se indica a continuación; el resto de los valores correspondiente a los dos carriles de la vía Biblián – Zhud se presentan en la columna 14 del ANEXO C.

El área del cuenco de deflexiones se define en la columna 1, mediante el uso de la Ecuación 3.14, seguidamente se encuentra el radio de rigidez según la Ecuación 3.13, (columna 2). Mediante la Ecuación 3.15, se determina el módulo de reacción dinámico, mientras que con la Ecuación 3.16, se determina el módulo de reacción estático de la subrasante, estos valores se definen en las columnas 3 y 4, respectivamente.

El cálculo del módulo de elasticidad de la losa de hormigón se determina mediante la Ecuación 3.13, cuyos valores se encuentran en la columna 5, el valor del módulo de Poisson que se usa en la ecuación es de 0.15, el cual se encuentra dentro del rango establecido en la guía AASHTO 93.

Tabla 4.5. Módulo elástico de la losa de hormigón para la vía Biblián – Zhud determinados por AASHTO 93.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ABSCISA	Área (in ²)	lk (in)	Kdin (pci)	Kest (pci)	E PCC (psi)
0+501	30	32	185	93	1'700118
2+502	25	21	402	201	690265
3+700	26	22	696	348	1'380484
4+000	28	27	517	259	2'484313
4+500	27	25	438	219	1'601038
5+304	27	24	481	240	1'424790
6+900	28	26	479	239	2'029816
7+303	28	26	346	173	1'432502
8+301	22	17	466	233	361363
8+812	28	26	327	164	1'267367
25+403	28	26	418	209	1'677689
29+702	27	25	285	142	1'037764
31+700	26	22	244	122	485920
33+301	27	24	476	238	1'330350
33+600	29	31	301	150	2'448519
38+503	24	19	612	306	653071
40+100	27	25	414	207	1'422586
43+000	28	27	495	247	2'277684

Área = Área del cuenco de deflexión.

lk = Radio de rigidez.

k din = Módulo de reacción dinámico de la subrasante.

k est = Módulo de reacción estático de la subrasante.

E PCC = Módulo de elasticidad de la losa de hormigón.



Al comparar los valores obtenidos con los rangos típicos indicados en la Tabla 2.5, se observa que ningún valor está dentro del rango típico para pavimentos de concreto hidráulico, 2'844.668 – 7'822.838 psi. Se cree que dichos resultados se deben a que la toma de datos deflectométricos se realizaron en losas con avanzado nivel de deterioro.

4.2.1.3 Módulo de rotura de la losa de concreto

Para determinar el módulo de rotura de las losas de hormigón se realiza el procedimiento que se indica en la Sección 3.2.2.2, los resultados de las abscisas donde existen ensayos de calicatas se presentan en la Tabla 4.6, mientras que en la columna 15 y 16, respectivamente, del ANEXO C, se muestran los resultados para todos los ensayos que se realizan en la vía Biblián - Zhud.

La columna 2, muestra los valores del módulo de rotura que se calculan mediante el uso de la Ecuación 3.17, los valores se expresan en el sistema inglés, mientras que la columna 3, muestra los valores del módulo de rotura definidos en el sistema internacional de unidades.

Tabla 4.6. Módulo de rotura de la losa de hormigón para la vía Biblián – Zhud determinados por AASHTO 93.

	(1)	(2)	(3)
ABSCISA	E PCC (psi)	S'c (psi)	S'c (Kg/cm2)
0+501	1'700118	562	40
2+502	690265	519	36
3+700	1'380484	549	39
4+000	2'484313	597	42
4+500	1'601038	558	39
5+304	1'424790	550	39
6+900	2'029816	577	41
7+303	1'432502	551	39
8+301	361363	504	35
8+812	1'267367	544	38
25+403	1'677689	561	39
29+702	1'037764	534	38
31+700	485920	510	36
33+301	1'330350	546	38
33+600	2'448519	595	42
38+503	653071	517	36
40+100	1'422586	550	39
43+000	2'277684	588	41

E PCC = Módulo de elasticidad de la losa de hormigón.

S'c = Módulo de rotura de la losa de hormigón.

Los valores del módulo de rotura no superan los 48 kg/cm², lo cual es recomendado por la Tabla 4.3 de la guía del ASSHTO 93, al momento de analizar carreteras con pavimento rígido, ni los 45 kg/cm² valor generalmente empleado para la zona de estudio (MTOP Ecuador, 2017).

4.2.1.4 Eficiencia de la transferencia de carga

Para el cálculo de la eficiencia de transferencia de carga se utiliza la Ecuación 3.18. Para dicho análisis se promedia el valor de la junta y pasajunta de cada losa evaluada, la Tabla 4.7 muestra el resultado promedio de la eficiencia de transferencia de carga, para el carril derecho, como para el carril izquierdo.

Tabla 4.7. Eficiencia de transferencia de carga para los dos carriles de la vía Biblián – Zhud.

CARRIL	LTE (%)
Derecho	70
Izquierdo	68

LTE = Eficiencia de la transferencia de carga.

La Tabla 4.7 muestra una eficiencia de carga del 70 % para el carril derecho y un 68 % para el carril izquierdo, esto corresponde a una transferencia de carga REGULAR, según la Tabla 3.3.

En el ANEXO D, se muestra los resultados del análisis de la eficiencia de transferencia de carga, para todas las juntas y pasajuntas evaluadas en los dos carriles de la vía.

4.2.2 ELMOD 6

4.2.2.1 Módulo elástico de la losa de concreto

Mediante el software ELMOD 6, se determina el módulo de elasticidad de la capa de concreto y del resto de las capas de la estructura del pavimento. Este análisis se realiza para los 3 diferentes modelos explicados en la Sección 3.2.3. Es decir, se modela el pavimento real de la vía Biblián – Zhud, se modela un pavimento de 4 capas y un pavimento de 3 capas. La Figura 4.1, muestra los 3 diferentes modelos que se analizan en el software.

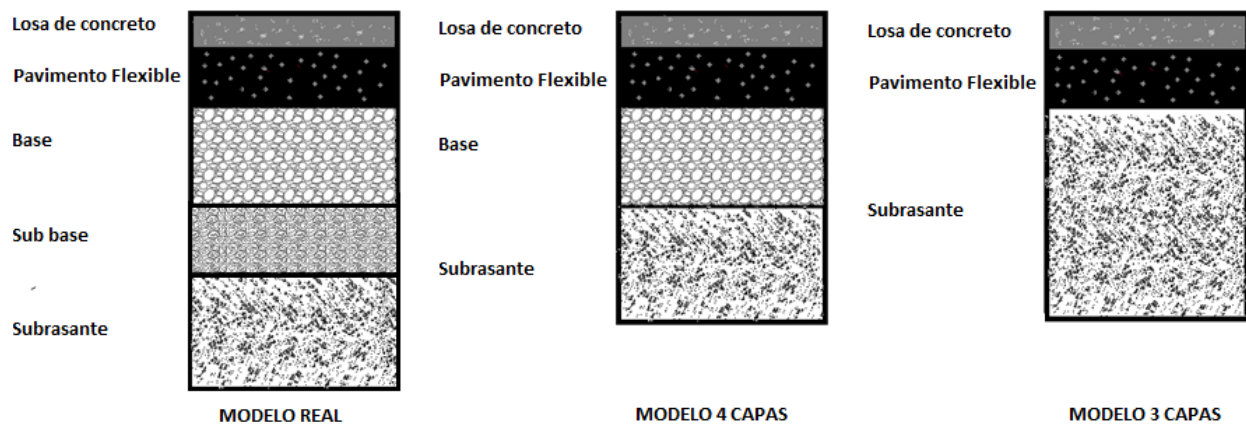


Figura 4.1. Modelos utilizados para el análisis en el ELMOD 6.



Como se explica en la Sección 3.2.3, los parámetros de entrada son los módulos semilla para el concreto y para el resto de la estructura. Estos valores varían en el rango recomendado en la Tabla 2.4, hasta encontrar los módulos que generen el menor error medio cuadrático (RMS).

En general los módulos semilla utilizados para todo el análisis son: 26000 MPa para la losa de hormigón, 2000 MPa para la capa de pavimento flexible, 250 MPa para la base granular, 250 MPa para la sub base granular y 200 MPa para la subrasante.

Con estos módulos se logra tener un RMS menor o igual al 4 % en casi todos los puntos analizados lo cual es importante según el manual LPPT (LPPT, 2010).

En aquellos puntos donde el error supera el 4%, se debe a que las deflexiones tomadas con el FWD son elevadas, debido al deterioro excesivo del tramo donde se realiza el ensayo deflectométrico.

4.2.2.1.1 Modelo 1

El modelo 1 representa el modelo real de la Figura 4.1, dicha estructura es la típica en todo el trayecto de la vía Biblián – Zhud. Los parámetros de entrada para la estructura se muestran en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Características del modelo 1 en ELMOD 6.

ESTRUCTURA	ESPESOR (mm)	MÓDULO SEMILLA (MPa)
Pavimento rígido	221	26000
Pavimento flexible	276	2000
Base	350	250
Sub base	150	250
Subrasante	-	200

La Tabla 4.9, presenta los módulos de elasticidad de la losa de concreto del modelo 1 calculados por el ELMOD 6, mediante retrocálculo, comprendiendo un total de 18 puntos de muestreo, siendo éstos, los puntos donde se realiza la extracción de calicatas.



Tabla 4.9. Módulos de elasticidad para la losa de concreto del modelo 1 calculados por ELMOD 6.

ABSCISA	CARRIL	E ELMOD 6 (MPa)
0+501	D	251'627040
2+502	D	1101'402089
3+700	D	646'531859
4+000	I	524'216876
4+500	D	477'019883
5+304	D	532'345801
6+900	D	707'595800
7+303	D	720'931943
8+301	D	944'121056
8+812	I	324'561610
25+403	I	487'638564
29+702	D	287'568209
31+700	D	267'429739
33+301	D	497'151669
33+600	I	591'512963
38+503	D	782'222744
40+100	D	472'108964
43+000	I	496'522570

E = Módulo de elasticidad de la losa de hormigón.

4.2.2.1.2 Modelo 2

El modelo 2, representa al sistema de 4 capas de la Figura 4.1, dicha estructura tiene las características que se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Características del modelo 2 en ELMOD 6.

ESTRUCTURA	ESPESOR (mm)	MÓDULO SEMILLA (Mpa)
Pavimento rígido	221	26000
Pavimento flexible	276	2000
Base	350	250
Subrasante	-	200

La Tabla 4.11, presenta los módulos de elasticidad de la losa de concreto del modelo 2, calculados por el ELMOD 6, mediante retrocálculo para un total de 18 puntos de muestreo.



Tabla 4.11. Módulos de elasticidad para la losa de concreto del modelo 2 calculados por ELMOD 6.

ABSCISA	CARRIL	E ELMOD 6 (MPa)
0+501	D	9821
2+502	D	6477
3+700	D	13127
4+000	I	20007
4+500	D	11223
5+304	D	13817
6+900	D	17059
7+303	D	9066
8+301	D	3424
8+812	I	11192
25+403	I	12470
29+702	D	10073
31+700	D	2402
33+301	D	5948
33+600	I	13783
38+503	D	4818
40+100	D	7751
43+000	I	18480

E = Módulo de elasticidad de la losa de hormigón.

4.2.2.1.3 Modelo 3

El modelo 3, representa al sistema de 3 capas de la Figura 4.1, dicha estructura tiene las características que se muestran en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12. Características del modelo 3 en ELMOD 6.

ESTRUCTURA	ESPESOR (mm)	MÓDULO SEMILLA (Mpa)
Pavimento rígido	221	26000
Pavimento flexible	276	2000
Subrasante	-	200

La Tabla 4.13, presenta los módulos de elasticidad de la losa de concreto del modelo 3, calculados por el ELMOD 6 mediante retrocálculo para un total de 18 puntos de muestreo.



Tabla 4.13. Módulos de elasticidad para la losa de concreto del modelo 3 calculados por ELMOD 6.

ABSCISA	CARRIL	E ELMOD 6 (MPa)
0+501	D	11223
2+502	D	5944
3+700	D	12436
4+000	I	21060
4+500	D	11192
5+304	D	13127
6+900	D	17059
7+303	D	8159
8+301	D	4098
8+812	I	11192
25+403	I	12436
29+702	D	9179
31+700	D	4100
33+301	D	12436
33+600	I	13127
38+503	D	6976
40+100	D	11814
43+000	I	21060

E = Módulo de elasticidad de la losa de hormigón.

Los valores de los módulos de elasticidad para el modelo 1, mostrados en la Tabla 4.8 se descartan, debido a que presentan valores demasiado altos, y no tienen relación alguna con los resultados de los modelos 2 y 3, respectivamente, con los valores de la metodología AASHTO 93 y, sobre todo, se encuentran totalmente fuera del rango de los valores de la Tabla 2.6.

La Figura 4.2, muestra los módulos de elasticidad de los modelos 1 y 2, analizados con el software ELMOD 6, se incluye además los módulos de elasticidad calculados por la metodología ASSHTO 93, en la Sección 4.2.1.2.

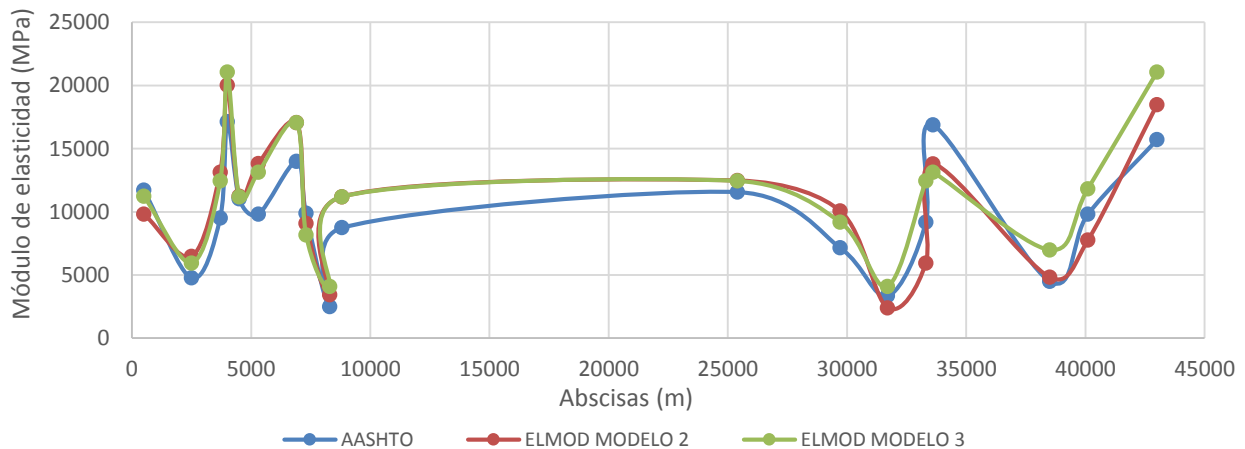


Figura 4.2. Módulos de elasticidad de la losa de concreto: AASHTO, ELMOD Modelo 2, ELMOD Modelo 3.



Al comparar los valores obtenidos en las tablas 4.11 y 4.13, respectivamente, con los rangos típicos indicados en la Tabla 2.5, se observa que solo 1 y 2, valores respectivamente, están dentro del rango típico para pavimentos de concreto hidráulico, 19613 – 53936 MPa. Se cree que dichos resultados se deben a que la toma de datos mediante le FWD, se realizan en losas con avanzado nivel de deterioro.

En el ANEXO E, se muestran los módulos de elasticidad calculados por el ELMOD 6 para la losa de concreto, así como para las demás capas del pavimento de los 3 modelos analizados, para todos los 183 puntos de análisis.

4.2.2.2 Módulo de rotura de la losa de Concreto

Al determinar el módulo de elasticidad de la losa de hormigón mediante el uso del software ELMOD 6, se procede al cálculo del módulo de rotura mediante la Ecuación 3.17, de la Sección 3.2.2.2.

En la Tabla 4.14 y 4.15, se muestran los módulos de rotura para los modelos 1 y 2, respectivamente. Se presenta en la columna 3 y 4, el módulo de elasticidad definido por el software ELMOD 6, en el sistema inglés y sistema internacional de unidades respectivamente. En las columnas 5 y 6, se indica el valor calculado del módulo de rotura de la losa de hormigón para los dos sistemas de unidades mencionados.

Tabla 4.14. Módulos de rotura del modelo 2 calculados en base a los módulos elásticos del ELMOD 6.

ABSCISA	CARRIL	E PCC (psi)	E PCC (MPa)	S'c (psi)	S'c (Kg/cm ²)
0+501	D	1'424416	9821	550	39
2+502	D	939410	6477	529	37
3+700	D	1'903911	13127	571	40
4+000	I	2'01771	20007	615	43
4+500	D	1'627759	11223	559	39
5+304	D	2'003987	13817	576	40
6+900	D	2'474200	17059	596	42
7+303	D	1'314913	9066	546	38
8+301	D	496609	3424	510	36
8+812	I	1'623263	11192	559	39
25+403	I	1'808621	12470	567	40
29+702	D	1'460966	10073	552	39
31+700	D	348381	2402	504	35
33+301	D	862685	5948	526	37
33+600	I	1'999056	13783	575	40
38+503	D	698792	4818	519	36
40+100	D	1'124188	7751	537	38
43+000	I	2'680299	18480	605	43

E PCC = Módulo de elasticidad de la losa de hormigón.

S'c = Módulo de rotura de la losa de hormigón.



Tabla 4.15. Módulos de rotura del modelo 3 calculado en base a los módulos elásticos de ELMOD 6.

ABSCISA	CARRIL	E PCC (psi)	E PCC (MPa)	S'c (psi)	S'c (Kg/cm ²)
0+501	D	1'627759	11223	559	39
2+502	D	862105	5944	526	37
3+700	D	1'803690	12436	567	40
4+000	I	3'054496	21060	621	44
4+500	D	1'623263	11192	559	39
5+304	D	1'903911	13127	571	40
6+900	D	2'474200	17059	596	42
7+303	D	1'183363	8159	540	38
8+301	D	594365	4098	514	36
8+812	I	1'623263	11192	559	39
25+403	I	1'803690	12436	567	40
29+702	D	1'331302	9179	546	38
31+700	D	594655	4100	514	36
33+301	D	1'803690	12436	567	40
33+600	I	1'903911	13127	571	40
38+503	D	1'011784	6976	533	37
40+100	D	1'713477	11814	563	40
43+000	I	21060	21060	621	44

E PCC = Módulo de elasticidad de la losa de hormigón.

S'c = Módulo de rotura de la losa de hormigón.

Los valores del módulo de rotura presentados en la Tabla 4.14 y 4.15, respectivamente, no superan los 48 kg/cm² lo cual es recomendado por la Tabla 4.3, de la guía del ASSHTO, ni los 45 kg/cm² valor generalmente empleado en la zona de estudio.

En el ANEXO F, se muestran los módulos de rotura calculados por el ELMOD 6, para la losa de concreto de los 3 modelos analizados, para todos los 183 puntos de análisis.

4.2.3 Método de la distancia crítica (MDC)

4.2.3.1 Cálculo de la distancia crítica

Para determinar la distancia crítica de un pavimento de tipo whitetopping convencional, se procede según lo indicado en la Sección 3.2.4.1, donde se usan cada una de las combinaciones de pavimentos dispuestas en las Tablas 3.4 y la Tabla 3.5.

Mediante el uso del software KENSLABS se obtienen las deflexiones a distancias de 0, 12, 24, 36, 48, 60 pulgadas, desde el centro de aplicación de la carga, para cada una de las 54 combinaciones de pavimentos planteados. Una vez comparadas las diferencias de las deflexiones se observa que estas disminuyen a partir del geófono D36, donde las diferencias son iguales o menores al 20%, los cálculos de todas las posibles combinaciones se muestran en el ANEXO G, mientras que en las Figuras 4.3 a 4.8, se indica gráficamente dichos resultados.

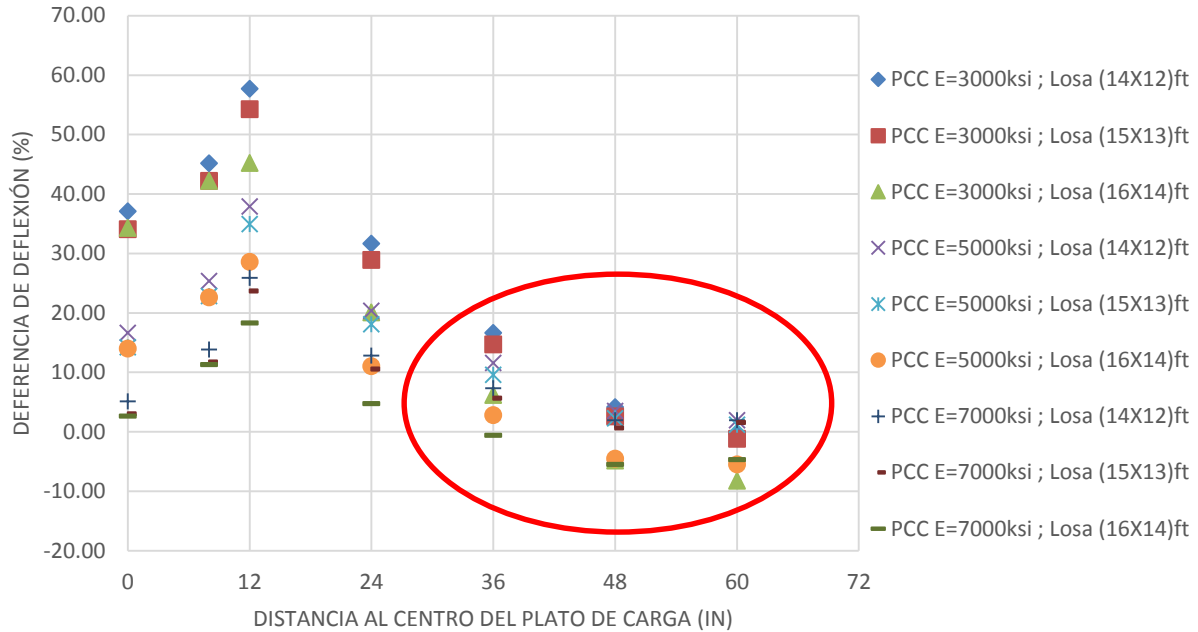


Figura 4.3. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 20000psi, Espesor de losa =7.7 in.

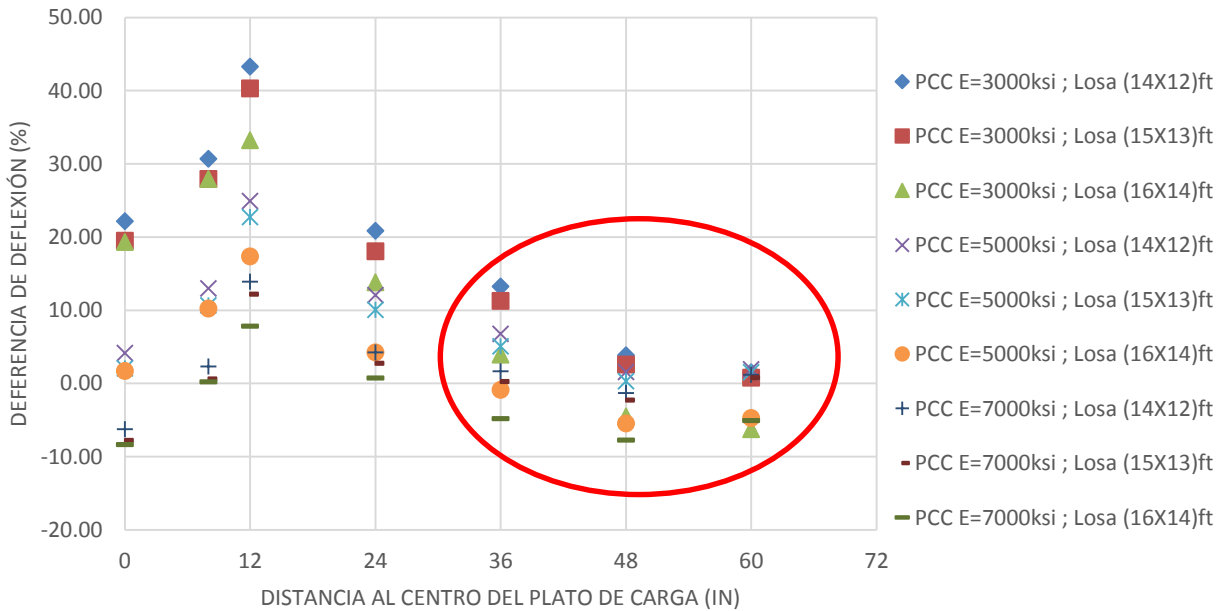


Figura 4.4. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 20000psi, Espesor de losa =8.7 in.

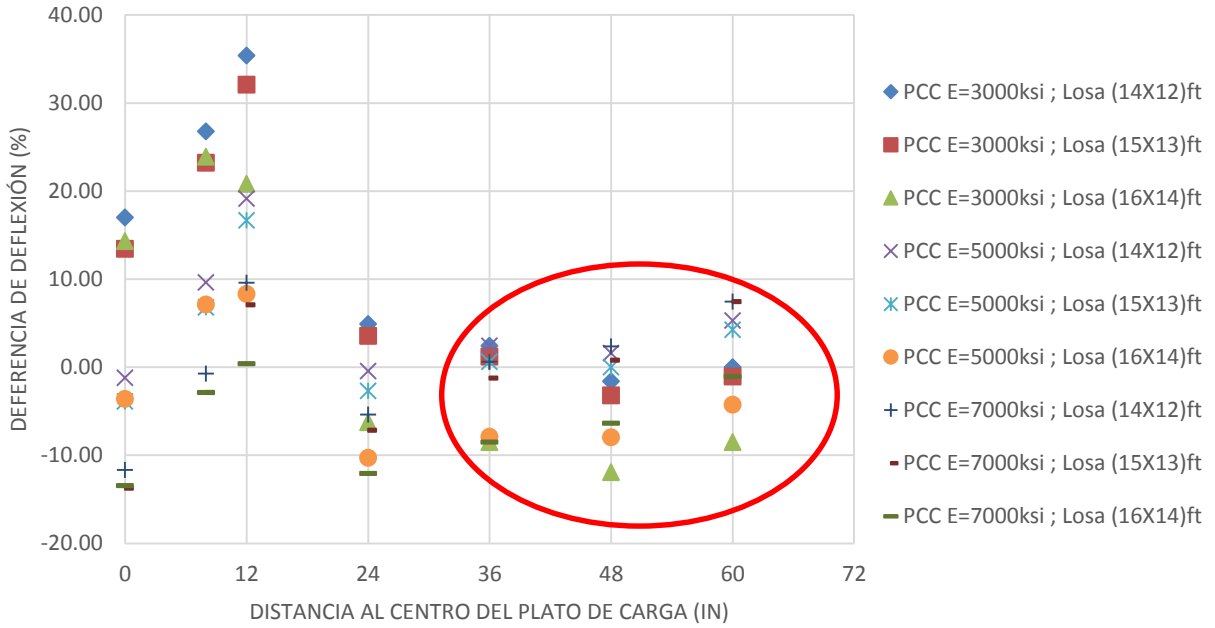


Figura 4.5. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 50000psi, Espesor de losa = 7.7 in.

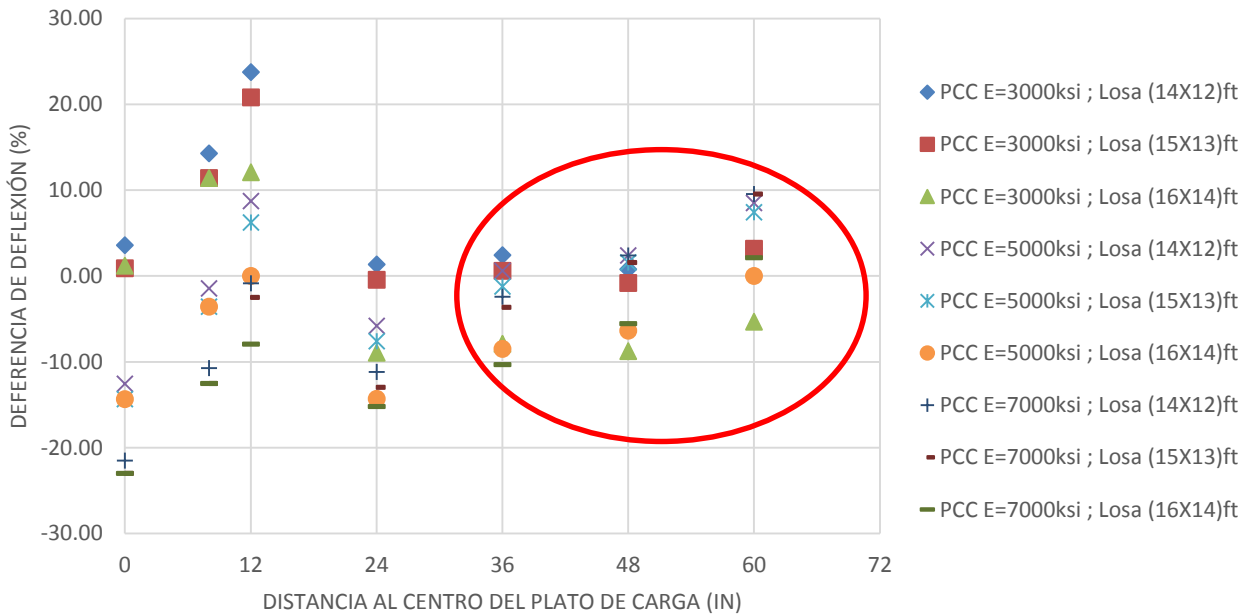


Figura 4.6. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura =50000psi, Espesor de losa = 8.7 in.

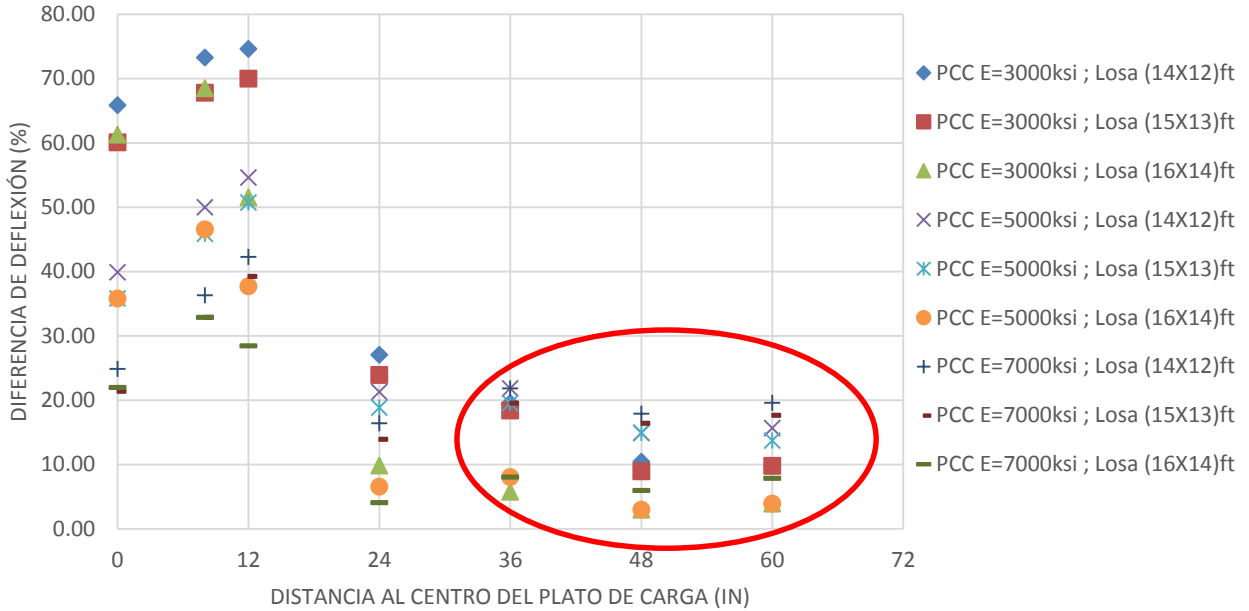


Figura 4.7. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 80000psi, Espesor de losa =7.7 in.

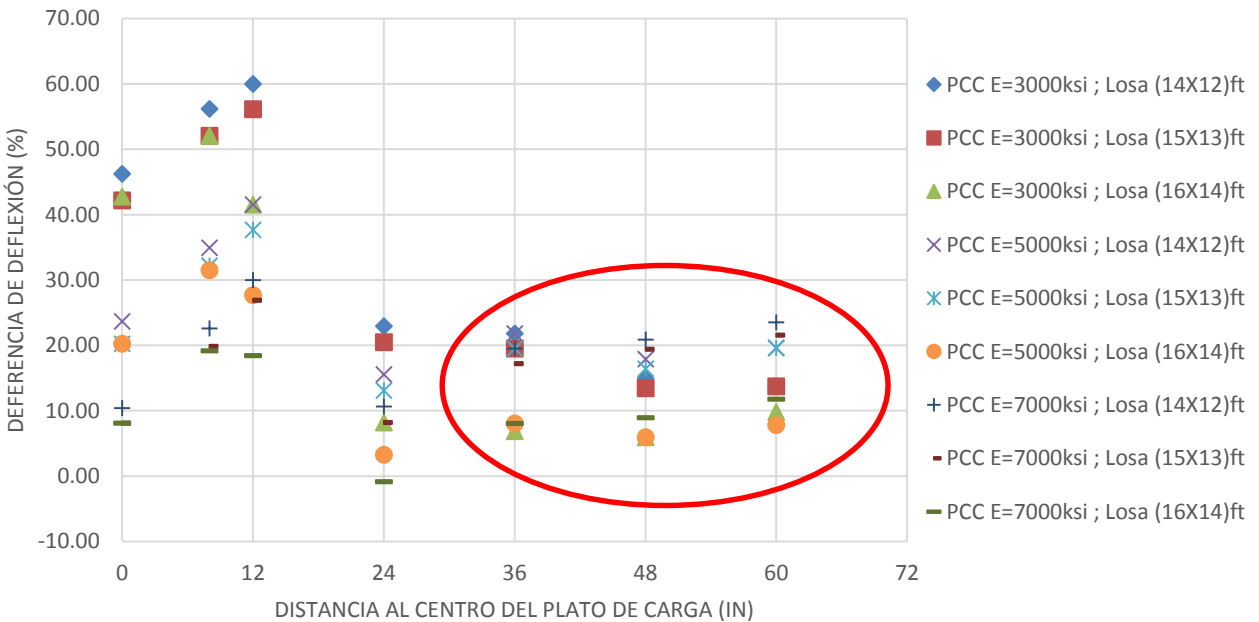


Figura 4.8. Diferencia de deflexiones con: módulo de la subestructura = 80000psi, Espesor de losa =8.7 in.

En las Figuras 4.3 a 4.8, se muestra como las diferencias de las deflexiones son iguales o menores al 20% a partir del geófono (D36), ubicado a una distancia de 36 pulgadas del centro del plato de carga, por lo que este valor se considera como la distancia crítica para el tipo de pavimento whitetopping convencional de la vía Biblián – Zhud.



4.2.3.2 Modulo de elasticidad de la losa de concreto

Para determinar el módulo de elasticidad de la losa de hormigón se considera el procedimiento que se indica en las Secciones 3.2.4.2 y 3.2.4.3, respectivamente, los valores se determinan para 18 abscisas de la vía Biblián – Zhud en donde existen puntos de muestreo por medio de calicatas.

En la Tabla 4.16, se calcula el módulo de elasticidad de la subestructura según lo que se indica a continuación.

En las columnas 1, 2 y 3, respectivamente, se indican las deflexiones medidas mediante el ensayo FWD, a una distancia de 36, 48 y 60 pulgadas del punto de aplicación de la carga.

Con las deflexiones que se presentan en las tres primeras columnas, se determina los módulos de elasticidad de la subestructura para las distancias de 36, 48 y 60 pulgadas mediante el uso de la Ecuación 3.19, estos valores se expresan en las columnas 4, 5 y 6 respectivamente. Finalmente, en la columna 7, se calcula el valor del módulo de la subestructura a emplear en el método, el cual es producto de realizar un promedio de los tres módulos calculados anteriormente.

Tabla 4.16. Módulos de elasticidad de la subestructura determinados por MDC.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
ABSCISA	D36 (in)	D48 (in)	D60 (in)	E36 (psi)	E48 (psi)	E60 (psi)	E Subestructura (psi)
0+501	0.00417	0.00366	0.00307	18611	16003	15068	16561
2+502	0.00264	0.00173	0.00122	29445	33825	37913	33727
3+700	0.00165	0.00126	0.00094	46971	46509	48971	47484
4+000	0.00189	0.00157	0.00126	41100	37207	36728	38345
4+500	0.00236	0.00201	0.00165	32880	29182	27983	30015
5+304	0.00228	0.00193	0.00157	34014	30373	29383	31256
6+900	0.00213	0.00177	0.00146	36533	33073	31765	33790
7+303	0.00276	0.00220	0.00173	28183	26576	26711	27157
8+301	0.00276	0.00197	0.00138	28183	29766	33580	30509
8+812	0.00307	0.00252	0.00197	25292	23254	23506	24018
25+403	0.00244	0.00209	0.00165	31819	28081	27983	29294
29+702	0.00378	0.00327	0.00268	20550	17931	17284	18588
31+700	0.00496	0.00398	0.00311	15657	14735	14877	15090
33+301	0.00240	0.00205	0.00165	32341	28621	27983	29648
33+600	0.00252	0.00209	0.00157	30825	28081	29383	29429
38+503	0.00213	0.00169	0.00122	36533	34611	37913	36352
40+100	0.00248	0.00209	0.00165	31314	28081	27983	29126
43+000	0.00209	0.00185	0.00161	37223	31666	28666	32518

$E (D)$ = Módulo de elasticidad de la subestructura para cada deflexión.

$E_{Subestructura}$ = Módulo de elasticidad promedio de la subestructura.



Una vez que se calculan los módulos de la subestructura, se procede al cálculo de los módulos de elasticidad de la losa de hormigón, dichos valores se presentan en la Tabla 4.17 conforme a la siguiente distribución.

En la columna 1, se indican los valores del módulo de elasticidad de la losa de hormigón que se obtienen mediante el proceso iterativo, mientras que en la columna 2, se indica el valor de la deflexión que se obtiene en el centro de la losa, estos dos valores son definidos mediante el uso del software KENSLABS.

En la columna 3, se muestran las deflexiones en el centro del plato de carga definidas mediante el ensayo FWD, finalmente en la columna 4, se indica el porcentaje de diferencia existente entre las deflexiones calculadas por el software y las obtenidas mediante el ensayo FWD, este porcentaje de error debe ser $\pm 4 \%$, para considerar validos los módulos de elasticidad de la losa de hormigón de la columna 1.

Tabla 4.17. Módulos de elasticidad de la losa de hormigón determinados por MDC.

	(1)	(2)	(3)	(4)
ABSCISA	E LOSA (psi)	D0 SEMILLA (in)	D0 CALCULADO (in)	% DIFERENCIA (RMS)
0+501	2'800000	0.00591	0.00585	1
2+502	160000	0.00622	0.00623	0
3+700	1'100000	0.00335	0.00324	3
4+000	3'300000	0.00291	0.00300	-3
4+500	2'000000	0.00394	0.00407	-3
5+304	1'800000	0.00398	0.00404	-2
6+900	3'000000	0.00335	0.00338	-1
7+303	1'400000	0.00469	0.00478	-2
8+301	80000	0.00791	0.00788	0
8+812	1'700000	0.00512	0.00502	2
25+403	2'400000	0.00394	0.00397	-1
29+702	1'600000	0.00606	0.00619	-2
31+700	500000	0.00953	0.00947	1
33+301	1'700000	0.00413	0.00427	-3
33+600	2'600000	0.00386	0.00388	-1
38+503	300000	0.00516	0.00521	-1
40+100	1'600000	0.00429	0.00439	-2
43+000	3'500000	0.00311	0.00324	-4

E Losa = Módulo de elasticidad de la losa de concreto.

D0 Semilla = Deflexión en el geófono D0.

D0 Calculado = Deflexión calculada con el KENSLABS.

RMC = Error medio cuadrático.

Al comparar los valores obtenidos con los rangos típicos de la Tabla 2.5, se observa que 4 valores están dentro del rango típico para pavimentos de concreto hidráulico, 2'844668 – 7'822838 psi. Se cree



que los demás valores se encuentran fuera del rango debido a que la toma de datos deflectométricos se realizan en losas con avanzado nivel de deterioro.

4.2.3.3 Modulo de rotura de la losa de concreto

Para determinar el módulo de rotura de las losas de hormigón se realiza el procedimiento que se indica en la Sección 3.2.2.2, los resultados de las 18 abscisas de la vía Biblián – Zhud donde existen ensayos de calicatas se presentan en la Tabla 4.18 según lo indicado a continuación.

En la columna 1, se presenta los módulos de elasticidad de la losa de hormigón definidos por el proceso iterativo realizado mediante el software KENSLABS, definido en la Sección 4.2.3.2, en la columna 2, se indican los módulos de rotura de la losa calculada mediante la Ecuación 3.17, mientras que en la columna 3, se muestran los valores del módulo de rotura definidos en el sistema internacional de unidades.

Tabla 4.18. Módulos de rotura de la losa de hormigón determinados por MDC.

	(1)	(2)	(3)
ABSCISA	E LOSA (psi)	S`c (psi)	S`c (kg/cm2)
0+501	2'800000	610	43
2+502	160000	495	35
3+700	1'100000	536	38
4+000	3'300000	632	44
4+500	2'000000	576	40
5+304	1'800000	567	40
6+900	3'000000	619	44
7+303	1'400000	549	39
8+301	80000	492	35
8+812	1'700000	562	40
25+403	2'400000	593	42
29+702	1'600000	558	39
31+700	500000	510	36
33+301	1'700000	562	40
33+600	2'600000	602	42
38+503	300000	502	35
40+100	1'600000	558	39
43+000	4'000000	663	47

E LOSA = Módulo de elasticidad de la losa de concreto.

S`c = Módulo de rotura de la losa de concreto.



4.2.4 Ensayos de laboratorio

4.2.4.1 Calicatas

Las calicatas son métodos destructivos que sirven para determinar las propiedades estructurales de los pavimentos, este tipo de ensayos son costosos cuando se requieren evaluar grandes longitudes de vías, por lo que actualmente se usan los ensayos no destructivos como el ensayo deflectométrico FWD para mediante retrocálculo determinar las propiedades del pavimento. Este estudio lo realiza el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en el año 2017 (MTO, 2017), se realiza la extracción de un total de 18 calicatas a lo largo de la vía Biblián – Zhud, para mediante ensayos de laboratorio, calcular el módulo de rotura de la losa de concreto hidráulico, con el objetivo de determinar si dichos valores tienen relación alguna, con los valores encontrados del módulo de rotura a través de las metodologías de retrocálculo.

A continuación, en la Tabla 4.19, se indica tanto las abscisas como los resultados de los módulos de rotura determinados por el MTO.

Tabla 4.19. Módulos de rotura obtenidos en las calicatas (MTO, 2017).

ABSCISA	CARRIL	S'c (Kg/cm ²)
0+501	D	43
2+502	D	38
3+700	D	40
4+000	I	44
4+500	D	40
5+304	D	40
6+900	D	44
7+303	D	40
8+301	D	36
8+812	I	41
25+403	I	42
29+702	D	38
31+700	D	36
33+301	D	39
33+600	I	42
38+503	D	37
40+100	D	39
43+000	I	44

S'c = Módulo de rotura de la losa de concreto.



4.3 Análisis de correlación

El análisis de correlaciones se realiza para validar los métodos de retrocálculo utilizados, y determinar cuál de ellos es el que mejor se ajuste a los datos obtenidos en campo, siendo éstos los módulos de rotura mostrados en la Tabla 4.19, los cuales fueron obtenidos en laboratorio a partir de 18 puntos de muestreo.

Se realiza la correlación entre los módulos de rotura de la capa de concreto hidráulico, que se obtienen mediante la metodología: AASHTO 93, ELMOD 6 y el método de la distancia crítica, dicho análisis se realiza para los 18 puntos de muestreo de la Tabla 4.19, como para los 183 puntos del ensayo FWD.

Cabe recalcar que, para las respectivas correlaciones, se descartan los resultados obtenidos con el modelo 1 en el ELMOD 6, debido a que éstos, presentan una discordancia con respecto a los resultados del modelo 2 y 3, respectivamente, y a su vez con los resultados que se obtienen en la metodología AASHTO 93.

4.3.1 Módulo de rotura: Calicatas vs AASHTO

La Figura 4.9, muestra la correlación de los resultados que se obtienen mediante la AASHTO 93, con respecto a los valores obtenidos en laboratorio, a partir de la extracción de calicatas.

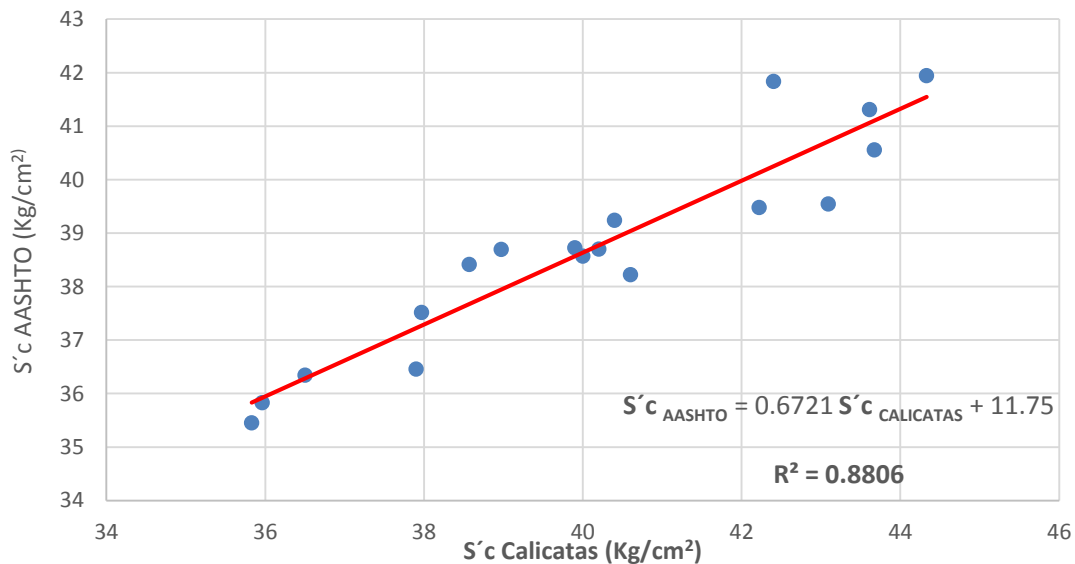


Figura 4.9. Correlación entre los módulos de rotura: Calicatas vs AASHTO.

La Figura 4.9, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.8806$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.94$, lo que implica que existe una correlación excelente.

4.3.2 Módulo de rotura: Calicatas vs ELMOD 6

La Figura 4.10, muestra la correlación de los resultados que se obtienen mediante el ELMOD 6, para el modelo 2, con respecto a los valores obtenidos en laboratorio a partir de la extracción de calicatas.

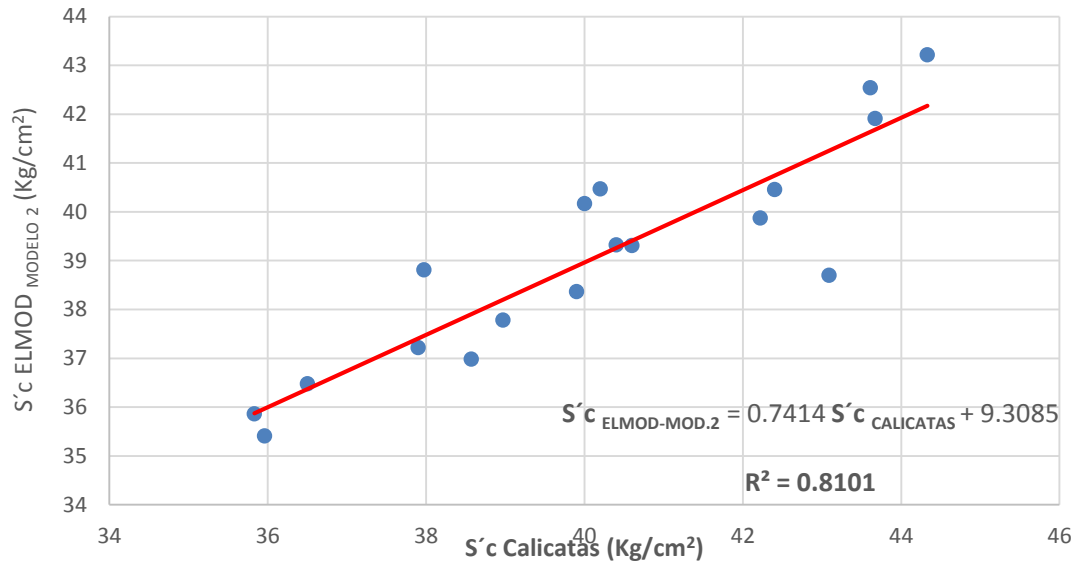


Figura 4.10. Correlación entre los módulos de rotura: Calicatas vs ELMOD 6 Modelo 2.

La Figura 4.10, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.8101$. De acuerdo a la Tabla 3.6 de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.90$, lo que implica que existe una correlación excelente.

La Figura 4.11, muestra la correlación de los resultados que se obtienen mediante el ELMOD 6 para el modelo 3, con respecto a los valores obtenidos en laboratorio a partir de la extracción de calicatas.

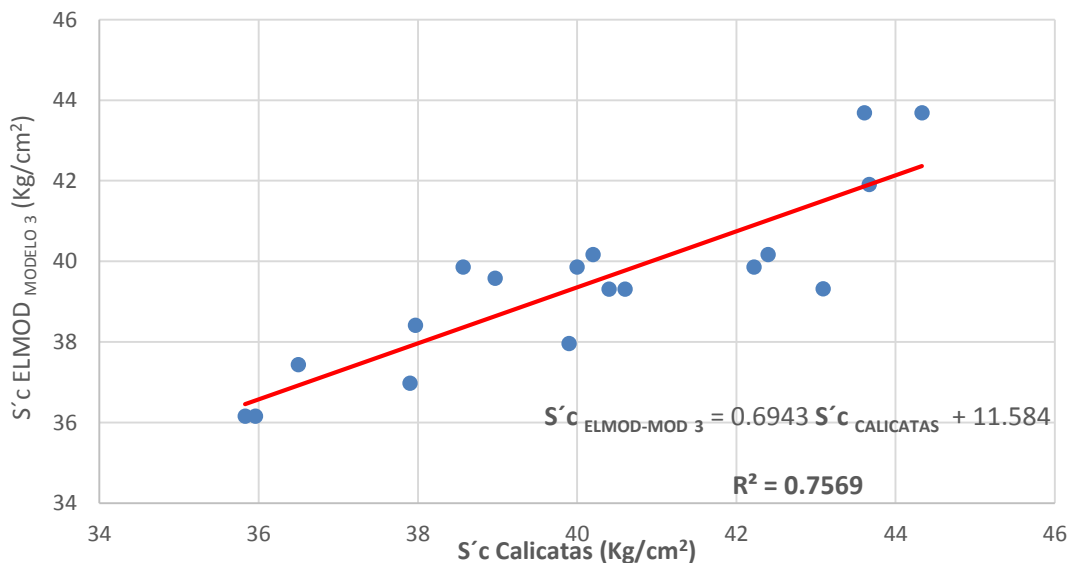


Figura 4.11. Correlación entre los módulos de rotura: Calicatas vs ELMOD 6 Modelo 3.



La Figura 4.11, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.7569$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.88$, lo que implica que existe una correlación aceptable.

4.3.3 Módulo de rotura: Calicatas vs Distancia Crítica

La Figura 4.12, muestra la correlación de los resultados que se obtienen mediante el método de la distancia crítica, con respecto a los resultados obtenidos en laboratorio a partir de la extracción de calicatas.

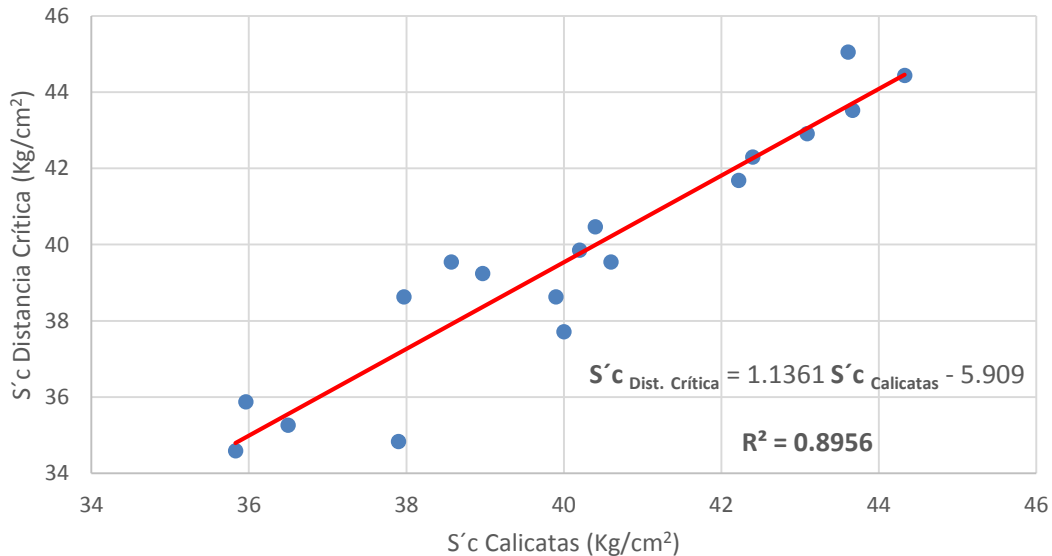


Figura 4.12. Correlación entre los módulos de rotura: Calicatas vs Distancia Crítica.

La Figura 4.12, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.8956$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.95$, lo que implica que existe una correlación excelente.

Para validar los resultados obtenidos mediante las 3 metodologías de retrocálculo, a continuación, se realiza la correlación entre cada uno de ellas, para los 18 puntos de interés, es decir, en las abscisas donde se realiza la extracción de calicatas.

4.3.3 Módulo de rotura: AASHTO vs ELMOD 6

Las Figuras 4.13 y 4.14, respectivamente, muestran el análisis de correlación entre la metodología AASHTO, y los modelos 2 y 3, respectivamente, del ELMOD 6.

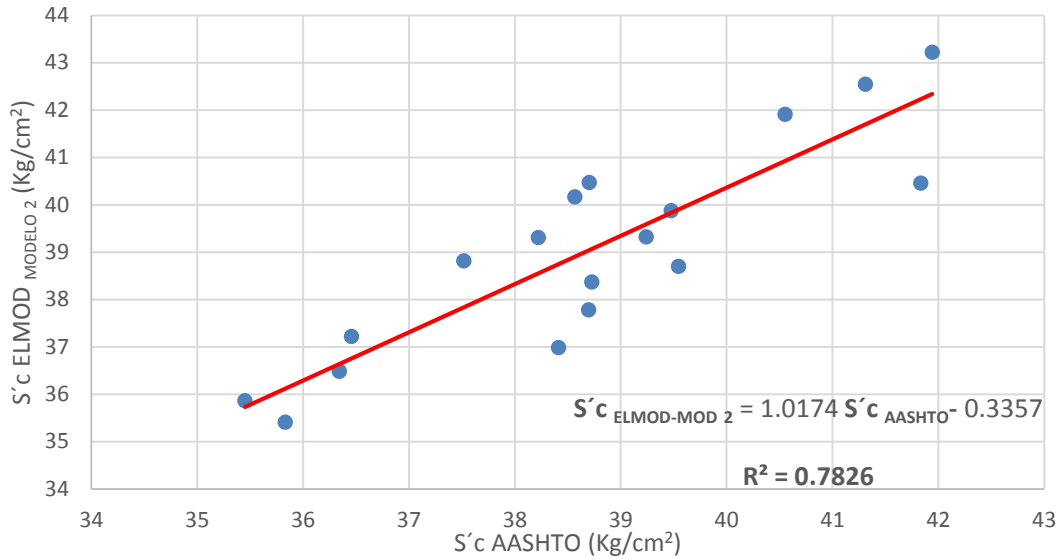


Figura 4.13. Correlación entre los módulos de rotura: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 2.

La Figura 4.13, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.7826$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.88$, lo que implica que existe una correlación aceptable.

La Figura 4.14, muestra el análisis de correlación entre los módulos de elasticidad de la AASHTO 93, con respecto a los módulos de elasticidad del modelo 3 obtenido con el ELMOD 6.

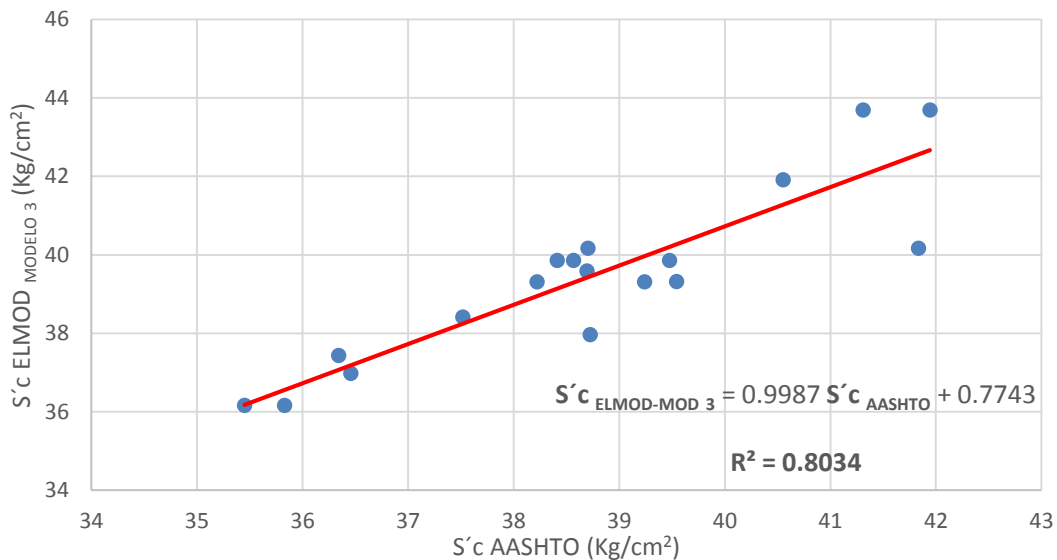


Figura 4.14. Correlación entre los módulos de rotura: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 3.

La Figura 4.14, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.8034$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.90$, lo que implica que existe una correlación excelente.



4.3.4 Módulo de rotura: AASHTO vs Distancia Crítica

La Figura 4.15, muestra el análisis de correlación entre la AASHTO, con respecto a el método de la distancia crítica.

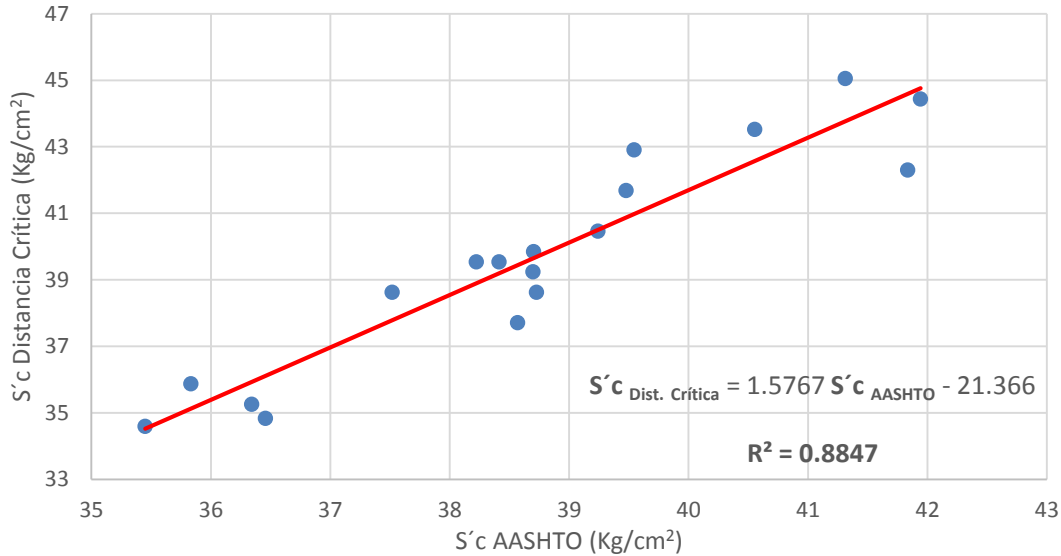


Figura 4.15. Correlación entre los módulos de rotura: AASHTO vs Distancia Crítica.

La figura 4.15, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.8847$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.94$, lo que implica que existe una correlación excelente.

4.3.5 Módulo de rotura: ELMOD 6 vs Distancia Crítica

Las Figuras 4.16 y 4.17, muestran la correlación entre los resultados que se obtienen con los modelos 2 y 3, respectivamente, con respecto a los resultados que se obtienen con el método de la distancia crítica.

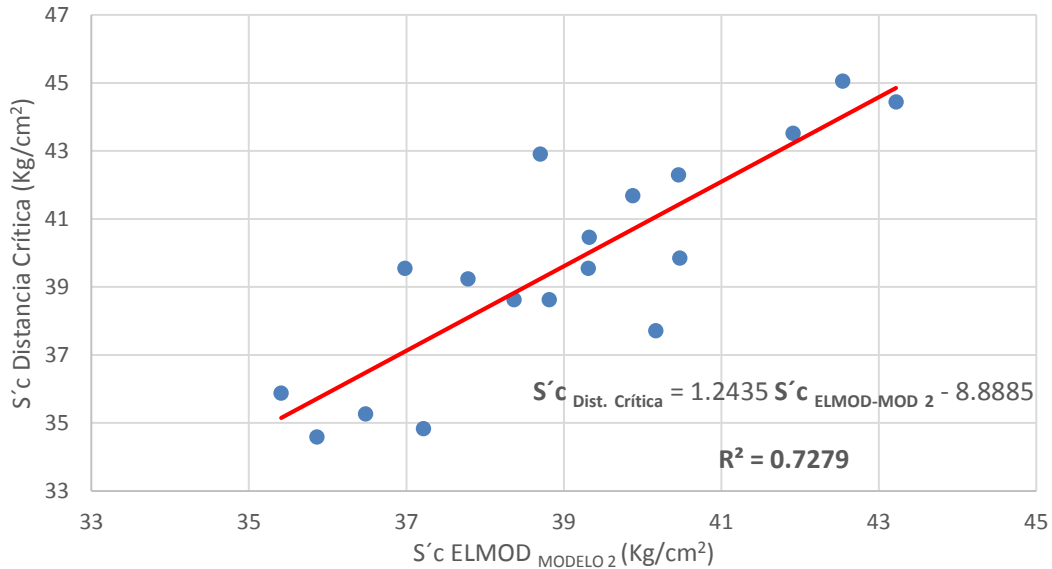


Figura 4.16. Correlación entre los módulos de rotura: ELMOD 6 MODELO 2 VS Distancia Crítica.

La figura 4.16, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.7279$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.85$, lo que implica que existe una correlación aceptable.

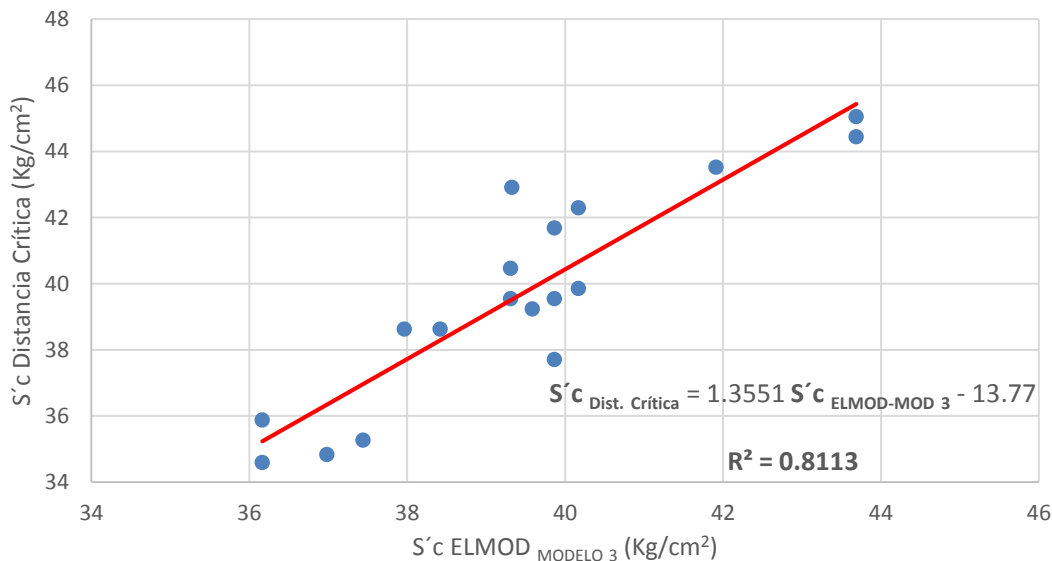


Figura 4.17. Correlación entre los módulos de rotura: ELMOD 6 MODELO 3 vs Distancia Crítica.

La figura 4.17, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.8113$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.9$, lo que implica que existe una correlación excelente.

Para culminar el análisis de correlación, se realiza la correlación entre los resultados que se obtienen a partir de las diferentes metodologías de retrocálculo, para los 183 puntos ensayados con el FWD a lo largo de la vía, es decir, 91 puntos para el carril derecho y 92 puntos para el carril izquierdo. Este análisis se realiza, con el objetivo de observar la dispersión que existe entre los resultados; al analizar los 18

puntos donde existe extracción de calicatas, con respecto a la totalidad de los puntos evaluados con el FWD.

4.3.6 Módulo de rotura: AASHTO vs ELMOD 6

Las Figuras 4.18 a 4.23, muestran el análisis de correlación entre la metodología AASHTO, y los modelos 2 y 3, respectivamente, del ELMOD 6, tanto para el carril derecho como para el carril izquierdo.

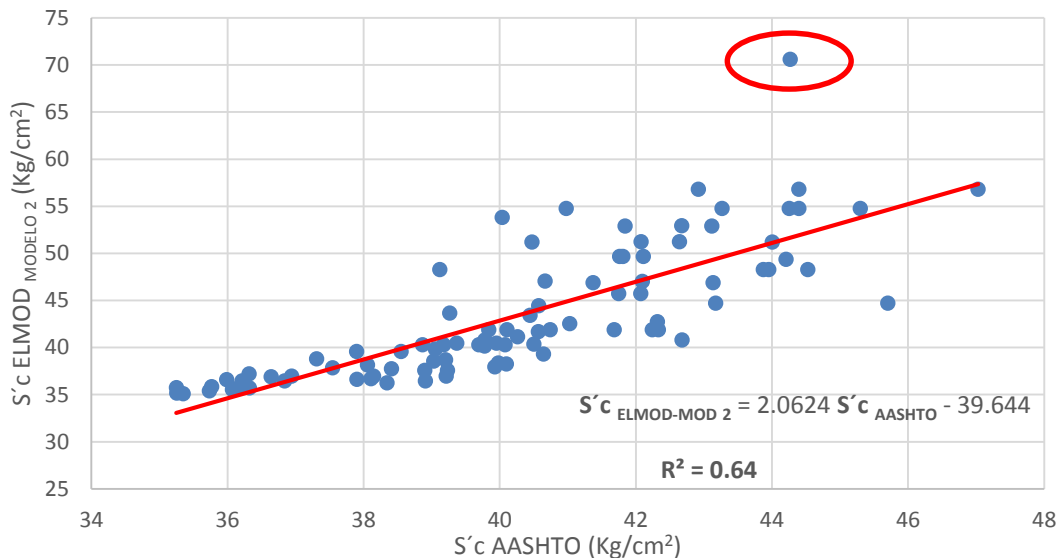


Figura 4.18. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 2.

La Figura 4.18, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.64$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.80$, lo que implica que existe una correlación aceptable.

El punto señalado de la Figura 4.18, corresponde a un valor atípico, es decir se encuentra fuera de la tendencia de datos. A continuación, en la Figura 4.19, se realiza la correlación de los datos, excluyendo dicho punto, el cual corresponde a la abscisa 41+301. Para ello se utiliza la Ecuación 3.20, donde; son excluidos todos los valores atípicos, cuyos rangos de puntuación Z se encuentren fuera del rango ± 2.5 , que es la desviación estándar utilizada para este análisis.

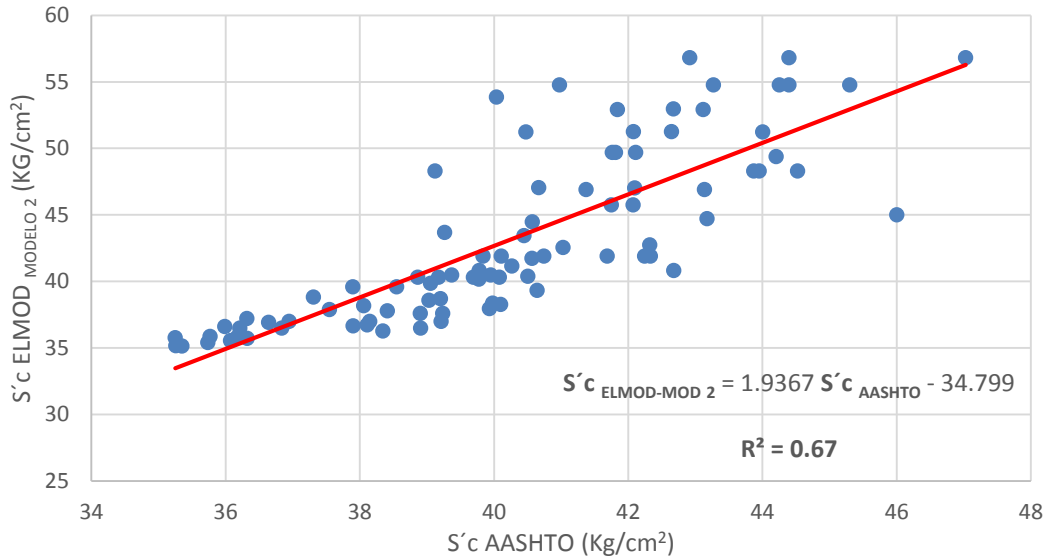


Figura 4.19. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril derecho: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 2.

En la Figura 4.19, se observa que el valor de determinación mejora con respecto a la Figura 4.18, al eliminar el valor atípico señalado, resultando este $R^2 = 0.67$, esto implica un $r = 0.82$, correspondiente a una correlación aceptable.

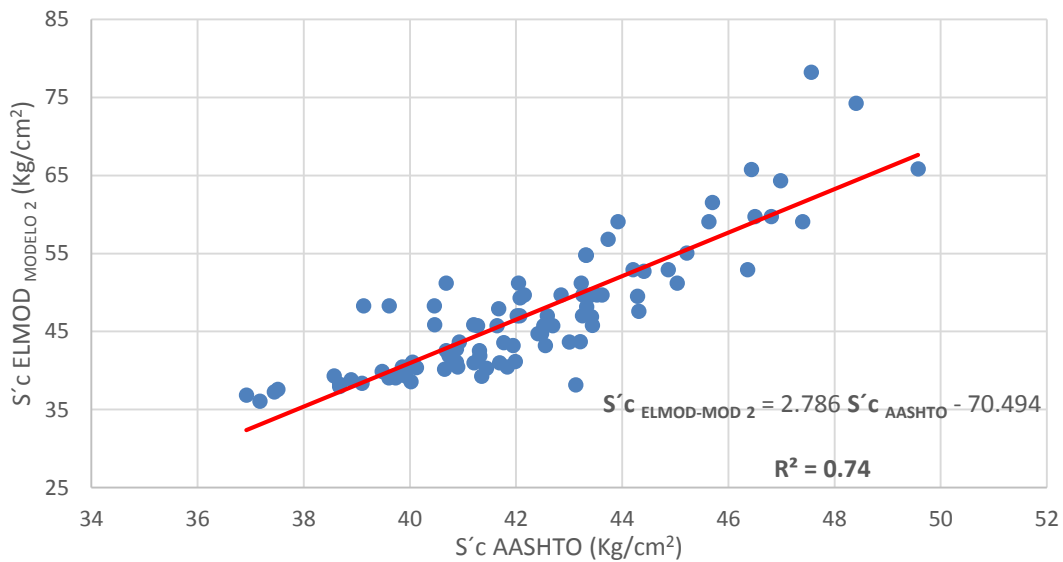


Figura 4.20. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 2.

La Figura 4.20, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.74$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.86$, lo que implica que existe una correlación aceptable.

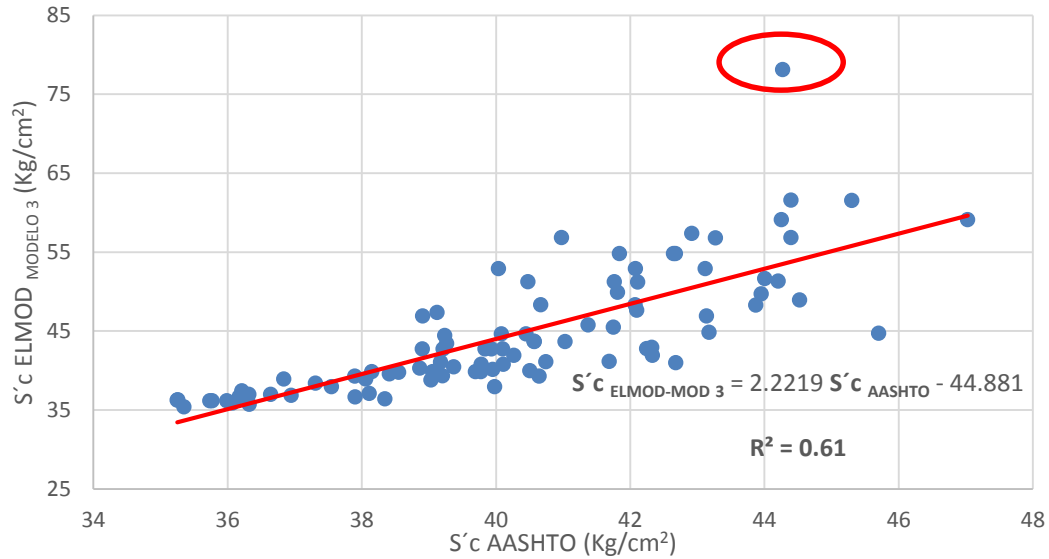


Figura 4.21. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 3.

La Figura 4.21, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.61$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.78$, lo que implica que existe una correlación regular.

La Figura 4.21, muestra un valor atípico correspondiente a la abscisa 41+301, por lo que a continuación se realiza la correlación excluyendo dicho punto, conforme a la Ecuación 4.1, dicho resultado se muestra en la Figura 4.22.

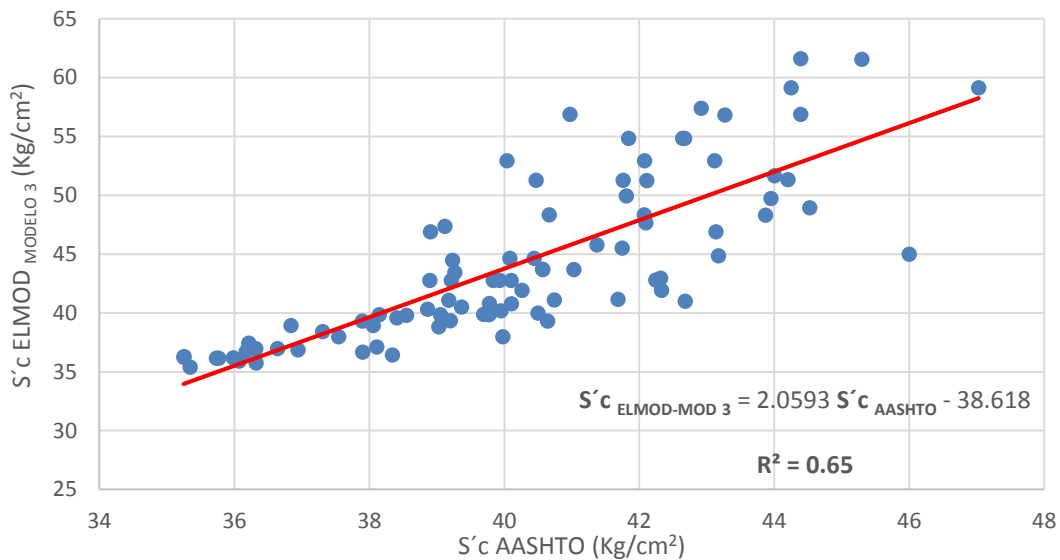


Figura 4.22. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril derecho: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 3.

La Figura 4.22 muestra un porcentaje de determinación $R^2 = 65$, lo que implica un $r = 0.81$, correspondiente a una correlación aceptable.

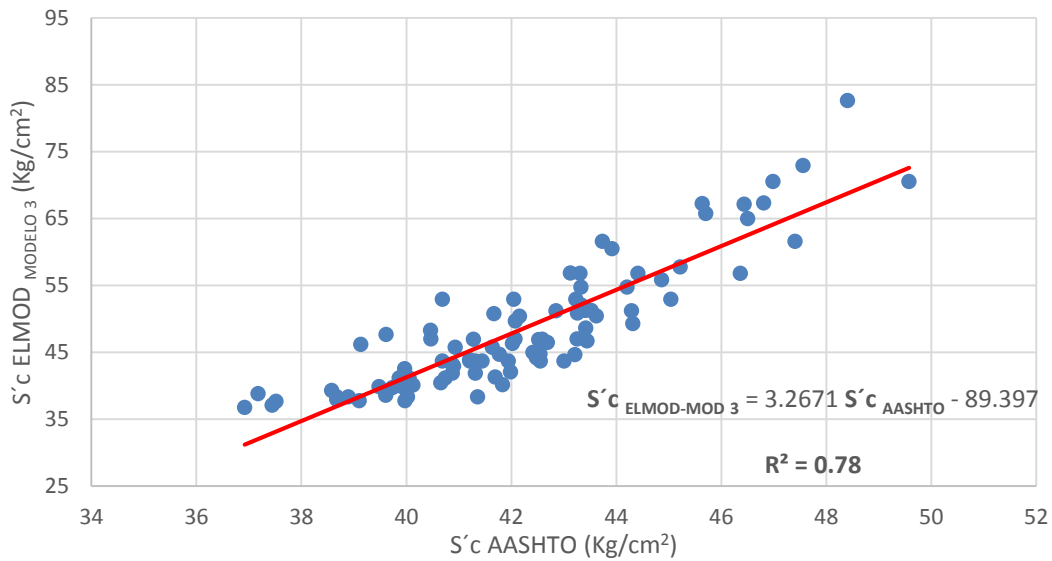


Figura 4.23. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: AASHTO vs ELMOD 6 MODELO 3.

La Figura 4.23, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.78$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.89$, lo que implica que existe una correlación aceptable.

4.3.7 Módulo de rotura: AASHTO vs Distancia Crítica

Las Figuras 4.24 a 4.27, muestran el análisis de correlación entre la AASHTO, con respecto a el método de la distancia crítica, tanto para el carril derecho, como para el carril izquierdo.

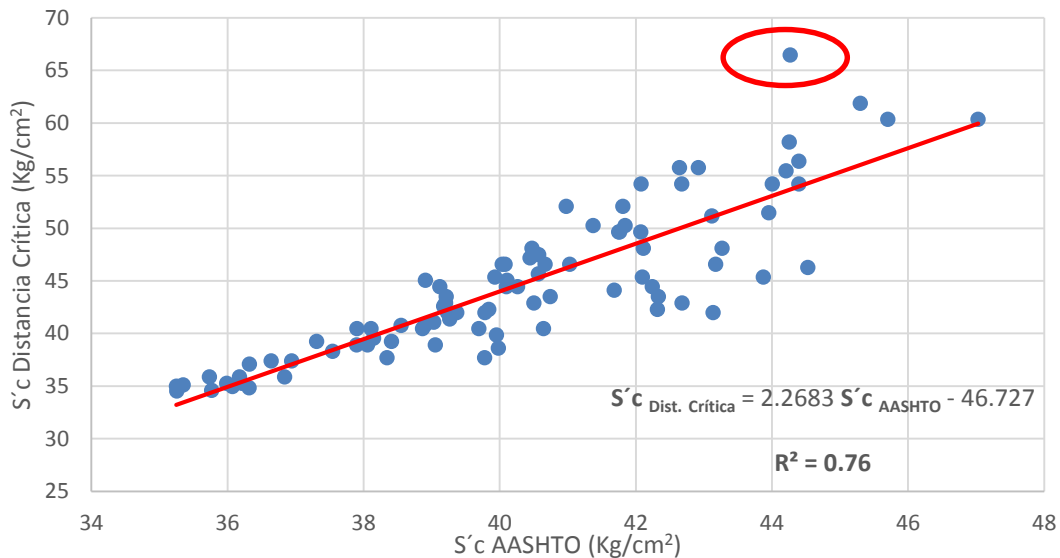


Figura 4.24. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: AASHTO vs Distancia Crítica.

La Figura 4.24, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.76$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.87$, lo que implica que existe una correlación aceptable.

La Figura 4.24, muestra un valor atípico correspondiente a la abscisa 41+301, por lo que a continuación se realiza la correlación excluyendo dicho punto, conforme a la Ecuación 4.1, dicho resultado se muestra en la Figura 4.25.

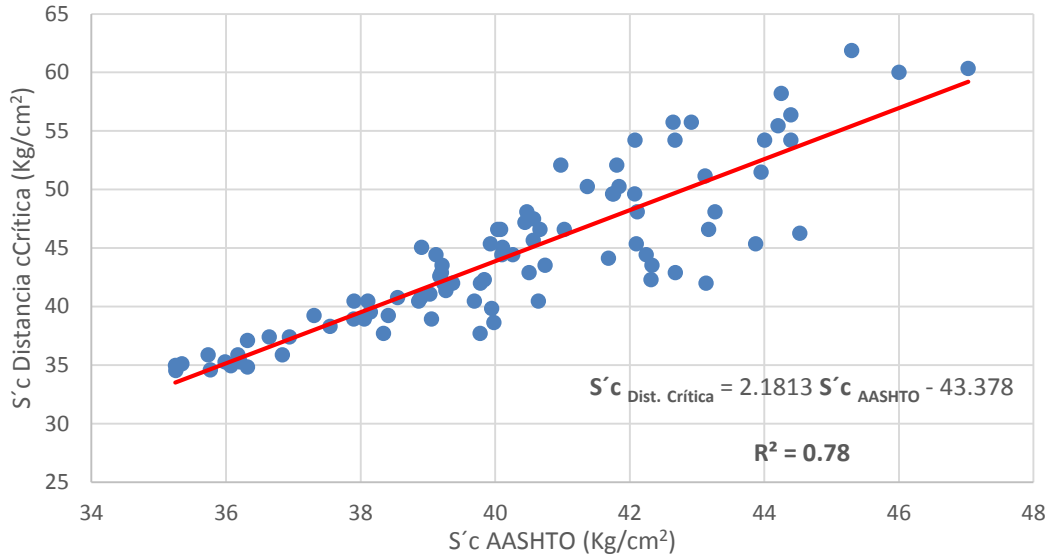


Figura 4.25. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril derecho: AASHTO vs Distancia Crítica.

La Figura 4.25 muestra un porcentaje de determinación $R^2 = 78$, lo que implica un $r = 0.88$, correspondiente a una correlación aceptable.

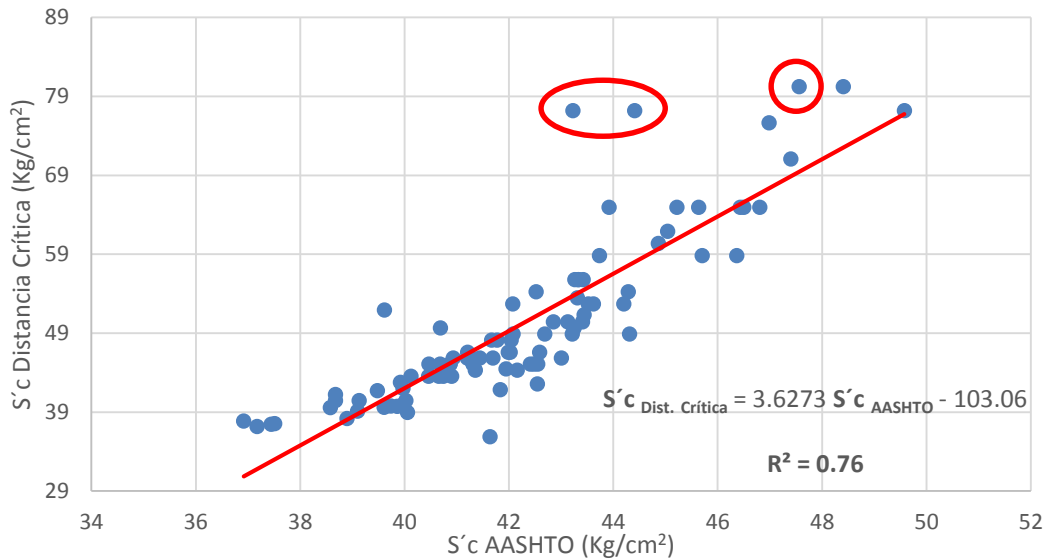


Figura 4.26. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: AASHTO vs Distancia Crítica.



La Figura 4.26, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.76$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.87$, lo que implica que existe una correlación aceptable.

La Figura 4.26, muestra tres valores atípicos correspondientes a las abscisas 36+606, 44+600 y 45+805, por lo que a continuación se realiza la correlación excluyendo dichos puntos, conforme a la Ecuación 4.1, dicho resultado se muestra en la Figura 4.27.

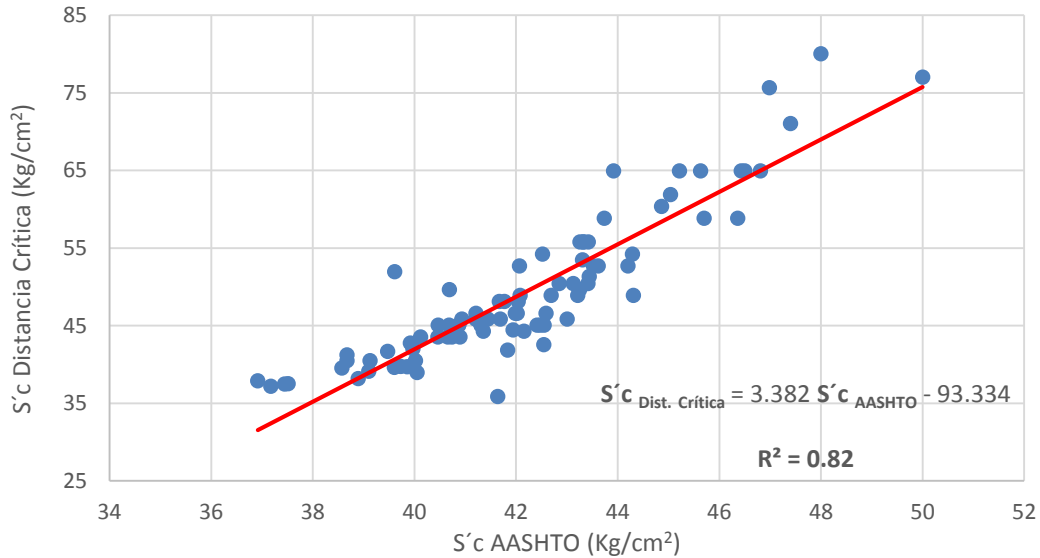


Figura 4.27. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: AASHTO vs Distancia Crítica.

La Figura 4.27, muestra un porcentaje de determinación $R^2 = 82$, lo que implica un $r = 0.91$, correspondiente a una correlación excelente.

4.3.8 Módulo de rotura: ELMOD 6 vs Distancia Crítica

Las Figuras 4.28 a 4.32, muestran la correlación entre los resultados que se obtienen con los modelos 2 y 3 del ELMOD 6, con respecto, a los resultados que se obtienen con el método de la distancia crítica.

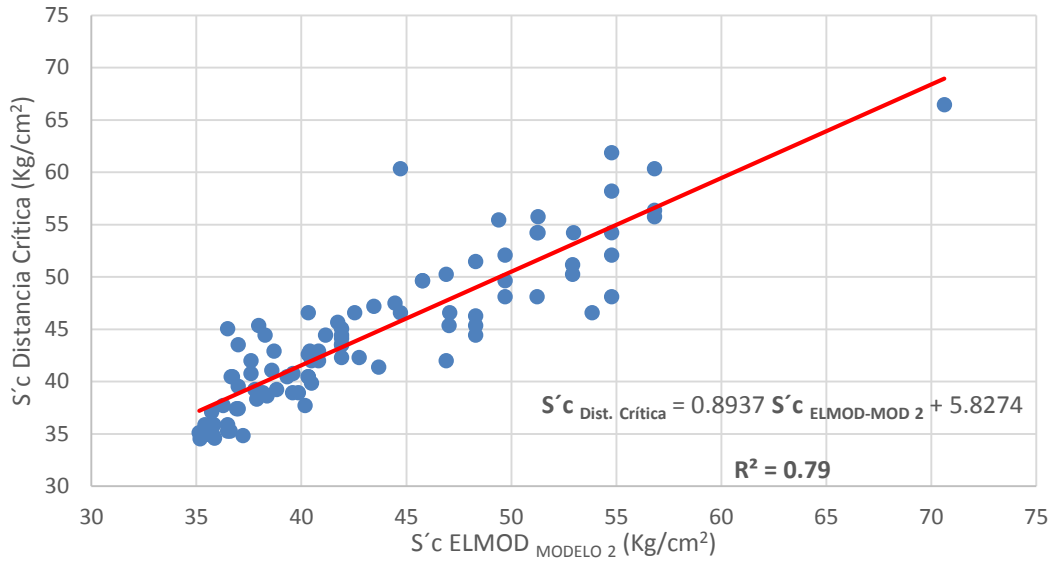


Figura 4.28. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: ELMOD MOD. 2 VS Distancia Crítica.

La Figura 4.28, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.79$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.87$, lo que implica que existe una correlación aceptable

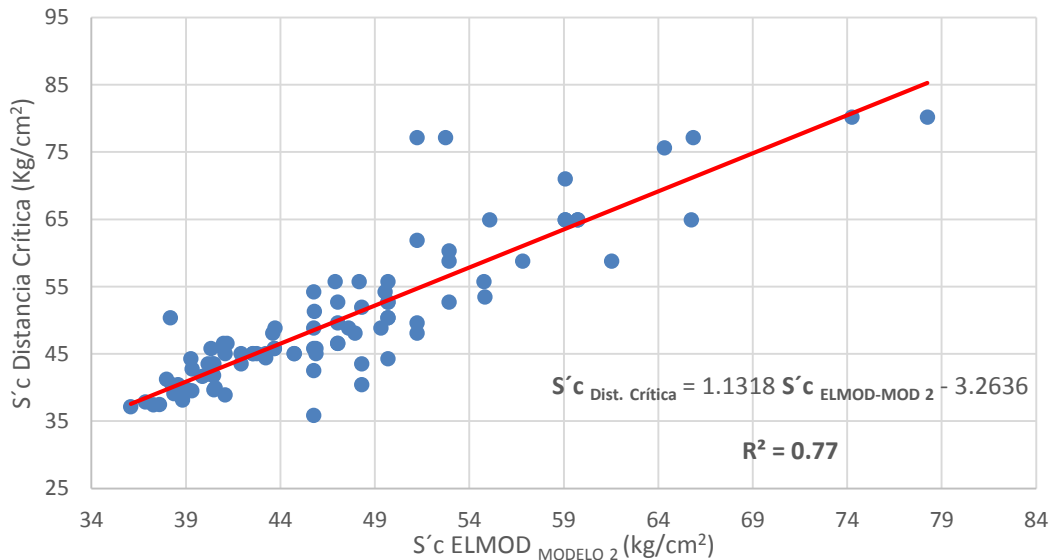


Figura 4.29. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: ELMOD MOD. 2 VS Distancia Crítica.

La Figura 4.29, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.77$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.88$, lo que implica que existe una correlación aceptable.

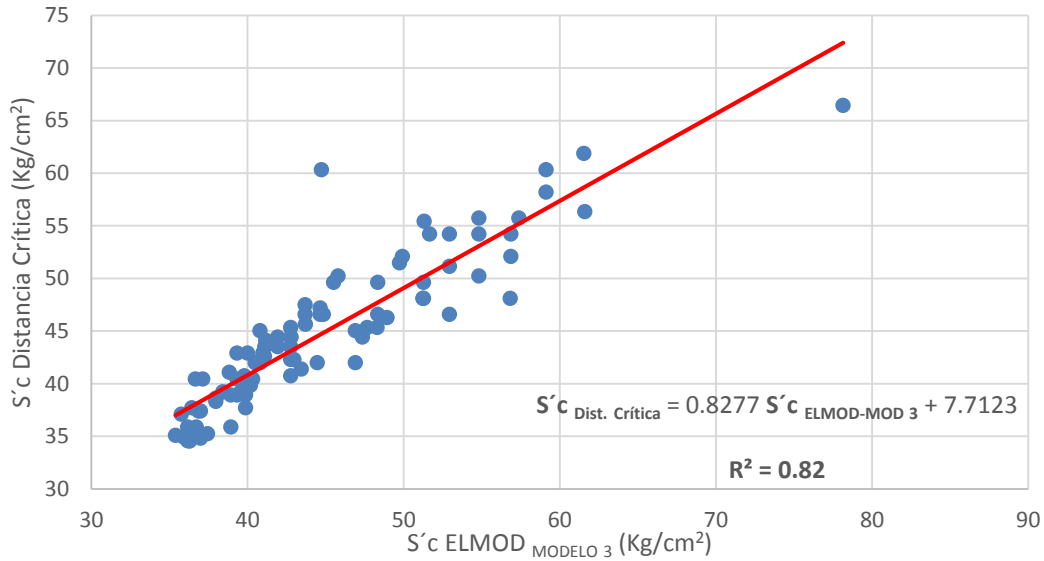


Figura 4.30. Correlación entre los módulos de rotura para el carril derecho: ELMOD MOD. 3 VS Distancia Crítica.

La Figura 4.30, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.82$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.91$, lo que implica que existe una correlación excelente.

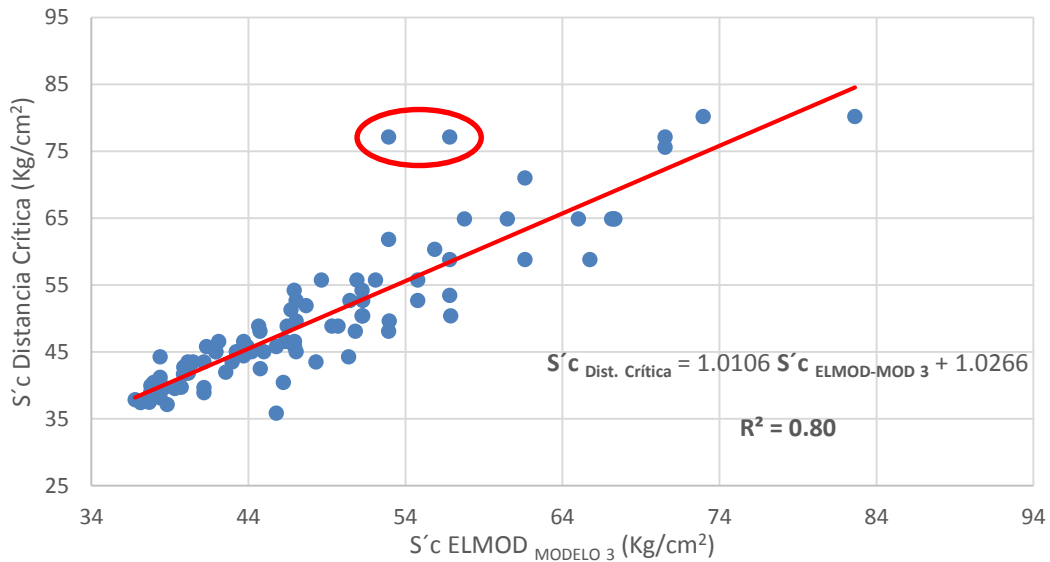


Figura 4.31. Correlación entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: ELMOD MOD. 3 VS Distancia Crítica.

La Figura 4.31, presenta un porcentaje de ajuste $R^2 = 0.80$. De acuerdo a la Tabla 3.6, de la Sección 3.3, esto corresponde a un $r = 0.90$, lo que implica que existe una correlación excelente.



La Figura 4.31, muestra dos valores atípicos correspondientes a las abscisas 36+606 y 45+805, por lo que a continuación se realiza la correlación excluyendo dichos puntos, conforme a la Ecuación 4.1, dicho resultado se muestra en la Figura 4.32.

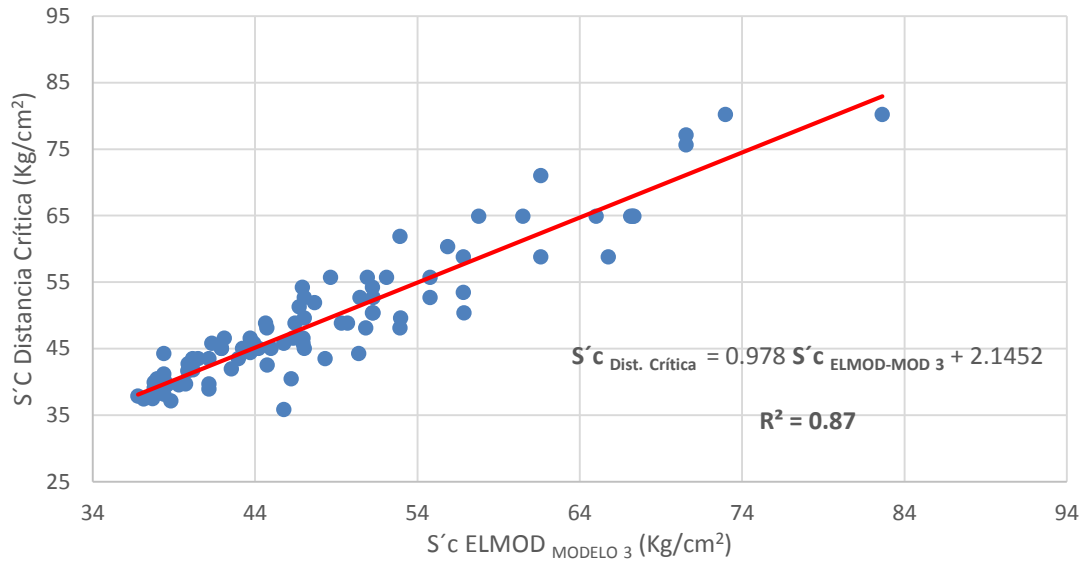


Figura 4.32. Correlación sin outliers entre los módulos de rotura para el carril izquierdo: ELMOD MOD. 3 VS Distancia Crítica.

La Figura 4.32, muestra un porcentaje de determinación $R^2 = 87$, lo que implica un $r = 0.93$, correspondiente a una correlación excelente.



Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

En esta sección se presentan las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas al finalizar el análisis estructural mediante técnicas de retrocálculo al pavimento whitetopping de la vía Biblián – Zhud, comprendiendo un total de 36094 metros de longitud de análisis para los dos carriles.

5.1 Conclusiones

En este proyecto se realizó la evaluación estructural para el pavimento whitetopping de la vía Biblián – Zhud. Mediante análisis de retrocálculo, se establecieron relaciones entre los resultados de los tres diferentes métodos, con respecto a los resultados obtenidos en campo a partir de 18 calicatas, a lo largo de la vía de estudio.

Para la evaluación estructural, se empleó información proporcionada por el MTOP, obtenida por el deflectómetro de impacto FWD PRIMAX 2100, con el cual se realizó ensayos cada 200 metros en el eje de la vía, en total se realizaron 737 ensayos comprendiendo el centro, esquina, la junta y pasajunta de la losa. A partir de los resultados de deflectometría, en el presente trabajo de titulación se desarrollaron 3 metodologías de retrocálculo: el método AASHTO, el software ELMOD 6 y el método de la distancia crítica.

Se realizó el estudio de la bibliografía existente sobre las metodologías de retrocálculo, para aplicarlas en el análisis estructural del pavimento whitetopping, concluyendo que, si es factible realizar dicho análisis para este tipo de pavimentos, ya que se obtuvieron correlaciones con ajustes que van desde aceptables (80% a 90%) hasta excelentes (90% a 100%).

Los parámetros estructurales que se desarrolló mediante las 3 metodologías de retrocálculo indica que:

- La AASHTO 93 mostró que el módulo de reacción de la subrasante califica con el 35% de los datos como Medio y 29% como Alto, por lo que se determinó que la vía se encuentra en buen estado estructural. Se estableció un módulo de elasticidad promedio de 1'428094 psi y un módulo de rotura promedio de 39 kg/cm² para la losa de hormigón. La eficiencia de la transferencia de carga es del 70% lo que indica que no existe una buena transferencia de carga.
- Con el software ELMOD 6, se analizaron 3 modelos de estructura diferente: El modelo 1 (losa de hormigón, capa asfáltica, base, subbase, subrasante). El modelo 2 (losa de hormigón, capa asfáltica, base, subrasante), con dicho modelo se obtuvo un módulo de elasticidad promedio de 1'538515 psi, y un módulo de rotura promedio de 39 Kg/cm². El modelo 3 (losa de hormigón,



capa asfáltica, subrasante), con el que se obtuvo un módulo de elasticidad promedio de 1'664859 psi y un módulo de rotura promedio de 39 Kg/cm².

- Con el método de la Distancia Crítica, se obtuvo un módulo de elasticidad de la losa promedio de 1'741118 psi y un módulo de rotura promedio de la losa de 40 kg/cm², al igual que los anteriores dos métodos, indica la existencia del deterioro de la losa.

Se observa que el módulo de elasticidad promedio de la losa de hormigón de las tres metodologías, se encuentra fuera del rango típico para pavimentos rígidos, es decir entre 2'800000 y 7'800000 psi. Se considera que dicho resultado se debe a que los ensayos deflectométricos fueron realizados en losas donde se visualiza alto nivel de deterioro.

Los módulos de rotura promedio de la losa de hormigón, son menores al valor recomendado por la literatura, es decir, 48 Kg/cm², además de resultan menor a los 45 Kg/cm²; valor típico de la zona de estudio, sin embargo, se considera un valor aceptable de acuerdo a lo sugerido por el MTOP, ya que su valor es mayor al 75% del módulo de rotura de diseño (45 Kg/cm²).

Al comparar los resultados de las tres metodologías, con respecto a los resultados obtenidos en campo mediante la extracción de calicatas, presenta lo siguiente:

- Con la metodología ASSHTO, se obtuvo un ajuste del 94%.
- Con el software ELMOD 6, se determinó que el modelo 2, es el que mejor se ajusta a los datos de campo, resultando un ajuste del 90%.
- Con la metodología de la Distancia Crítica, se obtuvo un ajuste del 95%, lo que implica una correlación excelente.

Debido al mejor ajuste presentado, se considera al método de la distancia crítica como la mejor metodología, por este indicador y al tratarse de una evaluación desarrollada para el análisis de pavimentos whitetopping, se concluye que este método es el que mejor se ajusta a los datos de campo de la vía Biblián – Zhud y que podría ser usado en vías de iguales características.

Con el objetivo de validar los resultados obtenidos, se compararon las metodologías entre sí:

- Para los 18 puntos de interés, la relación que mejor se ajusta es la de la metodología AASHTO, con respecto a la metodología de la Distancia Crítica, obteniéndose un ajuste del 94% lo que implica una correlación excelente.
- Al analizar todos 183 puntos ensayados, se identificaron valores atípicos “outliers”, es decir, valores que se encuentran fuera de la tendencia de los datos, excluyendo dichos valores; la relación que mejor se ajusta, es la del modelo 3 del software ELMOD 6 con respecto a la Distancia Crítica, resultando un ajuste promedio del 92% para los dos carriles, lo que implica una correlación excelente.



- Las correlaciones obtenidas con los 183 resultan menores, con respecto a las obtenidas a partir de los 18 puntos de interés, con lo que se concluye que la muestra de 18 puntos no es lo suficientemente representativa. Para obtener resultados confiables, la muestra representativa para los 183 puntos evaluados, debería ser 124 puntos, los cuales representarían un nivel de confianza del 95%.

El módulo de elasticidad promedio de la losa obtenido mediante la metodología de la Distancia Crítica, al analizar los 183 puntos resulta 4'392040 psi, el cual tiene un incremento del 60% con respecto al módulo de elasticidad promedio obtenido a partir de los 18 puntos de interés. A su vez el módulo de rotura resulta 48 Kg/cm², es decir tiene un incremento del 17% con respecto al valor obtenido mediante el análisis de los 18 puntos de interés. Lo que rectifica que la muestra de 18 puntos de interés con respecto a la totalidad de los puntos no es lo suficientemente representativa.

5.2 Recomendaciones

Al finalizar el proyecto de titulación se dan las siguientes recomendaciones:

- Al momento de realizar el ensayo con el FWD, se recomienda evitar losas con avanzado nivel de deterioro, evitar vibraciones, oscilaciones y cargas externas ajenas al deflectómetro de impacto.
- Se recomienda realizar muestreos destructivos representativos para la evaluación estructural y para posibles correlaciones con técnicas no destructivas.
- Al momento de analizar pavimentos de estructura compuesta como el whitetopping, se recomienda revisar apropiadamente la bibliografía existente, ya que, al tratarse de pavimentos con estructuras especiales, su análisis discrepa con respecto a los llamados pavimentos convencionales.
- Para aplicar las técnicas de retrocálculo en pavimentos whitetopping se recomienda tomar en cuenta diversas consideraciones como: analizar modelos de estructuras comunes, es decir, considerar al pavimento con distintas características y propiedades, que estén dentro de los rangos típicos, además de utilizar programas computacionales donde se puedan simular las estructuras propuestas.
- Para futuras investigaciones sería conveniente analizar otras vías de iguales características mediante el método de la distancia crítica, con ello se buscaría la validación del mismo, convirtiéndolo en una opción fiable, al momento de evaluar pavimentos de estructura compuesta.



Bibliografía

AASHTO, ed. Guide for Design of Pavement Structures. AASHTO, Washington, D.C., 1993. ISBN 978-1-56051-055-0. Recuperado de: <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>.

Abad, Luis., & Sangurima, Álvaro. (2018). *Análisis de Correlación del Desempeño Estructural y Funcional de la Vía Cuenca - Molleturo - Naranjal, en el Tramo Puente Tamarindo - Jesús María* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador.

ACPA. (2019). American Concrete Pavement Association. Rosemont, IL 60018, EE. UU. <http://www.acpa.org/>

Ahlvin, R.G., and, H.H. Ulery. (1962) "Tabulated Values for Determining the Completer Pattern of Stresses, Strains, and Deflections Beneath a Uniform Circular Load on a Homogeneous Half Space." Highway Research Board Bulletin, NO 342, PP 1-13.

Alfonso Montejó Fonseca. Ingeniería de pavimentos. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2006. ISBN 978-958-97617-8-6.

ASTM C78. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). ASTM International, West Conshohocken, PA. Recuperado de: https://kupdf.net/download/astm-c78_59f9b4f2e2b6f5832c26b0f9_pdf

ASTM D4694. Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device. Inf. tec., American Society Testing for Materials, West Conshohocken, PA, 1996.

Avila E, Albarracin F. (2014). Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. Caso de estudio: Via Chicti – Sevilla de Oro. Tesis previo obtención de título de ingeniero civil. Universidad de Cuenca. Cuenca- Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5309>

Barrios, G. (2012). Análisis de correlación, entre los resultados obtenidos por los estudiantes de la Facultad de Agronomía del campus central de la Universidad de San Carlos, en las pruebas específicas y el promedio obtenido por los mismos, en el primer semestre del área común. Tesis de Pregrado Guatemala. Recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_4088.pdf

Brito, R., & Alejandro, C. (2011). Análisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos. Cuenca – Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/3033>.

Calo, D. (2014). Jornada de Actualización Técnica. Diseño de Juntas. Buenos Aires – Argentina, Recuperado 18 de junio de 2018, de <http://docplayer.es/65049465-Jornadas-de-actualizacion-tecnica-diseno-de-juntas-ing-diego-h-calo-coordinador-departamento-tecnico-de-pavimentos.html>.



Carlos Hernando Higuera Sandoval 2009 Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3856618.pdf+%&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

Crespo, R. Ruiz, J (2001). Evaluación estructural de firmes de carreteras-el area de deflexiones. AEPO S.A, Ingenieros Consultores. Madrid – España. Recuperado de: <https://docplayer.es/27966852-Evaluacion-estructural-de-firmes-de-carreteras-el-area-del-cuenca-de-deflexiones-el-modulo-de-la-explanada.html>

Díaz, J.(Sin fecha), Cálculo de pavimentos a partir de ensayos no destructivos. Tesis de postgrado Sevilla – España. Recuperado de: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70601/fichero/trabajo_fin_master_completo.pdf

Douglas C. Montgomery y George C. Runger. Applied statistics and probability for engineers. Wiley, Hoboken, NJ, 5th edition., 2011. ISBN 978-0-470-05304-1.

ECUATEST CIA. LTDA. (2014). Estudios para la evaluación funcional y estructural - determinación del IRI y la macro textura, medición de deflexiones, espesores de las capas del pavimento y nivel de fisuración de las losas del pavimento rígido de la carretera Zhud - Biblián. Biblián – Ecuador.

Eduardo Orell. Rehabilitación de pavimentos asfálticos con capas delgadas de hormigón "Whitotopping". Tesis Doctoral, Universidad Austral de Chile, Valdivia - Chile, 2009. Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficio.66r/>

Elias Jiménez Sánchez. Evaluación Estructural no Destructiva de Pavimentos. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Chihuahua, Sanfandila, 1998. Recuperado de: <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt107.pdf>.

ELMDOD (Version 6) [software]. (2016). USA: DYNATEST CONSULTING. Recuperado de: <https://www.dynatest.com/elmod-software>

Guillén, R. (2009). Metodología y aplicación del deflectómetro de impacto (FWD) en pavimentos flexibles, caso practico: Carretera abanca y chalhuanca. 2009. Lima – Peru. Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4250>

Gutiérrez Colmenares, E. (2012). Whitotopping - Una alternativa de rehabilitación, Volumen 4. Bucaramanga – Colombia. Recuperado de: <https://docplayer.es/16518430-Whitotopping-una-alternativa-de-rehabilitacion.html>.

Haifang Wen, Xiaonjun Li, y Wilfung Martono. Performance Assessment of Wisconsin's Whitotopping and Ultra-thin Whitotopping Projects. Informe Tecnico 10-03, Departament of Clvil and Environmental Engineering Washington State University, Wisconsin, 2010. Recuperado de: <http://wisconsindot.gov/documents2/research/08-10-final-report.pdf>



Hidalgo e Hidalgo S.A. (2019). HeH Constructores. Quito, Ecuador Recuperado de: <http://www.heh.com.ec/>

Huang, Yang H., (2004). "Pavement Analysis and Design (second edition)." University of Kentucky

Hugo Rondon y Fredy Reyes. Pavimentos. Materiales, construcción y diseño. Macro - Ecoe ediciones, Bogotá, Colombia, primera ed^{on}., 2015. ISBN 978-612-304-263-9.

Juan Casia Boza. Evaluación Estructural de Pavimentos Flexibles usando el Deflectometro de Impacto en la Carretera Tarma - La Merced. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo - Perú, 2015. Recuperado de:

http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/413/TCIV_22.pdf?sequence=1&isAllowed=y

INVIAS. (2002). Valores típicos de módulos de capas de pavimentos. [Tabla]. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/>

Kosmatka, S., Kerkho, B., & Panarese, W. (2006). Design and Control of Concrete Mixtures. PCA, 14th edición.

Llanovarcad, M. (2014). Utilización del método whitetopping ultra delgado para la rehabilitación de pavimentos asfálticos tramo La Paz- Cotapata. 1st ed. [ebook] La Paz: Miguel Llanovarcad, p.1. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/261891156/Trabajo-de-Grado-WHITETOPPING>

Love, A. E. H. (1927). A treatise on the mathematical theory of elasticity, Cambridge University Press, London.

Mario S. Hoffman. A direct method for evaluating the structural needs of flexible pavements based of FWD deflections. Technical report. Transportation Research Record. Haifa, Israel, 2003. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/268589149_A_Best-Fit_Rigid_Pavement_Back-Calculation_Algorithm_Using_Site-Specific_Deflections

Maylin Corros, Ernesto Urbáez, y Gustavo Corredor. Manual de Evaluación de Pavimentos. "Maestría en vías terrestres. Modulo III. Diseño de pavimentos I. Evaluación de Pavimentos. 2009. Recuperado de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-evaluacion1.pdf>

Montejo, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para carreteras. Bogotá, D.C - Colombia. Recuperado de: https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_-_Alfonso_Montejo_Fonseca

Montejo, A. (2011). Ingeniería de pavimentos 3ra. Edición. Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C – Colombia. Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?id=zCjLtAEACAAJ>.

Morales, J. (2004). Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo.. Piura – Perú. Recuperado de: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1343>



MTOP Ecuador. (2015). La vía Zhud – Biblián reconstruida al 100% presta un excelente servicio al tránsito y transporte terrestre. Recuperado 1 de febrero de 2018, de: <https://www.obraspublicas.gob.ec/la-via-zhud-biblian-reconstruida-al-100-presta-un-excelente-servicio-al-transito-y-transporte-terrestre/>

MTOP Ecuador. (2017). Estudios de validación de los resultados obtenidos en el estudio de evaluación funcional y estructural del pavimento del tramo Biblián – Zhud de la vía E35 de la provincia del Cañar, realizado por Ecuatest en el año 2014, mediante la ejecución de ensayos in situ y en laboratorio, y determinación de las posibles causas del deterioro prematuro del pavimento. Recuperado de: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/LOTAIP_7_ESTUDIOS-ZHUD_BIBLIAN.pdf

NEVI (2013). Norma Ecuatoriana Vial. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. Recuperado de: <https://www.obraspublicas.gob.ec/>

Peter Schmalzer. LTPP Manual for Falling Weight Deectometer Measurements, Version 4.1. Inf. T_ec. FHWA-HRT-06-132, U.S Department of Transportation, Washington, D.C., 2009. Recuperaado de: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/06132/06132.pdf>

Resolución directoral N° 09-2014-MTC/14. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Republica de Perú. Recuperado de: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_8%20IV-2014_2015.pdf

Ruz, J. (2006). Aplicación en Chile de los Pavimentos Delgados de Hormigón. Universidad de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ruzj/sources/ruz_j.pdf

SHRP-LTPP Manual for FWD Testing: Operational Field Guidelines, Version 1.0. SHRP, Washington, D.C., Jan. 1989.

Zarate, J. (2019). Plan de mantenimiento vial para la vía Biblián – Zhud, en los tramos de pavimento rígido. Tesis de Postgrado Cuenca-Ecuador: Juan Pablo Zarate, p.1. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32164>



ANEXOS



ANEXO A



RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA PARA EL CARRIL DERECHO



ABSCISA	D1 (um)	D2 (um)	D3 (um)	D4 (um)	D5 (um)	D6 (um)	D7 (um)	D8 (um)	D9 (um)	CARGA (KPa)	CARGA (KN)	T AIRE (°C)	T SUP(°C)	T MAN. (°C)	T. PULS (ms)
0+501	230	213	187	191	163	143	119	91	80	868	61	10	19	20	30
0+904	116	102	92	104	91	83	75	57	54	855	60	10	19	24	30
1+299	144	127	112	118	100	87	76	57	54	853	60	11	20	27	30
1+704	128	110	96	103	84	72	62	45	42	867	61	12	21	31	30
2+101	121	104	91	93	73	62	51	34	30	861	61	13	20	34	30
2+502	241	208	181	152	102	67	48	28	23	863	61	15	21	37	30
2+905	148	130	112	114	89	75	63	44	40	856	60	15	22	40	30
3+298	171	153	134	142	120	105	92	68	62	852	60	15	22	44	30
3+700	129	107	92	87	64	49	36	21	19	857	61	17	23	47	30
4+104	117	100	88	90	71	59	48	31	28	876	62	22	23	50	30
4+500	153	133	114	114	92	78	65	46	42	868	61	18	24	53	30
4+903	145	128	111	114	97	87	73	51	49	864	61	24	25	57	30
5+304	153	129	111	111	88	74	61	42	39	861	61	20	25	60	30
5+701	92	78	68	73	58	49	40	26	24	870	61	21	25	63	30
6+102	84	69	60	64	49	42	35	21	21	842	60	24	27	66	30
6+504	156	127	106	100	76	62	50	34	32	894	63	20	25	70	30
6+900	127	110	97	100	81	67	55	36	32	848	60	20	26	73	30
7+303	178	157	136	133	104	84	66	43	38	844	60	24	27	76	30
7+700	141	126	111	114	92	75	58	38	34	840	59	24	28	79	30
8+103	456	371	298	231	157	111	78	50	42	873	62	14	21	84	30
8+301	320	260	214	168	112	79	56	33	30	901	64	16	22	85	30
8+702	315	260	216	187	137	104	80	54	46	856	61	15	22	88	30
9+100	324	289	249	239	192	159	129	95	81	863	61	15	22	92	30
25+300	138	121	106	107	85	69	54	35	30	856	60	18	23	93	29
25+698	669	601	512	454	346	256	185	122	95	889	63	17	22	97	30
26+101	346	282	227	193	149	124	102	73	65	860	61	19	23	100	30
26+499	232	204	176	174	139	116	93	67	61	852	60	20	22	103	30
26+902	214	196	172	176	148	124	100	73	62	862	61	18	21	106	30
27+300	143	124	108	117	100	89	77	57	54	874	62	19	20	110	30
27+701	173	154	136	146	126	111	94	71	65	867	61	19	20	113	29
28+101	150	131	114	118	97	83	68	49	43	870	62	15	21	116	29
28+502	190	169	148	153	132	116	98	76	69	874	62	18	21	120	30
28+901	253	223	191	181	141	113	86	59	49	867	61	18	20	123	30
29+303	183	159	136	134	108	89	71	52	47	871	62	17	20	126	29
29+702	236	205	176	178	148	128	105	80	72	869	61	19	19	129	29
30+100	205	182	160	164	138	121	100	76	69	868	61	15	18	133	30
30+502	255	211	178	165	131	110	93	69	63	920	65	12	17	136	30
30+901	141	120	103	104	83	72	58	41	38	875	62	10	16	139	29
31+300	135	115	98	100	82	71	59	41	40	905	64	10	15	142	30
31+700	372	320	268	244	193	156	122	91	78	870	62	10	16	146	30
32+101	278	233	196	173	128	97	71	47	41	877	62	9	15	149	29
32+504	138	123	108	116	101	91	78	61	56	886	63	10	16	152	30
32+901	123	100	85	91	75	67	56	40	39	879	62	11	14	155	29
33+101	88	67	57	49	34	25	19	8	9	883	62	12	14	156	29
33+705	171	144	123	121	97	82	66	47	44	879	62	5	13	162	29
34+102	149	118	98	87	64	50	38	24	22	876	62	4	13	165	29
34+503	153	129	108	107	87	76	64	48	46	875	62	5	13	169	29



34+900	107	91	79	90	78	73	64	49	49	867	61	6	13	172	29
35+300	99	82	71	79	68	64	55	42	42	866	61	6	13	175	29
35+700	127	108	93	99	84	74	62	45	42	877	62	4	13	178	29
36+101	139	119	102	105	88	79	67	51	49	873	62	5	13	182	29
36+500	82	67	58	63	53	46	38	27	25	877	62	4	12	185	29
36+903	117	98	84	86	69	58	45	30	26	865	61	4	13	188	29
37+300	118	102	88	98	86	79	68	53	51	875	62	5	13	191	29
37+701	93	79	69	79	68	63	54	40	40	865	61	4	13	195	29
38+103	197	173	148	149	125	108	89	68	62	860	61	4	13	198	29
38+503	202	166	136	118	83	66	47	31	29	870	62	3	13	201	29
38+904	141	124	107	116	99	90	75	58	53	865	61	3	13	204	29
39+303	97	80	68	73	62	57	47	35	35	858	61	2	12	208	29
39+703	107	87	73	78	65	59	47	34	34	857	61	2	12	211	29
40+100	165	147	124	120	95	80	64	49	46	856	61	3	13	214	29
40+500	94	79	69	76	62	55	48	33	33	853	60	4	15	218	30
40+904	77	64	56	63	52	44	37	24	23	842	60	5	15	221	30
41+301	74	60	54	66	56	53	49	35	36	862	61	5	15	224	30
41+699	92	79	71	86	74	68	60	43	43	835	59	5	16	227	30
42+100	122	105	92	102	85	75	65	46	45	836	59	6	16	231	30
42+498	163	151	132	135	109	92	77	55	50	844	60	6	17	234	30
42+901	125	108	96	109	93	84	74	55	53	837	59	7	16	237	30
43+501	137	121	107	116	98	86	73	53	48	835	59	7	17	240	30
43+901	109	94	83	93	78	68	59	40	39	836	59	7	18	244	30
44+298	109	93	82	97	84	75	70	52	51	834	59	8	18	247	30
44+700	93	81	72	84	72	66	59	43	42	841	59	9	18	250	30
45+102	94	80	71	82	68	62	55	39	39	837	59	9	18	253	30
45+500	108	92	79	85	69	61	53	37	37	845	60	10	19	257	30
45+901	91	77	68	74	58	50	43	28	28	839	59	10	20	260	30
46+301	57	45	40	45	34	28	24	12	13	834	59	11	20	263	30
46+699	66	55	49	47	33	25	20	9	9	846	60	11	20	267	30
48+302	92	78	70	80	67	58	52	35	34	841	59	13	21	270	30
48+701	77	64	57	65	53	46	40	27	25	844	60	12	21	273	30
49+102	86	73	66	78	67	61	54	38	38	838	59	13	22	276	30
49+502	93	81	73	91	81	78	71	55	54	861	61	13	22	280	30
49+901	102	89	79	84	68	58	48	32	30	834	59	14	22	283	30
50+300	103	89	80	90	75	67	55	40	39	834	59	14	23	286	30
50+702	96	82	73	77	61	52	42	27	26	841	59	16	24	289	30
51+101	165	147	129	139	118	103	89	65	62	837	59	15	24	293	30
51+500	87	67	58	65	52	47	41	26	27	841	59	16	24	296	30
51+898	78	65	57	66	54	49	43	28	28	844	60	16	25	299	30
52+301	257	217	179	162	122	97	80	54	48	851	60	18	27	302	30
52+699	141	121	104	102	78	64	50	32	30	829	59	18	25	306	30
53+101	152	134	116	116	91	75	60	40	36	871	62	17	25	309	30
53+500	137	122	107	111	91	77	65	45	41	836	59	18	25	312	30



RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA PARA EL CARRIL IZQUIERDO



ABSCISA	D1 (um)	D2 (um)	D3 (um)	D4 (um)	D5 (um)	D6 (um)	D7 (um)	D8 (um)	D9 (um)	CARGA (KPa)	CARGA (KN)	T AIRE (°C)	T SUP(°C)	T MAN. (°C)	T. PULS (ms)
0+006	128	111	96	97	78	66	52	37	33	878	62	9	18	20	27
0+400	118	97	86	90	76	67	55	41	39	854	60	10	18	20	27
0+799	140	125	111	115	95	88	75	57	53	842	59	11	19	23	27
1+200	93	78	68	74	62	55	45	31	29	837	59	15	21	26	27
1+601	116	100	88	89	73	62	51	37	35	835	59	17	21	30	27
1+998	103	89	77	80	65	57	47	33	32	831	59	18	22	33	27
2+399	116	101	90	93	76	64	50	34	30	894	63	17	22	36	27
2+802	88	75	66	71	58	52	42	29	26	858	61	20	23	39	27
3+198	121	105	92	98	82	72	60	43	41	850	60	20	23	43	27
3+599	111	95	83	79	59	45	32	18	14	840	59	24	23	46	27
4+000	108	93	83	85	70	59	47	32	28	830	59	21	24	49	27
4+401	83	69	61	66	55	48	41	29	28	826	58	19	23	53	27
4+800	111	97	86	92	77	68	57	40	37	836	59	22	22	56	27
5+198	119	104	93	99	84	73	61	44	41	882	62	21	23	59	28
5+599	101	86	76	84	71	64	54	40	34	853	60	20	23	62	27
6+002	96	83	75	78	63	54	45	31	27	886	63	26	26	66	27
6+398	106	91	82	85	69	55	46	31	27	835	59	21	25	69	27
6+805	108	95	80	87	71	60	47	28	27	816	58	20	24	72	27
7+200	175	157	137	137	111	89	72	50	45	826	58	17	22	75	27
7+597	158	139	123	121	95	77	61	39	35	864	61	16	22	79	28
8+003	207	190	169	169	140	116	92	64	56	843	60	18	22	82	27
8+398	166	149	130	122	93	71	56	35	30	831	59	14	22	85	27
8+812	191	168	146	144	115	94	74	50	93	831	59	15	22	88	28
9+202	168	154	138	144	122	103	85	62	32	821	58	16	23	91	27
25+002	163	147	130	137	113	95	79	55	50	856	61	27	27	94	28
25+403	144	126	110	112	90	76	61	43	40	817	58	19	26	97	28
25+801	136	120	106	111	91	77	63	44	39	828	59	17	25	101	28
26+200	219	193	165	156	122	97	75	51	44	844	60	16	25	104	27
26+605	293	261	223	217	177	145	117	84	74	827	58	15	24	107	28
27+002	137	120	106	111	93	80	65	46	41	889	63	15	24	111	28
27+400	151	135	119	128	112	101	84	66	61	859	61	7	16	114	29
27+798	233	218	183	182	157	139	117	91	55	850	60	8	17	117	29
28+202	141	125	109	114	97	85	69	54	29	867	61	9	16	120	29
28+604	174	157	137	139	116	99	79	59	52	860	61	9	17	124	29
28+998	154	138	123	129	110	95	76	56	50	852	60	9	17	127	29
29+400	114	99	87	95	81	74	60	45	42	861	61	8	16	130	29
29+798	153	134	116	120	101	86	70	50	43	864	61	9	17	133	29
30+197	181	162	140	139	110	91	68	45	32	863	61	8	16	137	29
30+598	215	195	169	167	137	115	92	68	48	859	61	9	16	140	29
30+999	107	93	83	89	75	66	55	38	31	864	61	8	16	143	29
31+397	99	85	76	85	73	66	54	39	36	859	61	8	16	146	29
31+799	151	136	120	128	109	94	77	57	49	862	61	8	15	150	29
32+200	117	101	88	92	74	66	56	40	39	867	61	9	15	153	29
32+599	81	68	61	73	63	60	53	40	39	858	61	9	15	156	29
33+000	86	72	64	76	66	62	55	40	39	862	61	10	16	160	29
33+402	77	63	55	58	45	38	29	17	17	862	61	10	16	163	29
33+800	108	93	83	87	73	60	47	31	28	856	61	9	16	166	29
34+600	151	136	123	121	99	81	61	39	34	873	62	18	20	173	29
35+000	179	161	145	140	111	88	65	41	34	858	61	18	20	177	29
35+400	61	49	44	56	50	48	39	29	30	869	61	9	15	181	29
35+798	130	113	99	108	93	84	71	55	52	866	61	11	15	184	29
36+198	89	77	68	83	75	71	63	49	50	874	62	12	16	187	29
36+606	89	75	67	72	60	53	42	29	27	873	62	12	16	191	29



36+997	87	75	67	79	69	64	55	41	40	876	62	14	17	194	29
37+399	59	46	41	46	38	34	27	18	18	871	62	15	16	197	29
37+800	109	94	82	93	80	73	62	46	44	876	62	18	17	200	29
38+199	104	84	73	81	69	63	53	39	39	882	62	12	16	204	29
38+601	91	70	59	60	47	41	31	19	19	878	62	12	16	207	29
39+002	87	73	65	72	60	53	44	30	30	874	62	12	16	210	29
39+398	113	97	87	102	90	83	72	54	53	897	63	10	16	213	29
39+802	93	78	70	73	58	48	37	23	20	879	62	9	16	217	29
40+198	102	86	75	79	64	56	46	32	29	877	62	6	15	220	29
40+603	81	66	59	66	55	51	43	30	30	877	62	10	17	223	29
41+000	83	70	63	75	65	61	52	38	38	867	61	9	16	227	29
41+400	132	120	106	127	116	109	98	80	77	863	61	22	19	230	29
41+803	121	104	94	112	102	97	88	71	69	871	62	15	18	233	29
42+200	110	95	84	93	80	74	65	49	50	877	62	13	17	236	29
42+595	82	70	63	70	58	52	43	29	28	870	62	12	17	240	29
43+000	121	105	92	99	82	72	63	44	42	871	62	13	18	243	29
43+397	83	71	63	73	63	59	52	38	39	870	62	13	18	246	30
43+800	121	105	92	100	85	76	66	49	47	875	62	11	19	249	29
44+200	134	117	102	104	84	73	60	42	40	898	63	16	20	253	30
44+600	97	86	77	97	88	86	78	62	63	903	64	15	20	256	30
45+000	118	105	94	104	88	78	67	49	46	868	61	20	20	259	29
45+397	82	71	65	80	70	67	60	46	47	881	62	16	21	262	30
45+805	83	70	62	69	57	50	42	29	29	873	62	10	20	266	30
46+201	91	76	67	71	56	47	37	23	21	878	62	9	19	269	30
48+399	118	103	92	102	86	77	65	47	43	865	61	19	23	276	30
48+810	90	77	69	78	66	60	51	37	36	853	60	16	23	279	29
49+200	95	80	71	79	66	58	49	34	33	862	61	25	23	282	29
49+599	92	78	69	76	63	56	48	33	31	853	60	21	23	285	30
49+998	86	72	64	72	60	54	47	32	32	861	61	24	23	289	30
50+400	173	157	136	140	117	101	86	64	58	872	62	19	23	292	30
50+796	172	140	117	111	86	72	60	42	40	869	61	20	23	295	30
51+208	96	79	70	74	59	51	45	28	29	862	61	23	22	298	30
51+598	89	73	65	75	63	57	50	35	34	849	60	20	23	302	30
52+000	133	118	104	117	100	90	79	58	55	853	60	20	23	305	30
52+207	84	69	60	66	53	46	39	26	26	850	60	22	24	307	30
52+600	209	187	162	168	102	89	75	52	49	866	61	22	25	310	30
53+001	95	81	72	76	60	50	38	26	25	862	61	23	25	314	30
53+401	86	68	59	63	49	41	34	21	21	839	59	21	23	317	30
53+773	119	105	93	105	91	84	74	57	55	857	61	21	25	320	30



ANEXO B



RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA CORREGIDA PARA EL CARRIL DERECHO



ABSCISA	D1 (um)	D2 (um)	D3 (um)	D4 (um)	D5 (um)	D6 (um)	D7 (um)	D8 (um)	D9 (um)	CARGA (KPa)
0+501	150	139	122	119	106	93	78	59	52	40
0+904	77	68	61	61	60	55	50	38	36	40
1+299	95	84	74	72	66	58	50	38	36	40
1+704	84	72	63	61	55	47	40	29	27	40
2+101	80	68	60	57	48	41	34	22	20	40
2+502	158	136	119	100	67	44	31	18	15	40
2+905	98	86	74	71	59	50	42	29	26	40
3+298	114	102	89	87	80	70	61	45	41	40
3+700	85	71	61	57	42	32	24	14	13	40
4+104	76	65	57	54	46	38	31	20	18	40
4+500	100	87	74	74	60	51	42	30	27	40
4+903	95	84	73	71	64	57	48	33	32	40
5+304	101	85	73	73	58	49	40	28	26	40
5+701	60	51	44	43	38	32	26	17	16	40
6+102	56	46	40	39	33	28	24	14	14	40
6+504	99	80	67	63	48	39	32	22	20	40
6+900	85	73	65	62	54	45	37	24	21	40
7+303	119	105	91	89	70	56	44	29	25	40
7+700	95	85	75	72	62	51	39	26	23	40
8+103	296	241	193	150	102	72	51	32	27	40
8+301	201	163	134	106	70	50	35	21	19	40
8+702	208	172	143	124	91	69	53	36	30	40
9+100	212	189	163	157	126	104	85	62	53	40
25+300	91	80	70	67	56	46	36	23	20	40
25+698	426	383	326	289	220	163	118	78	60	40
26+101	228	186	149	127	98	82	67	48	43	40
26+499	154	136	117	116	92	77	62	45	41	40
26+902	141	129	113	110	97	81	66	48	41	40
27+300	93	80	70	69	65	58	50	37	35	40
27+701	113	101	89	87	82	72	61	46	42	40
28+101	98	85	74	72	63	54	44	32	28	40
28+502	123	109	96	93	86	75	63	49	45	40
28+901	165	146	125	118	92	74	56	39	32	40
29+303	119	103	88	87	70	58	46	34	31	40
29+702	154	134	115	111	96	83	68	52	47	40
30+100	134	119	104	101	90	79	65	50	45	40
30+502	157	130	109	101	81	68	57	42	39	40
30+901	91	78	67	64	54	47	37	27	25	40
31+300	84	72	61	59	51	44	37	26	25	40
31+700	242	208	174	159	126	101	79	59	51	40
32+101	179	150	127	112	83	63	46	30	26	40
32+504	88	79	69	68	64	58	50	39	36	40
32+901	79	64	55	53	48	43	36	26	25	40
33+101	105	89	75	75	61	52	42	30	26	40
33+705	110	93	79	78	62	53	42	30	28	40
34+102	96	76	63	56	41	32	25	15	14	40



34+503	99	83	70	69	56	49	41	31	30	40
34+900	70	59	52	52	51	48	42	32	32	40
35+300	65	54	46	46	44	42	36	27	27	40
35+700	82	70	60	59	54	48	40	29	27	40
36+101	90	77	66	64	57	51	43	33	32	40
36+500	53	43	37	37	34	30	25	17	16	40
36+903	77	64	55	53	45	38	29	20	17	40
37+300	76	66	57	57	56	51	44	34	33	40
37+701	61	52	45	45	44	41	35	26	26	40
38+103	130	114	97	94	82	71	59	45	41	40
38+503	131	108	88	77	54	43	31	20	19	40
38+904	92	81	70	69	65	59	49	38	35	40
39+303	64	53	45	44	41	38	31	23	23	40
39+703	71	57	48	47	43	39	31	22	22	40
40+100	109	97	82	79	63	53	42	32	30	40
40+500	62	52	46	44	41	36	32	22	22	40
40+904	52	43	38	37	35	30	25	16	15	40
41+301	49	39	35	35	37	35	32	23	24	40
41+699	62	54	48	47	50	46	41	29	29	40
42+100	83	71	62	61	58	51	44	31	30	40
42+498	109	101	89	85	73	62	52	37	34	40
42+901	85	73	65	64	63	57	50	37	36	40
43+501	93	82	73	71	66	58	49	36	33	40
43+901	74	64	56	56	53	46	40	27	26	40
44+298	74	63	56	56	57	51	47	35	35	40
44+700	63	55	48	48	48	44	40	29	28	40
45+102	64	54	48	47	46	42	37	26	26	40
45+500	72	62	53	52	46	41	35	25	25	40
45+901	61	52	46	44	39	34	29	19	19	40
46+301	39	31	27	26	23	19	16	8	9	40
46+699	44	37	33	31	22	17	13	6	6	40
48+302	62	53	47	46	45	39	35	24	23	40
48+701	52	43	38	38	36	31	27	18	17	40
49+102	58	49	45	45	45	41	36	26	26	40
49+502	61	53	48	47	44	41	36	27	11	40
49+901	69	60	54	52	46	39	33	22	20	40
50+300	70	60	54	54	51	45	37	27	26	40
50+702	65	55	49	47	41	35	28	18	18	40
51+101	112	99	87	86	80	70	60	44	42	40
51+500	59	45	39	38	35	32	28	17	18	40
51+898	52	44	38	38	36	33	29	19	19	40
52+301	171	144	119	108	81	65	53	36	32	40
52+699	96	83	71	70	53	44	34	22	20	40
53+101	99	87	75	75	59	49	39	26	23	40
53+500	93	83	72	70	62	52	44	30	28	40



RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA CORREGIDA PARA EL CARRIL IZQUIERDO



ABSCISA	D1 (um)	D2 (um)	D3 (um)	D4 (um)	D5 (um)	D6 (um)	D7 (um)	D8 (um)	D9 (um)	CARGA (KPa)
0+006	83	72	62	59	50	43	34	24	21	40
0+400	78	64	57	56	50	44	36	27	26	40
0+799	94	84	75	72	64	59	50	38	36	40
1+200	63	53	46	45	42	37	30	21	20	40
1+601	79	68	60	58	49	42	35	25	24	40
1+998	70	61	52	50	44	39	32	22	22	40
2+399	73	64	57	55	48	40	32	22	19	40
2+802	58	49	44	42	38	34	28	19	17	40
3+198	81	70	61	60	55	48	40	29	27	40
3+599	75	64	56	53	40	30	22	12	9	40
4+000	74	63	57	55	48	40	32	22	19	40
4+401	57	47	42	41	38	33	28	20	19	40
4+800	75	66	58	57	52	46	39	27	25	40
5+198	76	67	60	58	54	47	39	28	26	40
5+599	67	57	50	50	47	42	36	27	23	40
6+002	61	53	48	46	40	34	29	20	17	40
6+398	72	62	56	54	47	37	31	21	18	40
6+805	75	66	55	54	49	42	33	19	19	40
7+200	120	108	94	94	76	61	49	34	31	40
7+597	104	91	81	79	62	50	40	26	23	40
8+003	139	128	113	113	94	78	62	43	38	40
8+398	113	102	89	83	63	48	38	24	20	40
8+812	130	114	99	95	78	64	50	34	63	40
9+202	116	106	95	92	84	71	59	43	22	40
25+002	108	97	86	83	75	63	52	36	33	40
25+403	100	87	76	73	62	53	42	30	28	40
25+801	93	82	72	70	62	53	43	30	27	40
26+200	147	129	111	105	82	65	50	34	30	40
26+605	201	179	153	149	121	99	80	58	51	40
27+002	87	76	67	66	59	51	41	29	26	40
27+400	99	89	78	77	74	67	55	43	40	40
27+798	155	145	122	121	105	93	78	61	37	40
28+202	92	82	71	69	63	55	45	35	19	40
28+604	114	103	90	87	76	65	52	39	34	40
28+998	102	92	82	80	73	63	50	37	33	40
29+400	75	65	57	57	53	49	39	30	28	40
29+798	100	88	76	74	66	56	46	33	28	40
30+197	119	106	92	91	72	60	45	30	21	40
30+598	142	128	111	110	90	76	61	45	32	40
30+999	70	61	54	53	49	43	36	25	20	40
31+397	65	56	50	49	48	43	36	26	24	40
31+799	99	89	79	78	72	62	51	37	32	40
32+200	76	66	57	55	48	43	37	26	25	40
32+599	53	45	40	40	42	40	35	26	26	40
33+000	56	47	42	42	43	41	36	26	26	40
33+402	51	41	36	35	30	25	19	11	11	40
33+800	71	61	55	54	48	40	31	20	19	40
34+600	98	88	80	78	64	53	40	25	22	40



35+000	118	106	96	92	73	58	43	27	22	40
35+400	40	32	29	27	33	31	25	19	20	40
35+798	85	74	65	64	61	55	46	36	34	40
36+198	58	50	44	43	49	46	41	32	32	40
36+606	58	49	43	42	39	34	27	19	18	40
36+997	56	48	43	43	45	41	36	26	26	40
37+399	38	30	27	26	25	22	18	12	12	40
37+800	70	61	53	53	52	47	40	30	28	40
38+199	67	54	47	46	44	40	34	25	25	40
38+601	59	45	38	36	30	26	20	12	12	40
39+002	56	47	42	41	39	34	28	19	19	40
39+398	71	61	55	55	57	52	45	34	33	40
39+802	60	50	45	43	37	31	24	15	13	40
40+198	66	55	48	47	41	36	30	21	19	40
40+603	52	43	38	37	35	33	28	19	19	40
41+000	54	46	41	41	42	40	34	25	25	40
41+400	87	79	69	69	76	71	64	52	50	40
41+803	79	68	61	60	66	63	57	46	45	40
42+200	71	61	54	54	52	48	42	32	32	40
42+595	53	46	41	40	38	34	28	19	18	40
43+000	79	68	60	58	53	47	41	29	27	40
43+397	54	46	41	41	41	38	34	25	25	40
43+800	78	68	60	58	55	49	43	32	30	40
44+200	84	74	64	62	53	46	38	26	25	40
44+600	61	54	48	46	55	54	49	39	40	40
45+000	77	68	61	41	57	51	44	32	30	40
45+397	53	46	42	40	45	43	39	30	30	40
45+805	54	45	40	40	37	32	27	19	19	40
46+201	59	49	43	42	36	30	24	15	14	40
48+399	77	67	60	60	56	50	43	31	28	40
48+810	60	51	46	45	44	40	34	25	24	40
49+200	62	53	47	46	43	38	32	22	22	40
49+599	61	52	46	45	42	37	32	22	21	40
49+998	57	47	42	41	39	35	31	21	21	40
50+400	112	102	88	86	76	66	56	42	38	40
50+796	112	91	76	72	56	47	39	27	26	40
51+208	63	52	46	45	39	33	30	18	19	40
51+598	59	49	43	43	42	38	33	23	23	40
52+000	88	78	69	68	66	60	52	38	37	40
52+207	56	46	40	39	35	31	26	17	17	40
52+600	137	122	106	97	67	58	49	34	32	40
53+001	62	53	47	45	39	33	25	17	16	40
53+401	58	46	40	38	33	28	23	14	14	40
53+773	79	69	61	61	60	55	49	38	36	40



ANEXO C



RESULTADOS DE LA MÉTODOLÓGÍA ASSHTO PARA EL CARRIL DERECHO



ABCISA	AREA 7 (ln ²)	I est (pci)	do*	K est (pci)	Afdo	AFI	Kdin (pci)	K estático (pci)	AREA (ln ²)	Ik (pci)	Kdin (pci)	Kest (pci)	EPCC (psi)	EPCC (MPa)	S`c (psi)	S`c (Kg/cm ²)
0+501	45	40	0.12	119	0.83	0.90	151	76	30	32	185	93	1700118	11722	562	40
0+904	47	46	0.12	174	0.79	0.87	243	122	30	33	347	173	3451585	23798	639	45
1+299	43	37	0.12	212	0.85	0.92	260	130	29	29	359	179	2177522	15013	583	41
1+704	41	34	0.12	297	0.87	0.94	347	173	28	26	494	247	2014222	13888	576	41
2+101	40	31	0.12	371	0.89	0.95	418	209	27	25	569	284	1922675	13256	572	40
2+502	33	23	0.12	334	0.94	0.98	350	175	25	21	402	201	690265	4759	519	36
2+905	40	31	0.12	291	0.89	0.95	330	165	27	25	446	223	1636027	11280	560	39
3+298	44	38	0.12	169	0.84	0.91	211	105	29	29	291	146	1865711	12864	570	40
3+700	35	25	0.12	516	0.93	0.98	550	275	26	22	696	348	1380484	9518	549	39
4+104	39	31	0.12	394	0.89	0.95	444	222	27	25	598	299	2026892	13975	577	41
4+500	40	31	0.12	288	0.89	0.95	327	163	27	25	438	219	1601038	11039	558	39
4+903	43	36	0.12	231	0.86	0.93	278	139	28	28	388	194	2007898	13844	576	40
5+304	39	29	0.12	320	0.90	0.96	356	178	27	24	481	240	1424790	9824	550	39
5+701	40	32	0.12	466	0.89	0.95	532	266	27	25	751	376	2587967	17843	601	42
6+102	39	30	0.12	570	0.90	0.96	635	317	26	23	918	459	2421963	16699	594	42
6+504	34	25	0.12	464	0.93	0.98	492	246	25	20	693	346	1016068	7006	533	37
6+900	41	32	0.12	313	0.88	0.94	361	180	28	26	479	239	2029816	13995	577	41
7+303	39	30	0.12	252	0.89	0.95	284	142	28	26	346	173	1432502	9877	551	39
7+700	41	34	0.12	260	0.87	0.94	304	152	28	28	369	184	2118675	14608	581	41
8+103	28	19	0.12	246	0.96	0.99	252	126	22	17	335	167	231232	1594	499	35
8+301	29	20	0.12	351	0.96	0.99	361	180	22	17	466	233	361363	2492	504	35
8+702	33	23	0.12	258	0.94	0.98	270	135	24	19	362	181	438855	3026	508	36
9+100	40	31	0.12	135	0.89	0.95	154	77	28	26	194	97	803865	5542	523	37
25+300	40	31	0.12	310	0.89	0.95	353	176	28	26	446	223	1902461	13117	571	40
25+698	36	26	0.12	93	0.92	0.97	101	50	26	23	122	61	316025	2179	502	35
26+101	32	22	0.12	244	0.95	0.99	255	127	23	18	375	188	350246	2415	504	35
26+499	40	31	0.12	185	0.89	0.95	210	105	28	26	264	132	1120148	7723	537	38
26+902	43	37	0.12	146	0.85	0.92	178	89	29	30	217	108	1639908	11307	560	39
27+300	43	37	0.12	224	0.85	0.92	273	136	28	27	405	203	2007654	13842	576	40
27+701	44	39	0.12	160	0.83	0.91	202	101	29	30	274	137	2017206	13908	576	41
28+101	41	33	0.12	263	0.88	0.94	305	152	28	26	416	208	1758277	12123	565	40
28+502	43	37	0.12	165	0.85	0.92	202	101	29	29	276	138	1690535	11656	562	40
28+901	38	29	0.12	206	0.91	0.96	227	114	27	25	282	141	909397	6270	528	37
29+303	39	30	0.12	260	0.90	0.96	291	145	27	25	381	190	1299047	8957	545	38
29+702	40	32	0.12	178	0.88	0.95	204	102	27	25	285	142	1037764	7155	534	38
30+100	42	36	0.12	166	0.86	0.93	199	99	28	28	267	133	1471409	10145	553	39
30+502	36	26	0.12	261	0.92	0.97	281	140	25	21	406	203	691233	4766	519	36
30+901	39	30	0.12	342	0.90	0.96	382	191	27	24	529	265	1593914	10990	558	39
31+300	40	31	0.12	352	0.89	0.95	397	198	27	24	579	289	1711145	11798	563	40
31+700	36	26	0.12	167	0.92	0.97	179	90	26	22	244	122	485920	3350	510	36
32+101	34	24	0.12	275	0.94	0.98	290	145	25	20	375	188	574195	3959	513	36
32+504	45	40	0.12	196	0.83	0.90	252	126	29	30	352	176	2590993	17864	601	42
32+901	39	30	0.12	399	0.90	0.96	445	223	26	23	698	349	1596817	11010	558	39
33+101	39	29	0.12	307	0.90	0.96	342	171	27	24	476	238	1330350	9172	546	38
33+705	38	29	0.12	309	0.91	0.96	341	170	27	23	464	232	1242900	8569	543	38
34+102	32	22	0.12	591	0.95	0.99	616	308	23	18	852	426	872058	6013	526	37
34+503	38	29	0.12	339	0.90	0.96	374	187	26	23	539	270	1317372	9083	546	38
34+900	44	39	0.12	264	0.84	0.91	332	166	28	28	531	265	2707042	18664	606	43



35+300	42	35	0.12	361	0.87	0.93	427	214	27	25	713	357	2320580	16000	589	41
35+700	41	33	0.12	305	0.87	0.94	356	178	27	25	533	267	1954689	13477	574	40
36+101	41	32	0.12	296	0.88	0.94	341	171	27	25	507	254	1703673	11746	563	40
36+500	40	31	0.12	534	0.89	0.95	608	304	27	24	947	473	2623832	18091	603	42
36+903	38	29	0.12	444	0.91	0.96	489	244	26	23	682	341	1722335	11875	563	40
37+300	44	39	0.12	238	0.83	0.91	301	151	28	28	467	233	2612675	18014	602	42
37+701	44	38	0.12	320	0.84	0.91	396	198	28	27	630	315	3000595	20688	619	44
38+103	41	32	0.12	204	0.88	0.94	235	118	27	25	333	167	1244815	8583	543	38
38+503	32	22	0.12	439	0.95	0.99	457	229	24	19	612	306	653071	4503	517	36
38+904	43	37	0.12	218	0.85	0.92	268	134	28	28	390	195	2134713	14718	581	41
39+303	40	32	0.12	436	0.89	0.95	498	249	27	23	794	397	2144725	14787	582	41
39+703	38	29	0.12	468	0.90	0.96	518	259	26	22	824	412	1671191	11522	561	39
40+100	39	30	0.12	284	0.90	0.96	318	159	27	25	414	207	1422586	9808	550	39
40+500	42	34	0.12	394	0.87	0.94	462	231	27	25	702	351	2595854	17898	601	42
40+904	41	33	0.12	486	0.87	0.94	565	283	27	25	844	422	3070720	21172	622	44
41+301	44	40	0.12	366	0.83	0.91	465	232	28	26	842	421	3473962	23952	640	45
41+699	47	46	0.12	216	0.79	0.87	302	151	29	31	480	240	3834512	26438	655	46
42+100	43	36	0.12	258	0.86	0.92	312	156	28	27	468	234	2179692	15028	583	41
42+498	43	37	0.12	189	0.85	0.92	231	115	29	31	276	138	2155027	14858	582	41
42+901	45	40	0.12	206	0.83	0.90	264	132	29	29	397	199	2459574	16958	595	42
43+501	44	38	0.12	208	0.84	0.91	258	129	29	29	349	175	2339475	16130	590	41
43+901	44	38	0.12	264	0.84	0.91	328	164	28	28	476	238	2705476	18654	606	43
44+298	46	43	0.12	210	0.81	0.89	279	140	29	29	444	222	2904314	20025	615	43
44+700	46	43	0.12	245	0.81	0.89	326	163	29	30	513	257	3467812	23910	639	45
45+102	44	38	0.12	304	0.84	0.91	377	189	28	27	589	295	2914932	20098	615	43
45+500	41	33	0.12	357	0.88	0.94	414	207	27	25	611	305	2212281	15253	585	41
45+901	41	33	0.12	423	0.88	0.94	490	245	28	26	693	347	2718597	18744	607	43
46+301	38	28	0.12	888	0.91	0.96	976	488	26	22	1462	731	3123485	21536	624	44
46+699	36	26	0.12	919	0.92	0.97	990	495	26	23	1170	585	3077155	21216	622	44
48+302	44	38	0.12	308	0.84	0.91	384	192	28	28	580	290	3157734	21772	626	44
48+701	42	35	0.12	438	0.86	0.93	521	261	28	26	790	395	3285813	22655	631	44
49+102	46	43	0.12	260	0.81	0.88	349	174	29	31	507	254	4147450	28596	669	47
49+502	45	40	0.12	284	0.83	0.90	364	182	29	30	512	256	3713040	25601	650	46
49+901	42	35	0.12	330	0.86	0.93	393	197	28	28	513	256	2886202	19900	614	43
50+300	44	39	0.12	270	0.84	0.91	338	169	29	30	459	229	3141140	21657	625	44
50+702	40	32	0.12	425	0.88	0.95	486	243	28	26	655	327	2534734	17476	599	42
51+101	44	39	0.12	169	0.84	0.91	211	106	29	29	291	145	1935103	13342	573	40
51+500	38	29	0.12	580	0.91	0.96	639	320	25	21	1068	534	1861428	12834	569	40
51+898	43	36	0.12	412	0.86	0.92	498	249	28	26	790	395	3285813	22655	631	44
52+301	34	24	0.12	270	0.93	0.98	286	143	25	20	395	197	597997	4123	515	36
52+699	38	29	0.12	354	0.91	0.96	391	195	27	24	493	246	1539724	10616	555	39
53+101	40	31	0.12	290	0.89	0.95	329	165	28	26	410	205	1748494	12055	565	40
53+500	42	35	0.12	245	0.86	0.93	292	146	28	28	389	195	2090800	14416	579	41



RESULTADOS DEL MÉTODO ASSHTO PARA EL CARRIL IZQUIERDO



ABSCISA	AREA 7 (ln ²)	I est (pci)	do*	K est (pci)	Afdo	AFI	Kdin (pci)	K estático (pci)	AREA (ln ²)	Ik (pci)	Kdin (pci)	Kest (pci)	EPCC (psi)	EPCC (MPa)	S'c (psi)	S'c (Kg/cm ²)
0+400	40	32	0.12	349	0.88	0.95	406	203	27	25	575	287	2002426	13806	576	40
0+799	44	38	0.12	211	0.85	0.92	400	200	29	29	344	172	2321004	16003	589	41
1+200	41	33	0.12	403	0.88	0.94	261	130	27	25	698	349	2528321	17432	598	42
1+601	41	32	0.12	342	0.88	0.95	469	234	28	26	525	262	2142855	14774	582	41
1+998	41	32	0.12	386	0.88	0.95	393	196	27	25	637	319	2242522	15462	586	41
2+399	42	34	0.12	332	0.87	0.94	443	221	28	28	493	246	2682666	18496	605	43
2+802	41	34	0.12	428	0.87	0.94	390	195	28	26	704	352	2964631	20440	617	43
3+198	42	35	0.12	282	0.86	0.93	500	250	28	27	477	239	2244553	15476	586	41
3+599	37	27	0.12	510	0.92	0.97	335	168	27	24	665	332	1866342	12868	570	40
4+000	41	33	0.12	347	0.88	0.94	553	277	28	27	517	259	2484313	17129	597	42
4+401	41	34	0.12	437	0.87	0.94	403	201	27	26	752	376	2871377	19797	613	43
4+800	43	37	0.12	272	0.85	0.92	510	255	29	29	460	230	2728011	18809	607	43
5+198	44	38	0.12	257	0.84	0.91	333	167	29	30	422	211	2899042	19988	615	43
5+599	43	37	0.12	311	0.85	0.92	319	159	28	27	564	282	2781182	19176	609	43
6+002	42	35	0.12	381	0.87	0.93	379	190	28	28	581	291	3258744	22468	630	44
6+398	41	33	0.12	348	0.87	0.94	452	226	28	28	511	255	2659578	18337	604	42
6+805	41	33	0.12	350	0.88	0.94	406	203	27	25	584	292	2134717	14718	581	41
7+200	41	34	0.12	208	0.87	0.94	404	202	29	29	285	142	1719916	11858	563	40
7+597	40	31	0.12	275	0.89	0.95	242	121	28	27	369	185	1762019	12149	565	40
8+003	43	37	0.12	147	0.85	0.92	312	156	30	32	198	99	1856389	12799	569	40
8+398	39	29	0.12	286	0.90	0.96	180	90	28	26	369	185	1487792	10258	553	39
8+812	40	31	0.12	228	0.89	0.95	318	159	28	26	327	164	1267367	8738	544	38
9+202	45	40	0.12	151	0.83	0.90	258	129	30	33	230	115	2291902	15802	588	41
25+002	43	37	0.12	190	0.85	0.92	193	97	29	30	294	147	2063116	14225	578	41
25+403	40	32	0.12	277	0.89	0.95	232	116	28	26	418	209	1677689	11567	561	39
25+801	42	35	0.12	250	0.87	0.93	317	158	28	28	389	195	2090800	14416	579	41
26+200	38	29	0.12	232	0.91	0.96	296	148	27	24	319	160	1013431	6987	533	37
26+605	40	31	0.12	142	0.89	0.95	256	128	28	26	206	103	841587	5803	525	37
27+002	42	35	0.12	259	0.86	0.93	162	81	28	28	409	204	2278795	15712	588	41
27+400	45	41	0.12	168	0.82	0.90	309	155	29	31	297	149	2428025	16741	594	42
27+798	44	38	0.12	129	0.85	0.92	218	109	29	30	208	104	1415934	9763	550	39
28+202	43	36	0.12	236	0.86	0.93	159	79	28	28	390	195	2134713	14718	581	41
28+604	42	35	0.12	198	0.86	0.93	285	142	29	29	298	149	1822973	12569	568	40
28+998	44	39	0.12	185	0.84	0.91	236	118	29	31	283	142	2401786	16560	593	42
29+400	43	37	0.12	271	0.85	0.92	232	116	28	28	467	234	2681222	18486	605	43
29+798	42	34	0.12	243	0.87	0.94	332	166	28	27	390	195	1803277	12433	567	40
30+197	40	32	0.12	236	0.89	0.95	285	142	28	27	320	160	1554452	10718	556	39
30+598	42	34	0.12	173	0.87	0.94	269	134	28	28	247	123	1415795	9762	550	39
30+999	43	37	0.12	293	0.85	0.92	202	101	29	29	494	247	2912017	20078	615	43
31+397	44	39	0.12	282	0.84	0.91	359	179	29	29	514	257	3251152	22416	630	44
31+799	45	40	0.12	181	0.83	0.91	356	178	29	31	289	145	2498878	17229	597	42
32+200	41	33	0.12	336	0.88	0.94	230	115	27	26	564	282	2153533	14848	582	41
32+599	46	44	0.12	272	0.80	0.88	391	195	29	30	609	304	4132109	28490	668	47
33+000	46	42	0.12	283	0.82	0.89	370	185	29	29	609	305	3691283	25451	649	46
33+402	38	28	0.12	684	0.91	0.96	374	187	26	23	1048	524	2554065	17610	600	42



33+800	42	34	0.12	333	0.87	0.93	751	375	28	28	494	247	2831590	19523	612	43
34+600	42	35	0.12	236	0.86	0.93	393	197	29	31	301	150	2448519	16882	595	42
35+000	41	33	0.12	224	0.88	0.94	280	140	29	29	276	138	1840441	12689	569	40
35+400	45	41	0.12	421	0.82	0.90	258	129	28	26	1016	508	4320970	29792	676	48
35+798	44	38	0.12	228	0.84	0.91	545	273	29	28	409	205	2385079	16445	592	42
36+198	48	49	0.12	207	0.78	0.85	283	142	29	30	532	266	3952443	27251	660	46
36+606	41	34	0.12	429	0.87	0.94	302	151	28	26	718	359	2904396	20025	615	43
36+997	47	45	0.12	248	0.80	0.87	501	251	29	31	529	264	4269514	29437	674	47
37+399	40	32	0.12	737	0.89	0.95	342	171	27	24	1302	651	3713189	25602	650	46
37+800	45	40	0.12	253	0.83	0.90	840	420	29	29	485	243	2966889	20456	618	43
38+199	41	32	0.12	401	0.88	0.94	323	161	27	24	750	375	2073042	14293	579	41
38+601	34	24	0.12	793	0.93	0.98	461	230	24	19	1263	631	1564081	10784	557	39
39+002	42	35	0.12	403	0.86	0.93	840	420	28	27	696	348	3222956	22222	629	44
39+398	47	45	0.12	195	0.80	0.87	481	240	29	31	402	201	3496470	24107	641	45
39+802	39	31	0.12	497	0.89	0.95	269	135	27	25	738	369	2637808	18187	603	42
40+198	40	31	0.12	431	0.89	0.95	560	280	27	24	709	354	2265789	15622	587	41
40+603	42	34	0.12	453	0.87	0.93	490	245	27	25	844	422	3070720	21172	622	44
41+000	46	43	0.12	284	0.81	0.89	536	268	29	30	595	297	4074761	28094	666	47
41+400	50	56	0.12	103	0.73	0.81	379	189	30	35	264	132	3554898	24510	643	45
41+803	48	50	0.12	145	0.77	0.85	171	86	29	31	362	181	3130357	21583	625	44
42+200	45	40	0.12	248	0.83	0.90	216	108	29	29	476	238	2937504	20253	616	43
42+595	44	38	0.12	370	0.84	0.91	317	158	29	29	639	320	3929649	27094	659	46
43+000	42	35	0.12	286	0.86	0.93	458	229	28	27	495	247	2277684	15704	588	41
43+397	46	42	0.12	295	0.82	0.89	341	171	29	29	609	305	3974670	27404	661	47
43+800	44	38	0.12	253	0.85	0.92	389	195	28	28	458	229	2525950	17416	598	42
44+200	41	33	0.12	307	0.88	0.94	313	156	28	26	480	240	2072374	14289	579	41
44+600	51	59	0.12	133	0.72	0.80	356	178	30	33	415	208	4597093	31696	688	48
45+000	42	35	0.12	298	0.86	0.93	232	116	26	23	682	341	1722335	11875	563	40
45+397	49	52	0.12	200	0.76	0.84	355	177	30	32	507	253	4980001	34336	705	50
45+805	42	35	0.12	427	0.86	0.93	308	154	28	27	732	366	3291457	22694	632	44
46+201	39	30	0.12	518	0.90	0.95	507	253	27	24	800	400	2510738	17311	598	42
48+399	45	40	0.12	230	0.83	0.90	581	291	29	30	401	200	2974408	20508	618	43
48+810	44	39	0.12	308	0.84	0.91	293	147	29	29	570	285	3439832	23717	638	45
49+200	43	36	0.12	348	0.86	0.92	388	194	28	27	604	302	3031748	20903	620	44
49+599	43	36	0.12	357	0.86	0.93	421	210	28	27	630	315	3000595	20688	619	44
49+998	42	35	0.12	397	0.86	0.93	430	215	28	26	737	368	2931140	20210	616	43
50+400	43	37	0.12	185	0.85	0.92	474	237	29	29	298	149	1889578	13028	571	40
50+796	35	25	0.12	388	0.93	0.98	226	113	25	20	595	298	925323	6380	529	37
51+208	40	32	0.12	442	0.89	0.95	414	207	27	25	736	368	2394906	16512	593	42
51+598	43	37	0.12	354	0.85	0.92	504	252	28	26	687	343	2936930	20249	616	43
52+000	45	42	0.12	183	0.82	0.89	431	216	29	31	342	171	2673966	18436	605	43
52+207	40	31	0.12	516	0.89	0.95	240	120	27	24	884	442	2517087	17355	598	42
52+600	37	27	0.12	269	0.91	0.97	585	293	27	24	359	180	1035777	7141	534	38
53+001	40	31	0.12	456	0.89	0.95	293	147	28	26	677	339	2695658	18586	606	43
53+401	37	27	0.12	635	0.91	0.97	519	259	26	22	1031	516	1999117	13783	575	40
53+773	46	43	0.12	195	0.81	0.89	692	346	29	30	389	194	2914945	20098	615	43



ANEXO D



RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CARGA PARA EL CARRIL DERECHO



ABSCISA	UBICACIÓN	D1 (um)	D2 (um)	D3 (um)	D4 (um)	D5 (um)	D6 (um)	D7 (um)	D8 (um)	D9 (um)	LTE (%)	LTE PROMEDIO (%)	CALIFICACIÓN
0+298	Pasajunta	43	33	29	33	25	24	20	13	13	67	66	REGULAR
0+300	Junta	48	37	31	34	26	24	21	13	14	65		
0+704	Pasajunta	47	38	34	40	32	30	27	18	18	72	71	REGULAR
0+705	Junta	50	41	35	40	33	31	27	18	19	70		
1+101	Pasajunta	88	77	68	74	61	54	46	34	31	77	77	BUENO
1+102	Junta	92	81	70	72	60	53	45	33	31	76		
1+504	Pasajunta	63	54	47	49	39	33	28	18	17	75	74	REGULAR
1+505	Junta	66	55	48	48	38	32	25	17	17	73		
1+900	Pasajunta	77	67	61	63	51	44	37	25	24	79	79	BUENO
1+901	Junta	78	69	61	63	51	44	38	25	24	78		
2+301	Pasajunta	91	81	72	73	60	50	39	29	25	79	77	BUENO
2+302	Junta	85	73	64	69	56	47	39	26	24	75		
2+698	Pasajunta	147	130	112	105	81	62	48	32	27	76	52	REGULAR
2+699	Junta	251	171	69	71	56	46	38	25	24	27		
3+100	Pasajunta	198	176	152	144	113	88	68	48	40	77	79	BUENO
3+101	Junta	225	216	182	164	125	96	74	50	42	81		
3+499	Pasajunta	73	62	54	58	46	40	33	21	19	74	72	REGULAR
3+499	Junta	82	69	58	59	47	40	33	22	19	71		
3+899	Pasajunta	56	47	41	45	37	32	28	17	16	73	73	REGULAR
3+900	Junta	57	47	42	44	35	30	25	16	16	74		
4+300	Pasajunta	72	61	53	56	46	39	32	22	20	74	72	REGULAR
4+300	Junta	80	66	57	59	47	40	34	22	20	71		
4+700	Pasajunta	90	75	64	60	45	38	31	20	20	71	69	REGULAR
4+700	Junta	83	78	55	56	43	36	31	20	20	66		
5+100	Pasajunta	84	66	55	53	40	35	27	18	17	65	54	REGULAR
5+100	Junta	103	49	44	48	37	31	28	17	16	43		
5+503	Pasajunta	51	43	38	41	33	27	22	13	13	75	74	REGULAR
5+503	Junta	52	43	38	40	30	26	21	13	13	73		
5+901	Pasajunta	53	44	38	40	31	25	20	11	11	72	72	REGULAR
5+902	Junta	55	45	40	41	31	25	20	12	11	73		
6+303	Pasajunta	113	98	86	90	77	67	59	44	40	76	76	BUENO
6+303	Junta	129	115	98	95	76	67	58	44	40	76		
6+702	Pasajunta	83	72	63	68	57	50	44	31	28	76	75	BUENO
6+702	Junta	85	73	63	67	55	49	41	29	27	74		
7+100	Pasajunta	125	108	92	85	64	52	41	26	24	74	75	BUENO
7+100	Junta	135	127	104	90	64	50	39	25	23	77		
7+500	Pasajunta	100	87	77	75	59	46	35	21	18	77	77	BUENO
7+500	Junta	105	93	81	76	59	46	33	21	18	77		
7+702	Pasajunta	133	120	104	102	81	65	50	35	30	78	78	BUENO
7+702	Junta	132	119	102	102	79	67	51	34	30	77		
7+896	Pasajunta	136	121	104	104	85	69	57	38	34	76	78	BUENO
7+896	Junta	147	137	118	113	90	73	57	39	34	80		
8+501	Pasajunta	152	122	100	84	59	44	33	21	19	66	49	POBRE
8+501	Junta	156	169	50	50	39	32	27	17	18	32		
8+903	Pasajunta	211	173	148	123	88	62	44	28	22	70	44	POBRE
8+903	Junta	307	58	52	53	42	36	29	19	19	17		



25+471	Pasajunta	87	74	65	68	56	49	41	28	26	75	76	BUENO
25+472	Junta	89	78	68	69	56	48	39	28	26	76		
25+899	Pasajunta	109	95	84	89	76	68	57	43	38	77	78	BUENO
25+899	Junta	105	95	83	88	74	65	55	42	37	79		
26+296	Pasajunta	152	128	110	101	77	61	48	33	28	72	57	REGULAR
26+296	Junta	201	97	84	78	60	48	38	25	24	42		
26+698	Pasajunta	157	133	112	100	75	58	46	30	27	71	59	REGULAR
26+699	Junta	224	123	103	93	69	53	41	27	26	46		
27+099	Pasajunta	85	71	61	60	47	38	29	18	18	72	71	REGULAR
27+099	Junta	81	69	57	56	43	36	28	18	17	70		
27+501	Pasajunta	121	107	93	96	81	70	58	43	39	77	64	REGULAR
27+502	Junta	174	103	90	93	74	66	55	40	37	52		
27+901	Pasajunta	98	89	77	82	69	61	53	38	34	79	79	BUENO
27+902	Junta	102	92	80	82	70	61	52	38	35	78		
28+302	Pasajunta	91	78	68	75	66	56	50	39	37	75	68	REGULAR
28+302	Junta	116	82	71	77	65	60	51	39	37	61		
28+700	Pasajunta	88	73	64	65	53	46	38	27	24	73	70	REGULAR
28+700	Junta	93	74	63	64	52	44	36	25	24	68		
29+099	Pasajunta	148	130	113	113	93	77	59	42	37	76	64	REGULAR
29+100	Junta	183	108	93	96	78	67	53	36	33	51		
29+500	Pasajunta	84	73	64	67	55	48	38	27	26	76	76	BUENO
29+501	Junta	93	82	71	70	56	47	38	26	24	76		
29+901	Pasajunta	68	58	52	58	49	44	37	27	25	76	74	REGULAR
29+902	Junta	78	64	56	60	50	44	35	26	25	72		
30+303	Pasajunta	165	138	117	106	80	62	48	31	25	71	52	REGULAR
30+303	Junta	199	72	64	65	51	43	34	21	20	32		
30+699	Pasajunta	214	179	150	133	101	78	61	42	37	70	47	POBRE
30+700	Junta	291	80	71	76	63	56	46	33	32	24		
31+101	Pasajunta	89	76	63	69	57	52	43	30	30	71	66	REGULAR
31+101	Junta	100	69	61	65	56	50	42	31	30	61		
31+501	Pasajunta	69	58	52	56	47	41	35	24	23	75	73	REGULAR
31+501	Junta	81	66	57	60	49	43	35	24	22	70		
31+899	Pasajunta	170	142	119	107	81	63	47	32	28	70	52	REGULAR
31+900	Junta	179	70	60	63	51	43	34	23	22	34		
32+300	Pasajunta	91	78	68	74	64	59	49	35	32	75	73	REGULAR
32+301	Junta	102	82	73	79	67	60	51	38	35	72		
32+700	Pasajunta	62	53	45	55	48	42	40	30	30	73	71	REGULAR
32+701	Junta	70	55	49	56	49	45	40	31	30	70		
33+101	Pasajunta	56	43	37	31	22	16	12	5	6	66	56	REGULAR
33+102	Junta	57	55	26	26	18	15	10	4	6	46		
33+500	Pasajunta	92	77	66	70	59	53	42	28	27	72	70	REGULAR
33+500	Junta	98	76	67	70	58	53	44	30	27	68		
33+899	Pasajunta	59	47	41	46	40	37	31	23	23	69	68	REGULAR
33+899	Junta	63	46	42	48	42	39	33	24	23	67		
34+299	Pasajunta	88	76	66	71	60	52	45	33	31	75	78	BUENO
34+299	Junta	90	88	72	75	62	54	46	34	32	80		
34+698	Pasajunta	42	34	30	38	33	31	27	20	20	71	69	REGULAR
34+699	Junta	51	40	34	40	34	32	27	20	21	67		
35+100	Pasajunta	51	39	34	40	34	32	27	20	21	67	66	REGULAR
35+101	Junta	59	46	38	41	35	33	28	20	21	64		



35+502	Pasajunta	50	42	36	44	39	37	32	24	25	72	73	REGULAR
35+503	Junta	51	45	38	45	39	37	32	23	24	75		
35+900	Pasajunta	62	51	46	51	44	40	34	25	25	74	71	REGULAR
35+900	Junta	66	52	45	52	44	41	36	27	25	68		
36+300	Pasajunta	66	55	49	53	44	39	32	23	22	74	73	REGULAR
36+300	Junta	73	62	53	56	46	40	33	23	22	73		
36+700	Pasajunta	30	22	19	24	20	18	14	8	10	63	60	REGULAR
36+701	Junta	33	29	19	24	19	18	14	8	10	58		
37+101	Pasajunta	59	50	44	50	44	41	35	27	26	75	74	REGULAR
37+101	Junta	63	52	46	52	45	42	35	27	27	73		
37+504	Pasajunta	38	30	26	33	27	26	22	14	15	68	66	REGULAR
37+505	Junta	39	27	25	31	27	26	21	14	15	64		
37+902	Pasajunta	41	33	29	36	31	29	25	18	19	71	67	REGULAR
37+903	Junta	46	33	29	36	31	30	25	19	19	63		
38+300	Pasajunta	55	43	38	42	35	32	25	18	17	69	70	REGULAR
38+300	Junta	60	49	42	44	36	32	26	18	18	70		
38+701	Pasajunta	65	54	46	52	46	43	37	28	28	71	67	REGULAR
38+701	Junta	75	55	48	54	46	44	37	28	28	64		
39+100	Pasajunta	52	42	36	38	30	26	19	12	11	69	62	REGULAR
39+100	Junta	59	37	32	35	27	24	18	11	11	54		
39+501	Pasajunta	72	61	53	59	51	47	39	30	28	74	74	REGULAR
39+501	Junta	81	70	60	62	53	47	38	30	28	74		
39+900	Pasajunta	60	45	37	33	23	18	11	5	5	62	62	REGULAR
39+900	Junta	67	52	42	34	23	18	11	6	5	63		
40+300	Pasajunta	38	29	26	29	24	21	16	10	10	68	68	REGULAR
40+301	Junta	42	32	28	31	25	22	17	11	11	67		
40+699	Pasajunta	52	43	38	45	38	34	30	20	21	73	74	REGULAR
40+699	Junta	56	48	42	46	38	35	30	21	21	75		
41+097	Pasajunta	60	45	38	40	31	27	24	14	15	63	56	REGULAR
41+098	Junta	61	34	30	36	28	26	22	13	15	49		
41+500	Pasajunta	103	87	75	84	71	65	59	43	43	73	67	REGULAR
41+500	Junta	109	79	67	82	71	67	61	45	45	61		
41+898	Pasajunta	74	64	58	70	63	60	55	43	43	78	79	BUENO
41+899	Junta	75	67	60	71	63	60	55	43	43	80		
42+299	Pasajunta	99	85	74	84	72	66	60	47	45	75	71	REGULAR
42+299	Junta	107	82	73	82	71	66	60	46	45	68		
42+699	Pasajunta	47	36	31	31	22	17	13	6	6	66	68	REGULAR
42+700	Junta	49	40	34	32	22	18	13	7	7	69		
43+101	Pasajunta	69	58	52	58	49	44	39	27	28	75	77	BUENO
43+102	Junta	72	63	57	61	49	45	39	28	28	79		
43+701	Pasajunta	55	45	39	43	34	30	25	16	16	71	71	REGULAR
43+702	Junta	57	47	40	43	34	29	25	15	15	70		
44+099	Pasajunta	84	74	64	70	57	50	41	28	27	76	76	BUENO
44+100	Junta	89	78	68	71	57	49	42	28	27	76		
44+500	Pasajunta	35	27	25	34	29	28	26	17	19	71	70	REGULAR
44+500	Junta	36	28	25	35	29	28	26	18	20	69		
44+901	Pasajunta	71	63	56	63	53	48	41	29	27	79	78	BUENO
44+902	Junta	67	61	52	59	50	45	40	29	28	78		
45+301	Pasajunta	68	60	53	62	53	50	45	34	34	78	79	BUENO
45+302	Junta	67	59	53	61	53	49	45	34	34	79		



45+699	Pasajunta	70	61	54	61	52	46	41	29	28	77	76	BUENO
45+699	Junta	75	65	56	61	50	45	41	29	28	75		
46+100	Pasajunta	55	47	43	51	43	38	33	22	22	78	76	BUENO
46+103	Junta	59	49	43	50	42	38	33	22	22	73		
46+501	Pasajunta	61	52	46	53	43	38	32	22	21	75	75	BUENO
46+501	Junta	60	51	45	51	41	37	32	22	20	75		
48+480	Pasajunta	75	64	57	62	50	44	37	25	23	76	75	BUENO
48+481	Junta	78	68	58	61	49	41	35	23	22	74		
48+900	Pasajunta	58	50	44	54	46	41	37	27	27	76	77	BUENO
48+901	Junta	57	50	44	52	43	41	36	26	26	77		
49+302	Pasajunta	57	49	43	49	40	35	29	19	18	75	75	BUENO
49+302	Junta	58	50	43	47	38	33	29	18	18	74		
49+700	Pasajunta	73	65	59	66	56	50	43	29	28	81	80	BUENO
49+701	Junta	70	61	55	63	53	47	41	29	27	79		
50+100	Pasajunta	48	40	35	40	32	28	24	15	14	73	71	REGULAR
50+101	Junta	52	42	36	40	32	28	24	15	15	69		
50+503	Pasajunta	47	39	35	42	35	31	27	17	17	74	74	REGULAR
50+503	Junta	47	40	35	41	34	31	27	17	18	74		
50+900	Pasajunta	43	35	31	38	31	28	24	15	15	72	70	REGULAR
50+900	Junta	47	35	32	38	31	28	24	15	16	68		
51+299	Pasajunta	42	34	30	37	29	26	22	13	14	71	72	REGULAR
51+300	Junta	46	38	33	39	31	28	25	15	16	72		
51+701	Pasajunta	43	35	31	36	29	25	21	13	13	72	72	REGULAR
51+702	Junta	45	36	32	36	28	24	21	13	13	71		
52+099	Pasajunta	43	35	32	36	29	26	22	14	14	74	71	REGULAR
52+099	Junta	47	40	32	37	31	26	19	15	14	68		
52+500	Pasajunta	52	43	37	43	34	31	26	17	17	71	69	REGULAR
52+500	Junta	55	42	37	42	34	30	26	17	17	67		
52+897	Pasajunta	83	68	58	59	46	39	34	23	22	70	69	REGULAR
52+898	Junta	89	71	60	60	47	40	34	23	22	67		
53+299	Pasajunta	106	94	82	88	74	64	57	42	39	77	78	BUENO
53+299	Junta	104	94	82	86	73	64	55	41	38	79		
53+700	Pasajunta	61	49	43	51	43	39	35	25	26	70	71	REGULAR
53+700	Junta	61	50	44	50	42	40	35	25	25	72		



RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CARGA PARA EL CARRIL IZQUIERDO



ABSCISA	UBICACIÓN	D1 (um)	D2 (um)	D3 (um)	D4 (um)	D5 (um)	D6 (um)	D7 (um)	D8 (um)	D9 (um)	LTE (%)	LTE PROMEDIO (%)	CALIFICACIÓN
0+200	Junta	83	69	62	57	46	40	31	24	22	75	73	REGULAR
0+200	Pasajunta	74	61	53	54	45	39	33	23	22	72		
0+599	Junta	108	89	73	65	48	39	30	21	19	68	70	REGULAR
0+600	Pasajunta	88	74	63	60	47	38	29	21	20	72		
1+000	Junta	118	67	59	62	51	43	36	25	25	50	60	REGULAR
1+000	Pasajunta	104	86	73	70	56	47	39	27	26	70		
1+401	Junta	118	74	65	67	55	47	37	26	24	55	61	REGULAR
1+401	Pasajunta	115	93	78	74	59	49	39	28	25	68		
1+800	Junta	74	60	47	46	36	32	26	18	18	64	62	REGULAR
1+801	Pasajunta	81	59	49	47	38	32	27	19	18	60		
2+201	Junta	89	69	56	49	35	29	24	15	15	63	64	REGULAR
2+201	Pasajunta	83	65	54	50	38	32	25	17	17	65		
2+596	Junta	283	197	148	75	60	50	40	27	26	52	60	REGULAR
2+597	Pasajunta	331	273	225	186	132	97	68	44	36	68		
3+000	Junta	262	84	74	75	60	50	39	26	26	28	48	POBRE
3+000	Pasajunta	261	213	176	144	99	71	50	35	29	67		
3+398	Junta	96	75	63	64	51	44	35	25	23	66	68	REGULAR
3+399	Pasajunta	92	76	64	64	51	44	35	25	23	70		
3+803	Junta	67	53	45	47	37	32	26	17	16	67	69	REGULAR
3+804	Pasajunta	66	54	47	49	40	34	28	19	18	71		
4+200	Junta	67	55	48	49	40	34	28	19	17	72	72	REGULAR
4+201	Pasajunta	66	55	48	51	41	35	29	19	18	73		
4+601	Junta	80	56	50	53	43	37	32	21	20	63	67	REGULAR
4+601	Pasajunta	76	63	54	56	45	37	32	22	20	71		
5+000	Junta	53	43	38	39	31	26	21	13	12	72	71	REGULAR
5+001	Pasajunta	50	40	35	37	30	25	20	13	12	70		
5+399	Junta	187	121	103	99	78	65	50	34	31	55	65	REGULAR
5+399	Pasajunta	158	136	117	113	90	74	58	42	37	74		
5+801	Junta	98	65	57	57	47	40	33	22	20	58	66	REGULAR
5+801	Pasajunta	87	73	64	64	52	43	35	23	20	74		
6+200	Junta	100	86	75	73	59	51	41	30	27	75	74	REGULAR
6+200	Pasajunta	106	89	78	76	62	52	43	31	29	74		
6+601	Junta	75	65	57	62	52	46	39	28	27	76	77	BUENO
6+602	Pasajunta	71	62	55	61	50	45	39	28	27	77		
7+000	Junta	94	92	62	66	51	43	36	24	23	66	68	REGULAR
7+001	Pasajunta	93	77	66	65	53	47	36	25	22	71		
7+397	Junta	180	80	71	72	57	47	38	25	23	39	55	REGULAR
7+397	Pasajunta	157	131	110	99	74	58	44	29	26	70		
7+801	Junta	251	70	62	68	56	49	42	28	28	25	47	REGULAR
7+801	Pasajunta	373	305	255	194	134	96	66	48	38	68		
8+197	Junta	236	71	63	62	47	39	31	19	19	27	47	REGULAR
8+198	Pasajunta	248	201	167	132	88	60	41	25	21	67		
8+999	Junta	226	120	103	93	68	50	31	20	23	46	58	REGULAR
9+000	Pasajunta	279	232	196	166	117	42	36	24	25	70		



24+885	Junta	124	113	97	98	81	69	60	45	42	78	77	BUENO
24+885	Pasajunta	120	105	91	94	79	69	58	44	40	76		
25+196	Junta	201	140	118	111	85	69	52	35	30	59	65	REGULAR
25+196	Pasajunta	190	161	137	126	97	78	60	40	33	72		
25+601	Junta	182	168	141	125	93	70	51	34	30	77	75	BUENO
25+601	Pasajunta	173	148	126	115	87	67	50	33	30	73		
25+995	Junta	122	111	97	99	82	69	56	41	36	80	79	BUENO
25+995	Pasajunta	125	112	98	101	82	69	56	39	35	78		
26+398	Junta	175	160	136	123	94	73	58	40	36	78	77	BUENO
26+398	Pasajunta	171	152	129	119	93	73	57	40	36	75		
26+796	Junta	149	140	116	101	74	57	42	28	26	78	75	BUENO
26+796	Pasajunta	144	123	105	95	71	55	42	28	25	73		
27+198	Junta	67	53	45	48	39	35	30	21	20	67	69	REGULAR
27+199	Pasajunta	62	51	44	48	39	35	30	21	20	71		
27+610	Junta	165	133	112	105	82	66	48	33	27	68	70	REGULAR
27+611	Pasajunta	157	134	114	107	84	67	50	34	29	73		
27+997	Junta	206	75	67	72	61	55	45	32	30	33	50	REGULAR
27+997	Pasajunta	327	270	220	180	130	99	74	50	41	67		
28+398	Junta	112	55	48	53	43	37	30	20	20	43	53	REGULAR
28+398	Pasajunta	131	102	84	73	54	44	34	23	21	64		
28+798	Junta	150	52	47	51	41	37	29	20	19	31	48	POBRE
28+799	Pasajunta	209	167	137	110	77	59	42	29	24	66		
29+598	Junta	174	80	69	72	59	51	40	29	28	40	55	REGULAR
29+600	Pasajunta	143	120	101	94	71	58	45	31	28	71		
29+994	Junta	92	59	51	52	41	35	26	17	16	55	61	REGULAR
29+994	Pasajunta	98	78	65	61	46	38	28	18	16	66		
30+400	Junta	333	83	74	76	62	52	42	28	27	22	46	POBRE
30+402	Pasajunta	408	338	281	223	154	106	73	47	38	69		
30+803	Junta	75	62	54	52	38	30	22	13	12	72	71	REGULAR
30+803	Pasajunta	71	58	50	49	37	30	22	14	12	70		
31+199	Junta	77	62	53	54	43	36	27	18	16	69	71	REGULAR
31+199	Pasajunta	70	58	51	51	41	35	27	18	16	73		
31+600	Junta	72	50	45	51	43	40	32	24	24	63	66	REGULAR
31+600	Pasajunta	60	48	42	48	41	39	33	23	23	70		
32+003	Junta	155	130	110	108	87	74	59	44	41	71	72	REGULAR
32+003	Pasajunta	144	123	104	103	84	72	60	45	41	72		
32+400	Junta	85	49	44	46	37	32	26	18	16	52	59	REGULAR
32+400	Pasajunta	76	59	50	50	40	34	27	18	18	66		
32+800	Junta	85	57	52	56	48	42	35	25	24	61	67	REGULAR
32+802	Pasajunta	79	67	57	59	49	43	35	26	24	72		
33+201	Junta	100	50	45	49	40	35	28	18	17	45	56	REGULAR
33+202	Pasajunta	110	88	74	69	52	42	32	21	18	67		
33+601	Junta	95	76	66	68	57	51	43	32	30	69	71	REGULAR
33+602	Pasajunta	95	79	68	70	59	52	43	32	31	72		
33+997	Junta	86	74	65	75	66	63	56	44	42	76	76	BUENO
33+998	Pasajunta	82	72	63	73	65	61	54	43	41	77		
34+398	Junta	81	73	63	64	52	44	36	25	23	78	76	BUENO
34+398	Pasajunta	84	71	62	63	52	44	35	25	23	74		



34+798	Junta	77	67	58	62	53	47	40	29	28	75	76	BUENO
34+798	Pasajunta	76	66	59	64	54	48	40	29	28	78		
35+205	Junta	49	38	33	36	31	29	25	18	18	67	67	REGULAR
35+205	Pasajunta	46	36	31	37	32	30	25	18	19	67		
35+597	Junta	68	49	43	48	41	39	32	24	25	63	67	REGULAR
35+597	Pasajunta	58	47	41	47	41	39	33	25	25	71		
35+998	Junta	58	49	43	51	45	42	36	27	28	74	75	BUENO
35+998	Pasajunta	56	48	42	50	44	42	36	27	28	75		
36+400	Junta	43	33	29	34	30	28	23	16	17	67	67	REGULAR
36+401	Pasajunta	40	31	27	33	29	27	23	16	16	68		
36+799	Junta	45	38	33	39	33	31	26	17	17	73	71	REGULAR
36+799	Pasajunta	45	36	31	38	33	29	25	17	18	69		
37+200	Junta	51	43	38	45	40	39	33	25	25	75	75	BUENO
37+200	Pasajunta	50	42	38	46	40	38	34	25	25	76		
37+598	Junta	63	47	40	43	36	32	27	19	19	63	67	REGULAR
37+598	Pasajunta	56	46	39	44	36	33	27	20	20	70		
37+997	Junta	77	60	53	60	51	47	39	29	27	69	71	REGULAR
37+997	Pasajunta	69	58	50	58	51	46	38	30	27	72		
38+398	Junta	52	38	34	42	36	34	29	21	21	65	68	REGULAR
38+398	Pasajunta	48	39	34	41	35	33	30	20	21	71		
38+797	Junta	44	34	30	33	28	25	20	13	13	68	69	REGULAR
38+797	Pasajunta	43	34	30	34	28	25	20	12	13	70		
39+200	Junta	66	57	49	51	42	36	28	19	18	74	75	BUENO
39+201	Pasajunta	65	56	49	52	43	37	29	19	18	75		
39+599	Junta	59	49	43	51	45	42	37	28	28	73	74	REGULAR
39+600	Pasajunta	57	48	43	51	45	42	37	28	28	75		
39+998	Junta	55	46	40	43	35	31	25	17	16	73	75	BUENO
39+999	Pasajunta	52	43	40	41	35	30	25	17	16	77		
40+400	Junta	62	52	45	50	42	38	32	23	23	73	74	REGULAR
40+400	Pasajunta	60	50	45	52	41	39	32	23	22	75		
40+799	Junta	46	30	28	33	28	27	23	16	16	61	66	REGULAR
40+800	Pasajunta	41	33	29	35	29	27	22	15	15	71		
41+198	Junta	53	44	40	48	42	40	36	28	28	75	77	BUENO
41+199	Pasajunta	52	45	41	50	44	42	37	28	28	79		
41+602	Junta	53	44	39	45	38	35	29	21	20	74	77	BUENO
41+602	Pasajunta	54	48	43	50	42	36	31	20	20	80		
41+999	Junta	82	73	65	74	66	61	53	42	39	79	80	BUENO
41+999	Pasajunta	80	72	64	75	65	59	52	40	37	80		
42+409	Junta	90	75	65	73	64	63	53	42	40	72	74	REGULAR
42+410	Pasajunta	84	72	64	72	63	60	51	40	41	76		
42+798	Junta	58	36	31	32	24	19	15	8	8	53	59	REGULAR
42+799	Pasajunta	53	41	34	35	26	21	16	10	9	64		
43+159	Junta	69	58	51	54	45	40	33	23	22	74	76	BUENO
43+159	Pasajunta	66	58	52	58	48	43	36	26	24	79		
43+600	Junta	85	74	63	68	59	53	46	35	34	74	75	BUENO
43+600	Pasajunta	79	69	60	69	60	54	46	36	34	76		
44+000	Junta	66	58	51	55	46	42	35	25	24	77	77	BUENO
44+000	Pasajunta	64	55	49	55	46	41	35	24	23	77		



44+402	Junta	59	51	46	53	46	43	38	29	28	78	78	BUENO
44+402	Pasajunta	58	51	45	54	47	43	39	29	29	78		
44+800	Junta	67	59	52	57	47	43	37	28	27	78	77	BUENO
44+801	Pasajunta	64	56	49	56	47	43	37	28	27	77		
45+201	Junta	62	53	47	57	49	47	42	31	31	76	76	BUENO
45+201	Pasajunta	62	52	47	57	51	47	42	31	31	76		
45+600	Junta	54	47	41	46	38	36	31	22	22	76	74	REGULAR
45+600	Pasajunta	56	45	40	45	38	34	30	21	21	71		
45+999	Junta	61	52	46	43	33	26	20	11	10	75	76	BUENO
45+999	Pasajunta	59	50	45	45	35	27	22	12	11	76		
46+400	Junta	65	57	50	54	45	40	35	24	22	77	77	BUENO
46+400	Pasajunta	63	54	48	54	46	40	34	23	21	76		
48+200	Junta	55	48	43	52	45	44	37	27	27	78	79	BUENO
48+201	Pasajunta	61	54	49	57	49	45	38	27	26	80		
48+603	Junta	53	42	37	42	34	32	28	19	20	70	73	REGULAR
48+603	Pasajunta	53	44	40	45	37	33	28	19	20	75		
49+001	Junta	61	42	37	42	35	32	27	18	18	61	68	REGULAR
49+002	Pasajunta	52	44	39	45	37	33	28	18	18	75		
49+396	Junta	70	56	49	53	44	38	32	22	21	70	73	REGULAR
49+397	Pasajunta	67	57	51	57	47	41	35	24	23	76		
49+796	Junta	52	42	37	43	36	32	28	19	19	71	72	REGULAR
49+797	Pasajunta	51	42	37	43	36	31	28	20	20	73		
50+198	Junta	53	41	37	42	35	32	27	18	17	70	72	REGULAR
50+198	Pasajunta	49	41	36	43	36	32	27	17	17	73		
50+600	Junta	75	51	46	50	41	35	29	19	18	61	66	REGULAR
50+601	Pasajunta	77	64	55	58	46	39	32	21	19	71		
51+001	Junta	47	39	34	41	33	31	27	18	19	72	72	REGULAR
51+001	Pasajunta	50	40	36	42	34	31	29	18	19	72		
51+400	Junta	64	49	44	53	46	44	39	27	28	69	70	REGULAR
51+401	Pasajunta	62	51	44	52	45	42	36	27	27	71		
51+800	Junta	48	31	27	31	24	21	18	10	12	56	59	REGULAR
51+801	Pasajunta	41	31	25	31	23	21	19	11	12	61		
52+397	Junta	70	51	46	54	46	43	38	27	27	66	70	REGULAR
52+397	Pasajunta	60	50	45	52	45	42	37	27	27	75		
52+800	Junta	89	89	51	54	43	33	29	19	19	57	64	REGULAR
52+800	Pasajunta	87	71	61	61	47	39	31	20	19	70		
53+200	Junta	102	89	78	82	69	61	52	38	36	76	77	BUENO
53+201	Pasajunta	94	82	72	80	68	61	51	40	35	77		
53+602	Junta	60	46	40	48	39	35	31	21	20	67	71	REGULAR
53+603	Pasajunta	58	48	44	50	41	37	31	21	20	76		



ANEXO E



RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 1 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL DERECHO



MODELO 1 CARRIL DERECHO						RMS
ESTACIÓN	E PCC (Mpa)	E AC (Mpa)	E BASE (Mpa)	E SUBBASE (Mpa)	E SUBRASANTE (Mpa)	
0+501	270110232	1117	76	93	133	5
0+904	388852209	3897	162	162	180	3
1+299	381646530	4138	195	389	185	3
1+704	513295403	5134	163	357	254	3
2+101	544983552	1989	144	160	273	3
2+502	595547435	503	51	63	321	4
2+905	549074999	1654	114	153	280	4
3+298	337532588	1627	130	144	164	4
3+700	647522831	1299	120	146	334	3
4+104	458655883	2635	164	200	225	3
4+500	548385207	3715	91	165	280	3
4+903	441731176	1764	148	164	218	4
5+304	535795061	1772	144	258	273	3
5+701	537629231	2662	223	223	260	3
6+102	633786029	2662	223	223	309	3
6+504	514853086	3706	195	159	262	2
6+900	502576407	2042	127	141	251	4
7+303	582177114	940	79	87	304	4
7+700	461896804	1468	111	136	233	4
8+103	626559368	431	37	33	347	6
8+301	552289342	519	65	69	299	4
8+702	533939832	1121	43	57	288	4
9+100	263680411	589	54	67	135	6
25+300	539086629	1751	97	145	274	3
25+698	459366432	225	10	17	255	11
26+101	332905394	1187	113	37	175	6
26+499	350939224	814	83	92	179	5
26+902	338805733	1070	79	79	171	5
27+300	384433922	2396	241	265	185	4
27+701	330753009	1921	108	146	160	4
28+101	510950784	1958	102	152	258	3
28+502	307435485	4015	115	278	149	3
28+901	593464490	1227	31	49	318	4
29+303	468193364	2481	96	142	240	4
29+702	296571402	2770	90	179	148	4
30+100	300716830	2335	113	273	148	4
30+502	379997806	2942	71	307	194	3
30+901	418571405	4160	194	346	206	2
31+300	419419566	5649	221	482	203	3
31+700	278597267	1046	47	93	145	5
32+101	813254668	851	36	37	446	4
32+504	382749736	7613	175	235	182	3
32+901	430328892	11120	355	161	206	2
33+101	546321896	3715	92	200	280	3
33+705	515802440	1169	120	146	264	3



34+102	591149768	3669	132	158	304	2
34+503	484659325	5033	146	430	242	3
34+900	429927473	3221	366	299	198	4
35+300	419412112	3897	362	267	192	4
35+700	505008697	6277	195	389	248	3
36+101	445308656	6152	320	117	218	2
36+500	522983987	3543	403	362	244	3
36+903	463842474	2178	182	223	227	2
37+300	422406565	2928	245	245	198	4
37+701	423299615	3543	443	296	193	4
38+103	331879874	2699	122	358	164	4
38+503	574316791	1644	97	128	303	3
38+904	384939348	1931	219	241	185	4
39+303	484651283	12232	648	129	229	2
39+703	516504048	2420	275	203	250	3
40+100	472064462	1883	132	262	240	3
40+500	530339423	3221	221	221	253	3
40+904	560967686	3221	329	270	266	3
41+301	454266940	6277	713	477	196	4
41+699	373957510	3906	361	361	167	4
42+100	464871183	2420	197	241	226	4
42+498	414603531	1429	108	139	208	3
42+901	382281847	2662	223	223	180	4
43+501	424803772	2053	141	141	208	4
43+901	431966731	2928	164	164	206	4
44+298	389238394	3221	366	329	178	4
44+700	387658285	4716	294	267	175	4
45+102	417110287	3221	366	329	191	4
45+500	433636279	6905	362	355	207	2
45+901	462258613	2662	272	333	218	3
46+301	682112200	3897	399	326	323	2
46+699	864113903	2396	245	299	434	2
48+302	486796270	3897	218	162	229	3
48+701	526799531	4287	240	240	246	3
49+102	428233193	5187	291	238	193	3
49+502	556299043	2662	182	182	275	7
49+901	528499911	2304	193	193	259	3
50+300	439146781	3221	164	148	208	3
50+702	485813395	2200	225	275	234	3
51+101	331098802	1764	133	162	160	5
51+500	514598448	3221	329	270	243	4
51+898	457964308	3897	443	399	208	3
52+301	450731661	1465	71	93	237	4
52+699	535255409	1302	120	133	273	4
53+101	460140970	1268	123	123	232	4
53+500	506072494	1688	134	134	254	4



RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 1 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL IZQUIERDO



MODELO 1 CARRIL IZQUIERDO						RMS
ESTACIÓN	E PCC (Mpa)	E AC (Mpa)	E BASE (Mpa)	E SUBBASE (Mpa)	E SUBRASANTE (Mpa)	
0+006	509978300	2265	156	231	251	2
0+400	437918003	12232	212	193	208	2
0+799	386246221	2080	193	259	185	3
1+200	555386723	3082	233	285	265	3
1+601	468250733	5649	179	267	227	2
1+998	519851035	2200	225	250	250	3
2+399	574097319	2377	133	221	283	3
2+802	517921247	3543	221	245	244	3
3+198	521059633	3729	165	244	254	3
3+599	813376875	2092	96	117	422	3
4+000	574097319	2377	133	221	283	3
4+401	488908035	3897	270	218	226	2
4+800	436718067	2662	182	203	207	3
5+198	546131436	2899	162	200	266	3
5+599	453653841	2928	245	223	211	3
6+002	505526394	3897	180	270	240	2
6+398	476579191	2899	148	221	231	3
6+805	471195613	2396	164	182	229	4
7+200	492792646	949	87	97	252	5
7+597	683988433	1218	88	97	355	4
8+003	437804487	1327	49	60	224	6
8+398	753679174	1387	46	78	398	3
8+812	393602491	957	120	162	196	10
9+202	873509091	1661	38	38	467	10
25+002	429346041	1335	123	137	213	4
25+403	524368498	2301	118	175	264	4
25+801	557365368	2140	97	145	280	4
26+200	518222871	725	67	83	270	4
26+605	285601446	891	53	87	145	6
27+002	573966930	2093	123	123	286	4
27+400	351210435	2102	144	176	166	4
27+798	585892056	2010	22	27	309	8
28+202	481877099	1747	108	108	240	6
28+604	423136375	1655	97	131	211	4
28+998	422583594	1512	127	141	208	4
29+400	516745994	2729	178	197	248	4
29+798	514770953	1821	97	146	258	4
30+197	1157010234	1827	34	46	628	6
30+598	569724994	2014	34	51	298	5
30+999	538171156	3075	133	163	261	4
31+397	455310628	3543	221	198	211	4
31+799	433744990	1894	123	137	213	4
32+200	435764141	6905	291	238	207	2
32+599	414043529	5187	589	355	178	4
33+000	408508166	4716	482	438	177	4



33+402	674446286	2662	248	248	326	3
33+800	478367286	2396	164	164	231	4
34+600	533641993	1560	87	87	272	5
35+000	1056903373	690	42	46	571	5
35+400	556311176	6905	863	706	238	4
35+798	418796020	10109	161	216	198	3
36+198	329603861	5706	713	531	135	4
36+606	482914702	2928	299	333	224	3
36+997	419929701	4297	398	398	185	3
37+399	778832475	5187	434	355	363	2
37+800	512050246	3543	162	200	242	4
38+199	458113830	2928	333	272	212	4
38+601	615763660	2420	275	275	297	4
39+002	488426621	3543	270	270	226	3
39+398	435706038	4287	179	162	200	4
39+802	840737119	6277	87	145	424	3
40+198	474237942	13119	188	252	224	2
40+603	470457542	3897	443	399	211	3
41+000	442861324	5187	395	291	195	4
41+400	263140442	3867	293	178	112	5
41+803	293100208	3906	400	380	125	5
42+200	431858074	2928	366	272	198	4
42+595	494296295	3543	296	270	227	3
43+000	512105703	3384	191	313	248	3
43+397	440804566	4287	536	359	195	3
43+800	463662462	2420	203	250	220	3
44+200	441068135	1965	191	212	214	3
44+600	323306783	6277	785	589	130	5
45+000	468257512	2420	303	275	220	7
45+397	451161561	6905	473	316	194	4
45+805	495821664	3543	329	270	228	3
46+201	636286058	2662	203	225	310	3
48+399	503194772	2899	133	221	242	4
48+810	461973668	4287	267	270	211	3
49+200	536940522	2928	223	200	254	3
49+599	538763531	2928	245	223	254	3
49+998	424822958	3543	362	443	191	3
50+400	373878678	1790	114	170	183	4
50+796	572405276	3033	193	117	293	3
51+208	506591037	2662	223	248	240	3
51+598	505286658	3897	267	218	233	4
52+000	383501303	2396	164	182	180	4
52+207	527699230	2928	366	299	247	3
52+600	466452276	767	117	117	240	4
53+001	543436612	2200	225	275	261	2
53+401	646068237	2420	248	303	313	3
53+773	392509195	3543	162	198	180	4



RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 2 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL DERECHO



MODELO 2 CARRIL DERECHO					RMS
ESTACIÓN	E PCC (Mpa)	E AC (Mpa)	E BASE (Mpa)	E SUBRASANTE (Mpa)	
0+501	9821	1487	69	133	5
0+904	33917	4716	161	180	4
1+299	16632	2336	241	185	3
1+704	8839	4552	237	248	3
2+101	17063	1960	165	251	3
2+502	6477	334	51	263	4
2+905	13472	1429	117	273	4
3+298	17059	1588	133	160	4
3+700	13127	1289	108	310	3
4+104	18954	2396	148	219	3
4+500	11223	1737	140	254	4
4+903	17059	1941	133	218	4
5+304	13817	1181	148	266	4
5+701	31460	2662	203	253	3
6+102	31460	2928	200	300	3
6+504	4336	4485	146	258	2
6+900	17059	1747	133	237	4
7+303	9066	938	71	290	5
7+700	14585	1432	103	222	4
8+103	1877	331	24	367	6
8+301	3424	434	48	297	5
8+702	2703	796	42	261	4
9+100	5799	602	53	132	7
25+300	14585	1302	127	245	4
25+698	3203	77	9	213	14
26+101	1773	1508	59	175	6
26+499	7955	951	69	179	5
26+902	9569	1146	71	167	6
27+300	13472	3189	321	185	4
27+701	17059	1921	108	160	4
28+101	13817	1729	132	240	4
28+502	13472	1703	142	149	4
28+901	5964	719	44	238	6
29+303	8618	1305	139	223	4
29+702	10073	947	108	144	6
30+100	11822	1198	139	148	5
30+502	3121	2161	140	179	3
30+901	7343	4160	240	198	3
31+300	7343	5649	296	200	2
31+700	2402	1032	47	143	6
32+101	5086	454	46	304	6
32+504	25740	2396	200	180	4
32+901	4818	13455	262	204	2
33+101	5948	3336	108	266	4
33+705	11814	1169	132	252	5
34+102	4818	3336	146	271	2
34+503	5353	5033	177	242	3
34+900	38153	2935	367	209	4
35+300	46061	3543	366	190	4
35+700	8159	6277	243	242	3
36+101	5948	8271	195	218	2



36+500	41873	3543	443	239	3
36+903	21060	1960	164	222	4
37+300	34606	3221	223	200	4
37+701	50667	3897	399	191	4
38+103	5219	2957	155	164	4
38+503	4818	1112	107	272	4
38+904	20533	2124	265	185	4
39+303	38067	2928	366	227	4
39+703	31460	2420	225	247	4
40+100	7751	1977	137	240	3
40+500	34606	3897	198	249	3
40+904	41873	3543	296	260	3
41+301	81785	6291	647	203	4
41+699	46061	6277	235	173	4
42+100	22815	2481	197	226	4
42+498	13645	1196	131	200	4
42+901	28314	2662	248	180	4
43+501	18480	2102	160	203	4
43+901	25740	3897	133	204	4
44+298	38153	2935	334	188	4
44+700	46061	4287	399	173	4
45+102	41968	3228	314	198	4
45+500	28665	2205	276	214	4
45+901	34606	2662	303	213	3
46+301	46061	3543	362	381	3
46+699	28314	2178	272	383	2
48+302	38067	4287	179	227	3
48+701	46061	3897	443	221	3
49+102	50667	4716	359	190	3
49+502	23400	2200	225	247	7
49+901	23400	2420	225	244	3
50+300	31460	3543	148	205	3
50+702	28600	2420	203	228	3
51+101	15353	2113	132	160	5
51+500	43967	3382	346	229	4
51+898	50667	4287	487	204	3
52+301	3339	1174	80	221	5
52+699	12436	1286	120	257	4
53+101	13472	1299	130	217	4
53+500	17059	1443	148	242	4



RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 2 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL IZQUIERDO



MODELO 2 CARRIL IZQUIERDO					RMS
ESTACIÓN	E PCC (Mpa)	E AC (Mpa)	E BASE (Mpa)	E SUBRASANTE (Mpa)	
0+006	13135	2714	140	245	3
0+400	26000	2662	203	203	4
0+799	13472	2826	265	185	3
1+200	33741	2662	265	254	4
1+601	13817	3683	198	219	2
1+998	26000	2420	203	245	3
2+399	20007	2074	193	253	3
2+802	34606	3897	179	235	3
3+198	14969	3221	217	248	3
3+599	15161	1283	144	270	4
4+000	20007	2074	193	253	3
4+401	8621	23836	191	219	2
4+800	25740	2928	164	203	3
5+198	21119	2195	223	254	3
5+599	34606	3543	221	206	3
6+002	29887	3074	234	220	2
6+398	23400	2178	203	205	3
6+805	18954	1782	203	264	5
7+200	10633	949	92	229	5
7+597	10633	1107	92	307	4
8+003	9569	893	67	185	6
8+398	10073	850	71	261	4
8+812	11192	861	120	196	10
9+202	11080	775	87	240	10
25+002	13127	1504	108	208	5
25+403	12470	1579	126	252	4
25+801	17059	1312	164	242	4
26+200	6627	797	57	252	5
26+605	5651	821	40	149	6
27+002	17059	1941	120	266	4
27+400	20849	2396	164	162	4
27+798	8159	1021	57	159	9
28+202	15161	1725	106	213	6
28+604	11223	1638	88	206	4
28+998	14969	1627	130	203	4
29+400	25740	3221	164	242	4
29+798	13817	1729	108	240	4
30+197	9066	803	67	307	7
30+598	8839	844	69	199	7
30+999	28600	2200	225	225	4
31+397	34260	3897	221	207	3
31+799	15395	1940	108	208	4
32+200	21060	2928	272	203	3
32+599	67591	5199	588	184	4
33+000	55733	5706	391	191	4
33+402	34606	2662	272	284	3
33+800	21060	2156	180	265	3
34+600	13783	1060	114	221	5
35+000	14000	337	42	392	6
35+400	98959	7612	865	246	4
35+798	25740	2928	164	198	4
36+198	70809	5447	506	186	4



36+606	38067	2928	333	215	3
36+997	55733	5187	359	191	3
37+399	61307	6277	352	351	2
37+800	28314	4716	146	242	4
38+199	38067	2928	366	208	4
38+601	31460	2928	200	280	4
39+002	41873	3897	267	218	3
39+398	38067	5187	159	200	4
39+802	23400	2928	164	294	3
40+198	25740	2928	200	269	3
40+603	50667	4287	536	204	3
41+000	57256	4404	500	196	4
41+400	46740	4350	301	115	5
41+803	55733	4287	359	131	5
42+200	31145	5706	143	220	3
42+595	41873	4287	267	219	3
43+000	18480	2928	217	248	3
43+397	57256	4404	551	196	3
43+800	28600	2662	203	220	4
44+200	18480	1931	217	205	3
44+600	89963	6920	786	137	5
45+000	31460	2662	333	220	7
45+397	71012	5462	683	200	4
45+805	41455	4716	294	220	3
46+201	28600	2420	248	274	3
48+399	25812	2414	203	231	4
48+810	41873	4287	294	207	3
49+200	34606	3543	180	249	3
49+599	34606	3543	198	249	3
49+998	46165	3551	423	192	3
50+400	13645	1751	117	180	4
50+796	3902	3996	107	293	3
51+208	30673	2729	324	217	3
51+598	46061	4287	240	229	4
52+000	25740	2635	164	180	4
52+207	38067	2928	366	237	3
52+600	7343	697	143	218	4
53+001	28600	2420	203	251	2
53+401	31460	2662	223	300	3
53+773	34606	3897	179	180	4



RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 3 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL DERECHO



MODELO 3 CARRIL DERECHO				RMS
ESTACIÓN	E PCC (Mpa)	E AC (Mpa)	E SUBRASANTE (Mpa)	
0+501	11223	959	124	6
0+904	38263	2943	183	4
1+299	21119	1787	189	4
1+704	18954	1980	242	4
2+101	18954	1458	231	4
2+502	5944	391	118	7
2+905	13472	1036	248	4
3+298	15353	1443	162	5
3+700	12436	1063	233	4
4+104	19428	1494	247	3
4+500	11192	1286	242	4
4+903	19007	1462	208	4
5+304	13127	1010	254	5
5+701	32876	2529	227	3
6+102	31460	2662	259	3
6+504	4697	3336	230	3
6+900	17059	1604	209	4
7+303	8159	628	240	7
7+700	14969	1151	191	5
8+103	4367	25	261	14
8+301	4098	296	128	6
8+702	3512	270	196	9
9+100	5948	458	117	8
25+300	14585	1122	216	5
25+698	4270	11	125	15
26+101	2353	667	155	6
26+499	8159	628	160	6
26+902	10101	777	152	6
27+300	23219	1985	188	4
27+701	14517	1853	156	5
28+101	13856	1303	229	4
28+502	15161	1461	148	4
28+901	5651	435	187	9
29+303	10325	794	212	5
29+702	9179	863	143	6
30+100	12280	1184	146	5
30+502	3161	1791	176	4
30+901	18954	1458	192	4
31+300	22815	1800	198	4
31+700	4100	315	125	9
32+101	4119	317	229	10
32+504	25164	2635	182	4
32+901	28314	2662	197	4
33+101	12436	957	242	5
33+705	11192	861	240	5
34+102	10312	1132	225	4
34+503	6249	3540	236	3
34+900	41873	3221	218	4
35+300	50782	3906	194	4
35+700	18954	2420	242	4



36+101	18954	1980	220	4
36+500	46165	3551	235	3
36+903	20507	2121	194	4
37+300	35118	2701	206	4
37+701	51933	3995	197	4
38+103	5219	2957	164	4
38+503	6976	537	228	5
38+904	23219	1985	188	4
39+303	38153	2935	230	4
39+703	29315	2481	232	4
40+100	11814	909	229	4
40+500	38153	3228	231	3
40+904	41873	3543	244	3
41+301	98735	7595	208	4
41+699	61307	4716	169	4
42+100	21060	2662	220	4
42+498	12747	981	193	4
42+901	25799	2935	188	4
43+501	21060	1620	198	4
43+901	31532	2426	188	4
44+298	46165	3551	188	4
44+700	55860	4297	177	3
45+102	46165	3906	193	4
45+500	31532	2426	208	4
45+901	38067	2928	201	3
46+301	50667	3897	323	2
46+699	28314	2662	293	2
48+302	39018	3302	214	3
48+701	50782	4297	219	3
49+102	55860	4727	194	3
49+502	23400	2000	230	8
49+901	23693	2228	233	3
50+300	34685	2935	190	3
50+702	30030	2310	205	3
51+101	17059	1458	162	5
51+500	41873	3543	224	4
51+898	61446	4727	203	3
52+301	5353	412	196	6
52+699	12436	981	220	4
53+101	12470	1172	194	5
53+500	15234	1302	230	4



RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL MODELO 3 CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL IZQUIERDO



MODELO 3 CARRIL IZQUIERDO				RMS
ESTACIÓN	E PCC (Mpa)	E AC (Mpa)	E SUBRASANTE (Mpa)	
0+006	18480	1580	217	3
0+400	28600	2200	196	4
0+799	21119	1787	189	3
1+200	34606	2662	240	3
1+601	19428	2232	207	3
1+998	21587	2729	230	3
2+399	21060	1800	233	3
2+802	38153	3082	212	3
3+198	21060	1980	242	4
3+599	15353	1122	215	5
4+000	21060	1800	233	3
4+401	50782	3906	199	3
4+800	27316	2311	192	4
5+198	23230	1787	254	4
5+599	38067	3221	200	3
6+002	33741	2855	204	2
6+398	22230	1710	244	3
6+805	20007	1710	243	5
7+200	9569	818	208	6
7+597	12125	957	189	5
8+003	9066	680	164	8
8+398	9064	680	196	6
8+812	11192	861	178	10
9+202	9066	697	218	12
25+002	13817	1089	193	5
25+403	12436	1063	240	4
25+801	15353	1211	236	5
26+200	6278	483	208	7
26+605	5487	469	125	8
27+002	17059	1458	242	4
27+400	23400	1980	162	4
27+798	9066	697	144	11
28+202	17059	1312	188	7
28+604	12470	1066	187	4
28+998	15737	1211	193	5
29+400	23456	2695	239	4
29+798	15353	1181	218	5
30+197	7751	596	254	9
30+598	8159	628	176	8
30+999	28600	2200	217	4
31+397	38067	3221	200	3
31+799	17485	1345	193	5
32+200	25740	2662	196	3
32+599	81599	6905	189	3
33+000	74181	5706	187	4
33+402	36163	2928	249	3
33+800	21119	1805	244	4
34+600	13127	1010	194	6



35+000	7751	596	254	9
35+400	87052	6696	353	4
35+798	25740	2420	198	4
36+198	73910	5685	203	4
36+606	41873	3543	204	3
36+997	61446	5199	195	4
37+399	70809	5447	318	3
37+800	32247	2729	236	4
38+199	41968	3228	210	4
38+601	26757	2516	289	4
39+002	46061	3543	206	3
39+398	41873	3897	198	4
39+802	23985	2481	248	3
40+198	28393	2529	249	3
40+603	61446	5199	204	3
41+000	74350	5719	197	4
41+400	52788	4467	125	6
41+803	58955	4535	143	5
42+200	39994	3076	215	4
42+595	50667	3897	208	3
43+000	21060	2420	242	4
43+397	69123	5317	201	3
43+800	28600	2420	220	4
44+200	21060	1800	193	3
44+600	108855	8373	151	5
45+000	30030	2541	230	7
45+397	81599	6905	216	4
45+805	50667	3897	208	3
46+201	27027	2668	245	3
48+399	27885	2360	226	4
48+810	48502	3731	207	3
49+200	36336	2795	229	3
49+599	38153	3228	231	3
49+998	50667	4287	190	4
50+400	13065	1501	174	4
50+796	10073	775	266	5
51+208	37115	2855	205	3
51+598	46061	3897	222	4
52+000	28314	2178	180	4
52+207	41873	3543	224	3
52+600	7518	520	212	4
53+001	28393	2402	224	3
53+401	31460	2662	259	3
53+773	37329	2871	183	4



ANEXO F



RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ROTURA PARA LOS 3 MODELOS CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL DERECHO



MODELO 1 CARIL DERECHO			MODELO 2 CARIL DERECHO			MODELO 3 CARIL DERECHO		
Estación	S`c (psi)	S`c (Kg/cm) ²	Estación	S`c (psi)	S`c (Kg/cm) ²	Estación	S`c (psi)	S`c (Kg/cm) ²
0+501	1704652	119849	0+501	550	39	0+501	559	39
0+904	2453811	172520	0+904	702	49	0+904	730	51
1+299	2408350	169324	1+299	593	42	1+299	622	44
1+704	3238941	227720	1+704	544	38	1+704	608	43
2+101	3438866	241776	2+101	596	42	2+101	608	43
2+502	3757880	264205	2+502	529	37	2+502	526	37
2+905	3464679	243591	2+905	573	40	2+905	573	40
3+298	2130029	149756	3+298	596	42	3+298	585	41
3+700	4085800	287260	3+700	571	40	3+700	567	40
4+104	2894212	203483	4+104	608	43	4+104	611	43
4+500	3460327	243285	4+500	559	39	4+500	559	39
4+903	2787432	195976	4+903	596	42	4+903	608	43
5+304	3380894	237701	5+304	576	40	5+304	571	40
5+701	3392466	238514	5+701	687	48	5+701	696	49
6+102	3999133	281167	6+102	687	48	6+102	687	48
6+504	3248768	228411	6+504	516	36	6+504	518	36
6+900	3171313	222966	6+900	596	42	6+900	596	42
7+303	3673525	258275	7+303	546	38	7+303	540	38
7+700	2914660	204921	7+700	581	41	7+700	583	41
8+103	3953539	277961	8+103	500	35	8+103	516	36
8+301	3484959	245017	8+301	510	36	8+301	514	36
8+702	3369189	236878	8+702	506	36	8+702	511	36
9+100	1664085	116997	9+100	525	37	9+100	526	37
25+300	3401661	239161	25+300	581	41	25+300	581	41
25+698	2898695	203799	25+698	509	36	25+698	515	36
26+101	2100835	147703	26+101	500	35	26+101	503	35
26+499	2214613	155703	26+499	539	38	26+499	540	38
26+902	2138061	150321	26+902	549	39	26+902	552	39
27+300	2425936	170560	27+300	573	40	27+300	635	45
27+701	2087255	146749	27+701	596	42	27+701	580	41
28+101	3224148	226680	28+101	576	40	28+101	576	40
28+502	1940142	136406	28+502	573	40	28+502	584	41
28+901	3744739	263281	28+901	526	37	28+901	524	37
29+303	2954386	207714	29+303	543	38	29+303	554	39
29+702	1871599	131586	29+702	552	39	29+702	546	38
30+100	1897753	133425	30+100	563	40	30+100	566	40
30+502	2397948	168592	30+502	508	36	30+502	508	36
30+901	2641314	185703	30+901	535	38	30+901	608	43
31+300	2646665	186079	31+300	535	38	31+300	632	44
31+700	1758197	123614	31+700	504	35	31+700	514	36
32+101	5131425	360775	32+101	521	37	32+101	514	36
32+504	2415310	169813	32+504	651	46	32+504	647	46
32+901	2715493	190918	32+901	519	36	32+901	667	47
33+101	3447309	242370	33+101	526	37	33+101	567	40
33+705	3254758	228832	33+705	563	40	33+705	559	39
34+102	3730135	262255	34+102	519	36	34+102	554	39
34+503	3058272	215018	34+503	522	37	34+503	528	37
34+900	2712961	190740	34+900	729	51	34+900	753	53
35+300	2646618	186076	35+300	779	55	35+300	809	57
35+700	3186659	224044	35+700	540	38	35+700	608	43



36+101	2810003	197563	36+101	526	37	36+101	608	43
36+500	3300067	232018	36+500	753	53	36+500	780	55
36+903	2926935	205784	36+903	621	44	36+903	618	43
37+300	2665510	187404	37+300	707	50	37+300	710	50
37+701	2671145	187800	37+701	808	57	37+701	816	57
38+103	2094365	147249	38+103	521	37	38+103	521	37
38+503	3623933	254788	38+503	519	36	38+503	533	37
38+904	2429124	170784	38+904	618	43	38+904	635	45
39+303	3058221	215014	39+303	729	51	39+303	729	51
39+703	3259184	229143	39+703	687	48	39+703	673	47
40+100	2978809	209431	40+100	537	38	40+100	563	40
40+500	3346474	235281	40+500	707	50	40+500	729	51
40+904	3539712	248867	40+904	753	53	40+904	753	53
41+301	2866522	201537	41+301	1004	71	41+301	1111	78
41+699	2359838	165913	41+699	779	55	41+699	875	62
42+100	2933425	206240	42+100	632	44	42+100	621	44
42+498	2616280	183943	42+498	575	40	42+498	569	40
42+901	2412358	169606	42+901	667	47	42+901	651	46
43+501	2680635	188467	43+501	605	43	43+501	621	44
43+901	2725827	191645	43+901	651	46	43+901	687	48
44+298	2456248	172691	44+298	729	51	44+298	780	55
44+700	2446279	171991	44+700	779	55	44+700	841	59
45+102	2632095	185055	45+102	753	53	45+102	780	55
45+500	2736360	192385	45+500	669	47	45+500	687	48
45+901	2916942	205081	45+901	707	50	45+901	729	51
46+301	4304029	302603	46+301	779	55	46+301	808	57
46+699	5452303	383335	46+699	667	47	46+699	667	47
48+302	3071754	215966	48+302	729	51	48+302	735	52
48+701	3324140	233710	48+701	779	55	48+701	809	57
49+102	2702271	189989	49+102	808	57	49+102	841	59
49+502	3510257	246796	49+502	636	45	49+502	636	45
49+901	3334868	234465	49+901	636	45	49+901	638	45
50+300	2771127	194830	50+300	687	48	50+300	707	50
50+702	3065553	215530	50+702	669	47	50+702	678	48
51+101	2089437	146902	51+101	585	41	51+101	596	42
51+500	3247162	228298	51+500	766	54	51+500	753	53
51+898	2889849	203177	51+898	808	57	51+898	876	62
52+301	2844217	199968	52+301	510	36	52+301	522	37
52+699	3377489	237461	52+699	567	40	52+699	567	40
53+101	2903582	204142	53+101	573	40	53+101	567	40
53+500	3193370	224516	53+500	596	42	53+500	585	41



RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ROTURA PARA LOS 3 MODELOS CALCULADOS CON EL ELMOD 6 PARA EL CARRIL IZQUIERDO



MODELO 1 CARRIL IZQUIERDO			MODELO 2 CARIL IZQUIERO			MODELO 3 CARIL IZQUIERO		
Estación	S`c (psi)	S`c (Kg/cm ²)	Estación	S`c (psi)	S`c (Kg/cm ²)	Estación	S`c (psi)	S`c (Kg/cm ²)
0+006	3218013	226249	0+006	571	40	0+006	605	43
0+400	2763374	194285	0+400	653	46	0+400	669	47
0+799	2437370	171364	0+799	573	40	0+799	622	44
1+200	3504501	246391	1+200	701	49	1+200	707	50
1+601	2954748	207739	1+601	576	40	1+601	611	43
1+998	3280301	230628	1+998	653	46	1+998	625	44
2+399	3622548	254691	2+399	615	43	2+399	621	44
2+802	3268126	229772	2+802	707	50	2+802	729	51
3+198	3287926	231164	3+198	583	41	3+198	621	44
3+599	5132196	360829	3+599	584	41	3+599	585	41
4+000	3622548	254691	4+000	615	43	4+000	621	44
4+401	3085077	216903	4+401	543	38	4+401	809	57
4+800	2755804	193752	4+800	651	46	4+800	661	46
5+198	3446108	242285	5+198	622	44	5+198	635	45
5+599	2862654	201265	5+599	707	50	5+599	729	51
6+002	3189925	224274	6+002	677	48	6+002	701	49
6+398	3007293	211434	6+398	636	45	6+398	629	44
6+805	2973327	209046	6+805	608	43	6+805	615	43
7+200	3109586	218626	7+200	556	39	7+200	549	39
7+597	4315867	303436	7+597	556	39	7+597	565	40
8+003	2762658	194234	8+003	549	39	8+003	546	38
8+398	4755555	334349	8+398	552	39	8+398	546	38
8+812	2483781	174627	8+812	559	39	8+812	559	39
9+202	5511579	387503	9+202	558	39	9+202	546	38
25+002	2709292	190482	25+002	571	40	25+002	576	40
25+403	3308802	232632	25+403	567	40	25+403	567	40
25+801	3516984	247269	25+801	596	42	25+801	585	41
26+200	3270029	229906	26+200	530	37	26+200	528	37
26+605	1802388	126720	26+605	524	37	26+605	523	37
27+002	3621726	254633	27+002	596	42	27+002	596	42
27+400	2216324	155823	27+400	620	44	27+400	636	45
27+798	3696963	259922	27+798	540	38	27+798	546	38
28+202	3040718	213784	28+202	584	41	28+202	596	42
28+604	2670115	187728	28+604	559	39	28+604	567	40
28+998	2666627	187483	28+998	583	41	28+998	588	41
29+400	3260711	229251	29+400	651	46	29+400	636	45
29+798	3248250	228375	29+798	576	40	29+798	585	41
30+197	7300227	513257	30+197	546	38	30+197	537	38
30+598	3594963	252751	30+598	544	38	30+598	540	38
30+999	3395885	238755	30+999	669	47	30+999	669	47
31+397	2873107	202000	31+397	705	50	31+397	729	51
31+799	2737046	192433	31+799	586	41	31+799	599	42
32+200	2749785	193329	32+200	621	44	32+200	651	46
32+599	2612747	183694	32+599	915	64	32+599	1003	71
33+000	2577823	181239	33+000	840	59	33+000	957	67
33+402	4255664	299203	33+402	707	50	33+402	717	50



33+800	3018574	212227	33+800	621	44	33+800	622	44
34+600	3367310	236745	34+600	575	40	34+600	571	40
35+000	6668639	468852	35+000	577	41	35+000	537	38
35+400	3510333	246801	35+400	1113	78	35+400	1038	73
35+798	2642731	185802	35+798	651	46	35+798	651	46
36+198	2080005	146239	36+198	935	66	36+198	955	67
36+606	3047265	214244	36+606	729	51	36+606	753	53
36+997	2649883	186305	36+997	840	59	36+997	876	62
37+399	4914251	345506	37+399	875	62	37+399	935	66
37+800	3231085	227168	37+800	667	47	37+800	692	49
38+199	2890792	203243	38+199	729	51	38+199	753	53
38+601	3885427	273173	38+601	687	48	38+601	657	46
39+002	3082040	216689	39+002	753	53	39+002	779	55
39+398	2749419	193303	39+398	729	51	39+398	753	53
39+802	5304816	372966	39+802	636	45	39+802	640	45
40+198	2992522	210395	40+198	651	46	40+198	668	47
40+603	2968671	208718	40+603	808	57	40+603	876	62
41+000	2794562	196477	41+000	850	60	41+000	958	67
41+400	1660678	116757	41+400	783	55	41+400	822	58
41+803	1849698	130047	41+803	840	59	41+803	860	60
42+200	2725141	191596	42+200	685	48	42+200	741	52
42+595	3119073	219293	42+595	753	53	42+595	808	57
43+000	3231435	227192	43+000	605	43	43+000	621	44
43+397	2781586	195565	43+397	850	60	43+397	925	65
43+800	2925799	205704	43+800	669	47	43+800	669	47
44+200	2783249	195682	44+200	605	43	44+200	621	44
44+600	2040276	143446	44+600	1056	74	44+600	1175	83
45+000	2954790	207742	45+000	687	48	45+000	678	48
45+397	2846930	200159	45+397	937	66	45+397	1003	71
45+805	3128696	219969	45+805	750	53	45+805	808	57
46+201	4014906	282276	46+201	669	47	46+201	659	46
48+399	3175214	223240	48+399	651	46	48+399	664	47
48+810	2915145	204955	48+810	753	53	48+810	795	56
49+200	3388121	238209	49+200	707	50	49+200	718	50
49+599	3399623	239017	49+599	707	50	49+599	729	51
49+998	2680756	188476	49+998	780	55	49+998	808	57
50+400	2359341	165878	50+400	575	40	50+400	571	40
50+796	3611873	253940	50+796	513	36	50+796	552	39
51+208	3196642	224746	51+208	682	48	51+208	723	51
51+598	3188412	224168	51+598	779	55	51+598	779	55
52+000	2420052	170147	52+000	651	46	52+000	667	47
52+207	3329816	234109	52+207	729	51	52+207	753	53
52+600	2943401	206942	52+600	535	38	52+600	536	38
53+001	3429106	241090	53+001	669	47	53+001	668	47
53+401	4076623	286615	53+401	687	48	53+401	687	48
53+773	2476884	174142	53+773	707	50	53+773	724	51



ANEXO G



PARAMETROS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA DISTANCIA CRÍTICA



E SUBESTRUCTURA = 20000 psi							
ESPESOR LOSA = 7.7 in							
E PCC= 3000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00528	0.00724	37.12	0.00708	34.09	0.00709	34.28
8	0.00469	0.00681	45.20	0.00667	42.22	0.00667	42.22
12	0.00409	0.00645	57.70	0.00631	54.28	0.00594	45.23
24	0.00398	0.00524	31.66	0.00513	28.89	0.00478	20.10
36	0.00354	0.00413	16.67	0.00406	14.69	0.00376	6.21
48	0.00311	0.00324	4.18	0.00319	2.57	0.00296	-4.82
60	0.00256	0.00255	-0.39	0.00253	-1.17	0.00235	-8.20
E PCC= 5000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00528	0.00616	16.67	0.00603	14.20	0.00602	14.02
8	0.00469	0.00588	25.37	0.00576	22.81	0.00575	22.60
12	0.00409	0.00564	37.90	0.00552	34.96	0.00526	28.61
24	0.00398	0.00479	20.35	0.0047	18.09	0.00442	11.06
36	0.00354	0.00395	11.58	0.00388	9.60	0.00364	2.82
48	0.00311	0.00322	3.54	0.00318	2.25	0.00297	-4.50
60	0.00256	0.00261	1.95	0.00259	1.17	0.00242	-5.47
E PCC= 7000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00528	0.00555	5.11	0.00544	3.03	0.00542	2.65
8	0.00469	0.00534	13.86	0.00524	11.73	0.00522	11.30
12	0.00409	0.00515	25.92	0.00506	23.72	0.00484	18.34
24	0.00398	0.00449	12.81	0.0044	10.55	0.00417	4.77
36	0.00354	0.0038	7.34	0.00374	5.65	0.00352	-0.56
48	0.00311	0.00317	1.93	0.00313	0.64	0.00294	-5.47
60	0.00256	0.00261	1.95	0.0026	1.56	0.00244	-4.69



E SUBESTRUCTURA = 20000 psi							
ESPESOR LOSA = 8.7 in							
E PCC= 3000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00528	0.00645	22.16	0.00631	19.51	0.0063	19.32
8	0.00469	0.00613	30.70	0.006	27.93	0.006	27.93
12	0.00409	0.00586	43.28	0.00574	40.34	0.00545	33.25
24	0.00398	0.00481	20.85	0.0047	18.09	0.00453	13.82
36	0.00354	0.00401	13.28	0.00394	11.30	0.00368	3.95
48	0.00311	0.00323	3.86	0.00319	2.57	0.00297	-4.50
60	0.00256	0.0026	1.56	0.00258	0.78	0.0024	-6.25
E PCC= 5000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00528	0.0055	4.17	0.00539	2.08	0.00537	1.70
8	0.00469	0.0053	13.01	0.00519	10.66	0.00517	10.23
12	0.00409	0.00511	24.94	0.00502	22.74	0.0048	17.36
24	0.00398	0.00446	12.06	0.00438	10.05	0.00415	4.27
36	0.00354	0.00378	6.78	0.00372	5.08	0.00351	-0.85
48	0.00311	0.00316	1.61	0.00312	0.32	0.00294	-5.47
60	0.00256	0.00261	1.95	0.0026	1.56	0.00244	-4.69
E PCC= 7000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00528	0.00495	-6.25	0.00487	-7.77	0.00484	-8.33
8	0.00469	0.0048	2.35	0.00472	0.64	0.0047	0.21
12	0.00409	0.00466	13.94	0.00459	12.22	0.00441	7.82
24	0.00398	0.00415	4.27	0.00409	2.76	0.00401	0.75
36	0.00354	0.0036	1.69	0.00355	0.28	0.00337	-4.80
48	0.00311	0.00307	-1.29	0.00304	-2.25	0.00287	-7.72
60	0.00256	0.00259	1.17	0.00258	0.78	0.00243	-5.08



E SUBESTRUCTURA = 50000 psi							
ESPESOR LOSA = 7.7 in							
E PCC= 3000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00335	0.00392	17.01	0.0038	13.43	0.00383	14.33
8	0.0028	0.00355	26.79	0.00345	23.21	0.00347	23.93
12	0.0024	0.00325	35.42	0.00317	32.08	0.0029	20.83
24	0.00224	0.00235	4.91	0.00232	3.57	0.0021	-6.25
36	0.00165	0.00169	2.42	0.00167	1.21	0.00151	-8.48
48	0.00126	0.00124	-1.59	0.00122	-3.17	0.00111	-11.90
60	0.00094	0.00094	0.00	0.00093	-1.06	0.00086	-8.51
E PCC= 5000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00335	0.00331	-1.19	0.00322	-3.88	0.00323	-3.58
8	0.0028	0.00307	9.64	0.00299	6.79	0.003	7.14
12	0.0024	0.00286	19.17	0.0028	16.67	0.0026	8.33
24	0.00224	0.00223	-0.45	0.00218	-2.68	0.00201	-10.27
36	0.00165	0.00169	2.42	0.00166	0.61	0.00152	-7.88
48	0.00126	0.00128	1.59	0.00126	0.00	0.00116	-7.94
60	0.00094	0.00099	5.32	0.00098	4.26	0.0009	-4.26
E PCC= 7000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00335	0.00296	-11.64	0.00289	-13.73	0.0029	-13.43
8	0.0028	0.00278	-0.71	0.00272	-2.86	0.00272	-2.86
12	0.0024	0.00263	9.58	0.00257	7.08	0.00241	0.42
24	0.00224	0.00212	-5.36	0.00208	-7.14	0.00197	-12.05
36	0.00165	0.00166	0.61	0.00163	-1.21	0.00151	-8.48
48	0.00126	0.00129	2.38	0.00127	0.79	0.00118	-6.35
60	0.00094	0.00101	7.45	0.00101	7.45	0.00093	-1.06



E SUBESTRUCTURA = 50000 psi							
ESPESOR LOSA = 8.7 in							
E PCC= 3000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00335	0.00347	3.58	0.00338	0.90	0.00339	1.19
8	0.0028	0.0032	14.29	0.00312	11.43	0.00312	11.43
12	0.0024	0.00297	23.75	0.0029	20.83	0.00269	12.08
24	0.00224	0.00227	1.34	0.00223	-0.45	0.00204	-8.93
36	0.00165	0.00169	2.42	0.00166	0.61	0.00152	-7.88
48	0.00126	0.00127	0.79	0.00125	-0.79	0.00115	-8.73
60	0.00094	0.00097	3.19	0.00097	3.19	0.00089	-5.32
E PCC= 5000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00335	0.00293	-12.54	0.00287	-14.33	0.00287	-14.33
8	0.0028	0.00276	-1.43	0.0027	-3.57	0.0027	-3.57
12	0.0024	0.00261	8.75	0.00255	6.25	0.0024	0.00
24	0.00224	0.00211	-5.80	0.00207	-7.59	0.00192	-14.29
36	0.00165	0.00166	0.61	0.00163	-1.21	0.00151	-8.48
48	0.00126	0.00129	2.38	0.00128	1.59	0.00118	-6.35
60	0.00094	0.00102	8.51	0.00101	7.45	0.00094	0.00
E PCC= 7000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00335	0.00263	-21.49	0.00258	-22.99	0.00258	-22.99
8	0.0028	0.0025	-10.71	0.00245	-12.50	0.00245	-12.50
12	0.0024	0.00238	-0.83	0.00234	-2.50	0.00221	-7.92
24	0.00224	0.00199	-11.16	0.00195	-12.95	0.0019	-15.18
36	0.00165	0.00161	-2.42	0.00159	-3.64	0.00148	-10.30
48	0.00126	0.00129	2.38	0.00128	1.59	0.00119	-5.56
60	0.00094	0.00103	9.57	0.00103	9.57	0.00096	2.13



E SUBESTRUCTURA = 80000 psi							
ESPESOR LOSA = 7.7 in							
E PCC= 3000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00173	0.00287	65.90	0.00277	60.12	0.00279	61.27
8	0.00146	0.00253	73.29	0.00245	67.81	0.00246	68.49
12	0.0013	0.00227	74.62	0.00221	70.00	0.00197	51.54
24	0.00122	0.00155	27.05	0.001512	23.93	0.00134	9.84
36	0.00087	0.00104	19.54	0.00103	18.39	0.00092	5.75
48	0.00067	0.00074	10.45	0.00073	8.96	0.00069	2.99
60	0.00051	0.00056	9.80	0.00056	9.80	0.00053	3.92
E PCC= 5000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00173	0.00242	39.88	0.00235	35.84	0.00235	35.84
8	0.00146	0.00219	50.00	0.00213	45.89	0.00214	46.58
12	0.0013	0.00201	54.62	0.00196	50.77	0.00179	37.69
24	0.00122	0.00148	21.31	0.00145	18.85	0.0013	6.56
36	0.00087	0.00106	21.84	0.00104	19.54	0.00094	8.05
48	0.00067	0.00077	14.93	0.00077	14.93	0.00069	2.99
60	0.00051	0.00059	15.69	0.00058	13.73	0.00053	3.92
E PCC= 7000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00173	0.00216	24.86	0.0021	21.39	0.00211	21.97
8	0.00146	0.00199	36.30	0.00194	32.88	0.00194	32.88
12	0.0013	0.00185	42.31	0.00181	39.23	0.00167	28.46
24	0.00122	0.00142	16.39	0.00139	13.93	0.00127	4.10
36	0.00087	0.00106	21.84	0.00104	19.54	0.00094	8.05
48	0.00067	0.00079	17.91	0.00078	16.42	0.00071	5.97
60	0.00051	0.00061	19.61	0.0006	17.65	0.00055	7.84



E SUBESTRUCTURA = 80000 psi							
ESPESOR LOSA = 8.7 in							
E PCC= 3000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00173	0.00253	46.24	0.00246	42.20	0.00247	42.77
8	0.00146	0.00228	56.16	0.00222	52.05	0.00222	52.05
12	0.0013	0.00208	60.00	0.00203	56.15	0.00184	41.54
24	0.00122	0.0015	22.95	0.00147	20.49	0.00132	8.20
36	0.00087	0.00106	21.84	0.00104	19.54	0.00093	6.90
48	0.00067	0.00077	14.93	0.00076	13.43	0.00071	5.97
60	0.00051	0.00058	13.73	0.00058	13.73	0.00056	9.80
E PCC= 5000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00173	0.00214	23.70	0.00208	20.23	0.00208	20.23
8	0.00146	0.00197	34.93	0.00193	32.19	0.00192	31.51
12	0.0013	0.00184	41.54	0.00179	37.69	0.00166	27.69
24	0.00122	0.00141	15.57	0.00138	13.11	0.00126	3.28
36	0.00087	0.00106	21.84	0.00104	19.54	0.00094	8.05
48	0.00067	0.00079	17.91	0.00078	16.42	0.00071	5.97
60	0.00051	0.00061	19.61	0.00061	19.61	0.00055	7.84
E PCC= 7000000 psi							
Distancia al centro del plato de carga (in)	Deflexión FWD (in)	Losa 14ft X 12ft		Losa 15ft X 13ft		Losa 16ft X 14ft	
		Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %	Deflexión (in)	Diferencia %
0	0.00173	0.00191	10.40	0.00187	8.09	0.00187	8.09
8	0.00146	0.00179	22.60	0.00175	19.86	0.00174	19.18
12	0.0013	0.00169	30.00	0.00165	26.92	0.00154	18.46
24	0.00122	0.00135	10.66	0.00132	8.20	0.00121	-0.82
36	0.00087	0.00104	19.54	0.00102	17.24	0.00094	8.05
48	0.00067	0.00081	20.90	0.0008	19.40	0.00073	8.96
60	0.00051	0.00063	23.53	0.00062	21.57	0.00057	11.76



ANEXO H



PARAMETROS ESTRUCTURALES CALCULADOS POR EL MÉTODO DE LA DISTANCIA CRÍTICA PARA EL CARRIL DERECHO



ABSCISA	d36 (in)	d48 (in)	d60 (in)	E36 (psi)	E48 (psi)	E60 (psi)	E PROM (psi)	E LOSA (psi)	d0 INICIAL (in)	d0 CALCULADO (in)	% RMS	S`c (psi)	S`c (kg/cm ²)
0+501	0.00417	0.00366	0.00307	18611	16003	15068	16561	2800000	0.00591	0.00585	1	610	43
0+904	0.00236	0.00217	0.00197	32880	27060	23506	27815	6900000	0.00303	0.00314	-4	789	55
1+299	0.00260	0.00228	0.00197	29891	25660	23506	26352	3700000	0.00374	0.00386	-3	649	46
1+704	0.00217	0.00185	0.00157	35869	31666	29383	32306	3300000	0.00331	0.00341	-3	632	44
2+101	0.00189	0.00161	0.00134	41100	36300	34568	37322	2600000	0.00315	0.00324	-3	602	42
2+502	0.00264	0.00173	0.00122	29445	33825	37913	33728	160000	0.00622	0.00623	0	495	35
2+905	0.00232	0.00197	0.00165	33437	29766	27983	30395	2000000	0.00386	0.00403	-4	576	40
3+298	0.00315	0.00276	0.00240	24660	21261	19267	21730	3200000	0.00449	0.00462	-3	628	44
3+700	0.00165	0.00126	0.00094	46971	46509	48971	47484	1100000	0.00335	0.00324	3	536	38
4+104	0.00181	0.00150	0.00122	42887	39165	37913	39988	2600000	0.00299	0.00307	-3	602	42
4+500	0.00236	0.00201	0.00165	32880	29182	27983	30015	2000000	0.00394	0.00407	-3	576	40
4+903	0.00252	0.00224	0.00189	30825	26110	24486	27140	3300000	0.00374	0.00389	-4	632	44
5+304	0.00228	0.00193	0.00157	34014	30373	29383	31257	1800000	0.00398	0.00404	-2	567	40
5+701	0.00150	0.00126	0.00102	51916	46509	45204	47876	3900000	0.00236	0.00243	-3	658	46
6+102	0.00130	0.00110	0.00094	59782	53153	48971	53969	3600000	0.00220	0.00226	-3	645	45
6+504	0.00189	0.00154	0.00126	41100	38161	36728	38663	1100000	0.00390	0.00382	2	536	38
6+900	0.00213	0.00177	0.00146	36533	33073	31765	33790	3000000	0.00335	0.00338	-1	619	44
7+303	0.00276	0.00220	0.00173	28183	26577	26711	27157	1400000	0.00469	0.00478	-2	549	39
7+700	0.00244	0.00201	0.00154	31819	29182	30136	30379	2800000	0.00374	0.00372	1	610	43
8+103	0.00402	0.00283	0.00201	19341	20671	23045	21019	65000	0.01165	0.01129	3	491	35
8+301	0.00276	0.00197	0.00138	28183	29766	33580	30510	80000	0.00791	0.00788	0	492	35
8+702	0.00358	0.00272	0.00209	21679	21569	22176	21808	200000	0.00819	0.0085	-4	497	35
9+100	0.00496	0.00409	0.00335	15657	14310	13827	14598	1000000	0.00835	0.00832	0	532	37
25+300	0.00220	0.00181	0.00142	35229	32354	32647	33410	2500000	0.00358	0.00356	1	597	42
25+698	0.00866	0.00642	0.00465	8967	9131	9960	9353	210000	0.01677	0.01657	1	498	35
26+101	0.00386	0.00323	0.00264	20131	18150	17542	18607	250000	0.00898	0.00923	-3	499	35
26+499	0.00362	0.00303	0.00244	21443	19328	18957	19909	1300000	0.00606	0.00617	-2	545	38
26+902	0.00382	0.00319	0.00260	20338	18374	17808	18840	2200000	0.00555	0.00566	-2	584	41
27+300	0.00256	0.00228	0.00197	30351	25660	23506	26506	4000000	0.00366	0.00377	-3	663	47
27+701	0.00323	0.00283	0.00240	24059	20671	19267	21332	3500000	0.00445	0.00458	-3	641	45
28+101	0.00248	0.00213	0.00173	31314	27561	26711	28529	2500000	0.00386	0.00401	-4	597	42
28+502	0.00339	0.00295	0.00248	22940	19844	18656	20480	2700000	0.00484	0.00501	-3	606	43
28+901	0.00362	0.00291	0.00220	21443	20112	20988	20848	1000000	0.00650	0.00632	3	532	37
29+303	0.00276	0.00228	0.00181	28183	25660	25550	26464	1500000	0.00469	0.0048	-2	554	39
29+702	0.00378	0.00327	0.00268	20550	17931	17284	18588	1600000	0.00606	0.00619	-2	558	39
30+100	0.00354	0.00311	0.00256	21920	18839	18082	19614	2100000	0.00528	0.00549	-4	580	41
30+502	0.00319	0.00268	0.00224	24356	21887	20619	22287	900000	0.00618	0.00614	1	528	37
30+901	0.00213	0.00185	0.00146	36533	31666	31765	33321	2100000	0.00358	0.00372	-4	580	41
31+300	0.00201	0.00173	0.00146	38682	33825	31765	34757	2500000	0.00331	0.00345	-4	597	42
31+700	0.00496	0.00398	0.00311	15657	14736	14877	15090	500000	0.00953	0.00947	1	510	36
32+101	0.00327	0.00248	0.00181	23769	23624	25550	24314	300000	0.00705	0.00718	-2	502	35
32+504	0.00252	0.00228	0.00197	30825	25660	23506	26664	5000000	0.00346	0.00354	-2	706	50
32+901	0.00189	0.00169	0.00142	41100	34611	32647	36120	3500000	0.00311	0.00309	1	641	45
33+301	0.00240	0.00205	0.00165	32341	28621	27983	29648	1700000	0.00413	0.00427	-3	562	40
33+705	0.00244	0.00209	0.00165	31819	28081	27983	29295	1500000	0.00433	0.00443	-2	554	39
34+102	0.00161	0.00126	0.00098	48117	46509	47012	47213	500000	0.00378	0.00381	-1	510	36
34+503	0.00220	0.00193	0.00161	35229	30373	28666	31423	2000000	0.00390	0.00393	-1	576	40
34+900	0.00201	0.00189	0.00165	38682	31006	27983	32557	6500000	0.00276	0.00285	-3	771	54
35+300	0.00173	0.00165	0.00142	44836	35435	32647	37640	5800000	0.00256	0.00264	-3	741	52
35+700	0.00213	0.00189	0.00157	36533	31006	29383	32307	3600000	0.00323	0.00333	-3	645	45
36+101	0.00224	0.00201	0.00169	34611	29182	27333	30375	3000000	0.00354	0.00366	-3	619	44



36+500	0.00134	0.00118	0.00098	58024	49610	47012	51548	5200000	0.00209	0.00215	-3	715	50
36+903	0.00177	0.00150	0.00114	43840	39165	40528	41178	2300000	0.00303	0.00309	-2	589	41
37+300	0.00220	0.00201	0.00173	35229	29182	26711	30374	5800000	0.00299	0.00309	-3	741	52
37+701	0.00173	0.00161	0.00138	44836	36300	33580	38239	7000000	0.00240	0.00248	-3	793	56
38+103	0.00323	0.00280	0.00232	24059	20962	19920	21647	2000000	0.00512	0.00522	-2	576	40
38+503	0.00213	0.00169	0.00122	36533	34611	37913	36353	300000	0.00516	0.00521	-1	502	35
38+904	0.00256	0.00232	0.00193	30351	25225	23986	26521	4200000	0.00362	0.00372	-3	671	47
39+303	0.00161	0.00150	0.00122	48117	39165	37913	41732	4500000	0.00252	0.0026	-3	684	48
39+703	0.00169	0.00154	0.00122	45879	38161	37913	40651	3300000	0.00280	0.00287	-3	632	44
40+100	0.00248	0.00209	0.00165	31314	28081	27983	29126	1600000	0.00429	0.00439	-2	558	39
40+500	0.00161	0.00142	0.00126	48117	41341	36728	42062	5000000	0.00244	0.00252	-3	706	50
40+904	0.00138	0.00118	0.00098	56366	49610	47012	50996	5500000	0.00205	0.00213	-4	728	51
41+301	0.00146	0.00138	0.00126	53319	42522	36728	44190	10500000	0.00193	0.002	-4	945	66
41+699	0.00197	0.00181	0.00161	39456	32354	28666	33492	9000000	0.00244	0.00255	-4	880	62
42+100	0.00228	0.00201	0.00173	34014	29182	26711	29969	4300000	0.00327	0.00337	-3	676	47
42+498	0.00287	0.00244	0.00205	27025	24005	22602	24544	2800000	0.00429	0.00437	-2	610	43
42+901	0.00248	0.00224	0.00197	31314	26110	23506	26977	5200000	0.00335	0.00347	-4	715	50
43+501	0.00260	0.00228	0.00193	29891	25660	23986	26512	4000000	0.00366	0.00377	-3	663	47
43+901	0.00209	0.00181	0.00157	37223	32354	29383	32986	5000000	0.00291	0.00302	-4	706	50
44+298	0.00224	0.00201	0.00185	34611	29182	25006	29600	7000000	0.00291	0.00299	-3	793	56
44+700	0.00189	0.00173	0.00157	41100	33825	29383	34769	7800000	0.00248	0.00258	-4	828	58
45+102	0.00181	0.00165	0.00146	42887	35435	31765	36696	6500000	0.00252	0.00261	-4	771	54
45+500	0.00181	0.00161	0.00138	42887	36300	33580	37589	4000000	0.00283	0.0029	-2	663	47
45+901	0.00154	0.00134	0.00114	50585	43773	40528	44962	4500000	0.00240	0.00246	-2	684	48
46+301	0.00091	0.00075	0.00063	85774	78331	73457	79187	4500000	0.00154	0.0016	-4	684	48
46+699	0.00087	0.00067	0.00051	89673	87546	90408	89209	2500000	0.00173	0.00166	4	597	42
48+302	0.00177	0.00154	0.00138	43840	38161	33580	38527	6500000	0.00244	0.00252	-3	771	54
48+701	0.00142	0.00122	0.00106	54800	48009	43530	48780	6500000	0.00205	0.00211	-3	771	54
49+102	0.00177	0.00161	0.00142	43840	36300	32647	37596	8500000	0.00228	0.00238	-4	858	60
49+502	0.00173	0.00161	0.00142	44836	36300	32647	37928	8500000	0.00240	0.00248	-3	858	60
49+901	0.00181	0.00154	0.00130	42887	38161	35615	38888	4000000	0.00272	0.00283	-4	663	47
50+300	0.00201	0.00177	0.00146	38682	33073	31765	34507	5600000	0.00276	0.00284	-3	732	51
50+702	0.00161	0.00138	0.00110	48117	42522	41975	44205	3600000	0.00256	0.00264	-3	645	45
51+101	0.00315	0.00276	0.00236	24660	21261	19588	21837	3300000	0.00441	0.00457	-4	632	44
51+500	0.00138	0.00126	0.00110	56366	46509	41975	48283	4000000	0.00232	0.0024	-3	663	47
51+898	0.00142	0.00130	0.00114	54800	45100	40528	46809	7200000	0.00205	0.00212	-4	802	56
52+301	0.00319	0.00256	0.00209	24356	22897	22176	23143	500000	0.00673	0.00675	0	510	36
52+699	0.00209	0.00173	0.00134	37223	33825	34568	35205	1500000	0.00378	0.00384	-2	554	39
53+101	0.00232	0.00193	0.00154	33437	30373	30136	31315	2000000	0.00390	0.00394	-1	576	40
53+500	0.00244	0.00205	0.00173	31819	28621	26711	29051	3000000	0.00366	0.00378	-3	619	44



PARAMETROS ESTRUCTURALES CALCULADOS POR EL MÉTODO DE LA DISTANCIA CRÍTICA PARA EL CARRIL IZQUIERDO



ABSCISA	d36 (in)	d48 (in)	d60 (in)	E36 (psi)	E48 (psi)	E60 (psi)	E PROM (psi)	E LOSA (psi)	d0 INICIAL (in)	d0 CALCULADO (in)	% RMS	S`c (psi)	S`c (kg/cm ²)
0+006	0.00197	0.00169	0.00134	39456	34611	34568	36212	2500000	0.00327	0.00335	-3	597	42
0+400	0.00197	0.00173	0.00142	39456	33825	32647	35309	3500000	0.00307	0.00315	-3	641	45
0+799	0.00252	0.00232	0.00197	30825	25225	23506	26519	3750000	0.00370	0.00383	-3	652	46
1+200	0.00165	0.00146	0.00118	46971	40224	39177	42124	4750000	0.00248	0.00255	-3	695	49
1+601	0.00193	0.00165	0.00138	40261	35435	33580	36425	3000000	0.00311	0.00319	-3	619	44
1+998	0.00173	0.00154	0.00126	44836	38161	36728	39909	3750000	0.00276	0.00282	-2	652	46
2+399	0.00189	0.00157	0.00126	41100	37207	36728	38345	3500000	0.00287	0.00296	-3	641	45
2+802	0.00150	0.00134	0.00110	51916	43773	41975	45888	5250000	0.00228	0.00233	-2	717	50
3+198	0.00217	0.00189	0.00157	35869	31006	29383	32086	4000000	0.00319	0.00327	-3	663	47
3+599	0.00157	0.00118	0.00087	49320	49609	53423	50784	1500000	0.00295	0.00288	2	554	39
4+000	0.00189	0.00157	0.00126	41100	37207	36728	38345	3300000	0.00291	0.00300	-3	632	44
4+401	0.00150	0.00130	0.00110	51916	45099	41975	46330	5250000	0.00224	0.00232	-3	717	50
4+800	0.00205	0.00181	0.00154	37938	32354	30136	33476	4750000	0.00295	0.00303	-3	695	49
5+198	0.00213	0.00185	0.00154	36533	31666	30136	32778	4750000	0.00299	0.00308	-3	695	49
5+599	0.00185	0.00165	0.00142	41974	35435	32647	36686	5250000	0.00264	0.00269	-2	717	50
6+002	0.00157	0.00134	0.00114	49320	43773	40528	44540	4750000	0.00240	0.00245	-2	695	49
6+398	0.00185	0.00146	0.00122	41974	40224	37913	40037	3500000	0.00283	0.00286	-1	641	45
6+805	0.00193	0.00165	0.00130	40261	35435	35615	37104	3500000	0.00295	0.00303	-3	641	45
7+200	0.00299	0.00240	0.00193	25958	24398	23986	24781	1719916	0.00472	0.00488	-3	563	40
7+597	0.00244	0.00197	0.00157	31819	29766	29383	30322	1762019	0.00409	0.00416	-2	565	40
8+003	0.00370	0.00307	0.00244	20987	19081	18956	19675	2000000	0.00547	0.00561	-3	576	40
8+398	0.00248	0.00189	0.00150	31314	31006	30929	31083	1250000	0.00445	0.00441	1	543	38
8+812	0.00307	0.00252	0.00197	25292	23254	23506	24018	1700000	0.00512	0.00502	2	562	40
9+202	0.00331	0.00280	0.00232	23486	20962	19920	21456	3250000	0.00457	0.00465	-2	630	44
25+002	0.00295	0.00248	0.00205	26304	23624	22602	24176	3000000	0.00425	0.00434	-2	619	44
25+403	0.00244	0.00209	0.00165	31819	28081	27983	29294	2400000	0.00394	0.00397	-1	593	42
25+801	0.00244	0.00209	0.00169	31819	28081	27333	29078	3000000	0.00366	0.00378	-3	619	44
26+200	0.00323	0.00256	0.00197	24058	22897	23506	23487	1013431	0.00579	0.00575	1	533	37
26+605	0.00476	0.00390	0.00315	16304	15033	14691	15343	1150000	0.00791	0.00775	2	539	38
27+002	0.00232	0.00201	0.00161	33437	29182	28666	30428	3500000	0.00343	0.00352	-3	641	45
27+400	0.00291	0.00264	0.00217	26659	22213	21369	23414	4500000	0.00390	0.00400	-3	684	48
27+798	0.00413	0.00366	0.00307	18789	16003	15068	16620	2250000	0.00610	0.00618	-1	586	41
28+202	0.00248	0.00217	0.00177	31314	27060	26118	28164	3500000	0.00362	0.00373	-3	641	45
28+604	0.00299	0.00256	0.00205	25958	22897	22602	23819	2750000	0.00449	0.00449	0	608	43
28+998	0.00287	0.00248	0.00197	27025	23624	23506	24718	3750000	0.00402	0.00403	0	652	46
29+400	0.00209	0.00193	0.00154	37223	30373	30136	32577	2681222	0.00295	0.00300	-2	605	43
29+798	0.00260	0.00220	0.00181	29891	26576	25550	27339	1750000	0.00394	0.00393	0	565	40
30+197	0.00283	0.00236	0.00177	27400	24805	26118	26107	1554452	0.00469	0.00481	-3	556	39
30+598	0.00354	0.00299	0.00240	21920	19583	19267	20257	2000000	0.00559	0.00549	2	576	40
30+999	0.00193	0.00169	0.00142	40261	34611	32647	35840	5000000	0.00276	0.00284	-3	706	50
31+397	0.00189	0.00169	0.00142	41100	34611	32647	36119	6500000	0.00256	0.00264	-3	771	54
31+799	0.00283	0.00244	0.00201	27400	24005	23045	24817	4000000	0.00390	0.00395	-1	663	47
32+200	0.00189	0.00169	0.00146	41100	34611	31765	35825	3750000	0.00299	0.00306	-2	652	46
32+599	0.00165	0.00157	0.00138	46971	37207	33580	39253	13500000	0.00209	0.00203	3	1076	76
33+000	0.00169	0.00161	0.00142	45879	36300	32647	38275	10000000	0.00220	0.00225	-2	924	65
33+402	0.00118	0.00098	0.00075	65760	59531	61858	62383	3250000	0.00201	0.00207	-3	630	44
33+800	0.00189	0.00157	0.00122	41100	37207	37913	38740	3750000	0.00280	0.00288	-3	652	46
34+600	0.00252	0.00209	0.00157	30825	28081	29383	29429	2448519	0.00386	0.00394	-2	595	42
35+000	0.00287	0.00228	0.00169	27025	25660	27333	26672	1840441	0.00465	0.00454	2	569	40



35+400	0.00130	0.00122	0.00098	59782	48009	47012	51601	15000000	0.00157	0.00162	-3	1141	80
35+798	0.00240	0.00217	0.00181	32341	27060	25550	28317	500000	0.00335	0.00338	-1	510	36
36+198	0.00193	0.00181	0.00161	40261	32354	28666	33760	10000000	0.00228	0.00232	-2	924	65
36+606	0.00154	0.00134	0.00106	50584	43773	43530	45962	14000000	0.00228	0.00224	2	1098	77
36+997	0.00177	0.00161	0.00142	43840	36300	32647	37596	12000000	0.00220	0.00217	2	1011	71
37+399	0.00098	0.00087	0.00071	78912	67649	65295	70619	8000000	0.00150	0.00152	-2	837	59
37+800	0.00205	0.00185	0.00157	37938	31666	29383	32995	7000000	0.00276	0.00276	0	793	56
38+199	0.00173	0.00157	0.00134	44836	37207	34568	38870	5000000	0.00264	0.00268	-2	706	50
38+601	0.00118	0.00102	0.00079	65760	57242	58765	60589	2000000	0.00232	0.00237	-2	576	40
39+002	0.00154	0.00134	0.00110	50584	43773	41975	45444	6000000	0.00220	0.00227	-3	750	53
39+398	0.00224	0.00205	0.00177	34610	28621	26118	29783	9000000	0.00280	0.00278	1	880	62
39+802	0.00146	0.00122	0.00094	53319	48009	48971	50100	3500000	0.00236	0.00241	-2	641	45
40+198	0.00161	0.00142	0.00118	48117	41341	39177	42878	3750000	0.00260	0.00267	-3	652	46
40+603	0.00138	0.00130	0.00110	56366	45099	41975	47813	8000000	0.00205	0.00203	1	837	59
41+000	0.00165	0.00157	0.00134	46971	37207	34568	39582	10000000	0.00213	0.00220	-3	924	65
41+400	0.00299	0.00280	0.00252	25958	20962	18364	21761	10000000	0.00343	0.00338	1	924	65
41+803	0.00260	0.00248	0.00224	29891	23624	20619	24711	10000000	0.00311	0.00308	1	924	65
42+200	0.00205	0.00189	0.00165	37938	31006	27983	32309	7000000	0.00280	0.00280	0	793	56
42+595	0.00150	0.00134	0.00110	51916	43773	41975	45888	8000000	0.00209	0.00209	0	837	59
43+000	0.00209	0.00185	0.00161	37223	31666	28666	32518	3500000	0.00311	0.00324	-4	641	45
43+397	0.00161	0.00150	0.00134	48117	39165	34568	40617	10000000	0.00213	0.00216	-2	924	65
43+800	0.00217	0.00193	0.00169	35869	30373	27333	31192	6000000	0.00307	0.00300	2	750	53
44+200	0.00209	0.00181	0.00150	37223	32354	30929	33502	3500000	0.00331	0.00327	1	641	45
44+600	0.00217	0.00213	0.00193	35869	27561	23986	29139	15000000	0.00240	0.00244	-2	1141	80
45+000	0.00224	0.00201	0.00173	34610	29182	26711	30168	5750000	0.00303	0.00311	-3	739	52
45+397	0.00177	0.00169	0.00154	43840	34611	30136	36196	14000000	0.00209	0.00213	-2	1098	77
45+805	0.00146	0.00126	0.00106	53319	46509	43530	47786	14000000	0.00213	0.00213	0	1098	77
46+201	0.00142	0.00118	0.00094	54800	49609	48971	51127	4000000	0.00232	0.00232	0	663	47
48+399	0.00220	0.00197	0.00169	35228	29766	27333	30776	5550000	0.00303	0.00310	-2	730	51
48+810	0.00173	0.00157	0.00134	44836	37207	34568	38870	8500000	0.00236	0.00232	2	858	60
49+200	0.00169	0.00150	0.00126	45879	39165	36728	40591	6000000	0.00244	0.00247	-1	750	53
49+599	0.00165	0.00146	0.00126	46971	40224	36728	41308	6000000	0.00240	0.00244	-2	750	53
49+998	0.00154	0.00138	0.00122	50584	42522	37913	43673	6250000	0.00224	0.00232	-3	760	53
50+400	0.00299	0.00260	0.00220	25958	22550	20988	23165	3000000	0.00441	0.00448	-2	619	44
50+796	0.00220	0.00185	0.00154	35228	31666	30136	32343	925322.9	0.00441	0.00456	-3	529	37
51+208	0.00154	0.00130	0.00118	50584	45099	39177	44954	4500000	0.00248	0.00246	1	684	48
51+598	0.00165	0.00150	0.00130	46971	39165	35615	40584	7000000	0.00232	0.00237	-2	793	56
52+000	0.00260	0.00236	0.00205	29891	24805	22602	25766	6500000	0.00346	0.00338	2	771	54
52+207	0.00138	0.00122	0.00102	56366	48009	45204	49860	4500000	0.00220	0.00228	-3	684	48
52+600	0.00264	0.00228	0.00193	29445	25660	23986	26363	1035777	0.00539	0.00523	3	534	38
53+001	0.00154	0.00130	0.00098	50584	45099	47012	47565	4000000	0.00244	0.00243	0	663	47
53+401	0.00130	0.00110	0.00091	59782	53153	51100	54678	3000000	0.00228	0.00234	-2	619	44
53+773	0.00236	0.00216	0.00192	32879	27059	23985	27975	7000000	0.00311	0.00312	0	793	56