



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-UMP-A-002

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE EN LA RUTA NACIONAL 32

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Enero, 2013

Información técnica del documento

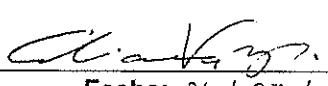
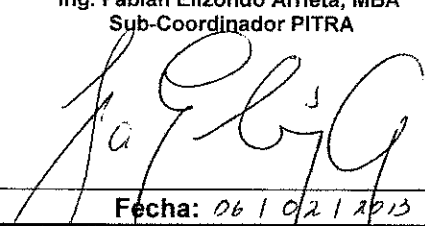
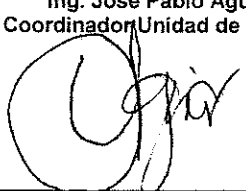

1. Informe LM-PI-UMP-A-002		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE EN LA RUTA NACIONAL 32, TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA REPUBLICA Y EL PUENTE A SAN JUAN DE TIBAS		4. Fecha del Informe Enero, 2013
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias El informe responde a la solicitud realizada por el Ministro de Obras Públicas y Transportes, en concordancia con lo establecido en el Artículo 6, inciso g) de la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria (N°8114)		
9. Resumen <i>El siguiente informe de servicios técnicos de ingeniería comprende las siguientes actividades:</i>		
<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de datos de deflectometría que se realizaron en la Carretera Braulio Carrillo en el sentido San José – Limón. • Retrocálculo de módulos de capa para dos tramos donde se midieron las deflexiones. • Recomendaciones y conclusiones. 		
10. Palabras clave Deflectometría de impacto, FWD, retrocálculo de módulos, CBR, Carretera Braulio Carrillo	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 16
13. Preparado por: Ing. Adriana Vargas Nordcbeck, PhD Investigadora  Fecha: 06 / 02 / 13	Fecha: / /	Fecha: / /
14. Revisado por: Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA Sub-Coordinador PITRA  Fecha: 06 / 02 / 2013	Ing. José Pablo Aguiar, PhD Coordinador Unidad de Investigación  Fecha: 06 / 02 / 13	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 06 / 02 / 13



TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO Y RETROCÁLCULO DE MÓDULOS	4
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	11
APÉNDICE	12

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE TRAMOS EVALUADOS CON EL FWD.....	5
FIGURA 2. ESQUEMA DE ESTRUCTURAS USADAS EN EL RETROCÁLCULO DE MÓDULOS	6
FIGURA 3. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO DE MÓDULO PARA LA CAPA DE SUB- BASE.....	7
FIGURA 4. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO DE MÓDULO PARA LA CAPA DE SUB- RASANTE	7
FIGURA 5. MÓDULO RESILIENTE DE LA CAPA DE SUB-RASANTE CALCULADO CON EL MÉTODO AASHTO.....	9
FIGURA 6. MÓDULO SUPERFICIAL CALCULADO CON EN EL TRAMO A NIVEL DE SUB- RASANTE	10

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CONFIGURACIÓN DE LOS GEÓFONOS EN EL FWD.....	4
TABLA 2. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO DE MÓDULOS DE LOS TRAMOS DONDE SE REALIZÓ DEFLECTOMETRÍA	8
TABLA 3. RESULTADOS DE MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE	9



1. INTRODUCCIÓN

El siguiente informe corresponde al análisis solicitado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes en el cual se busca la determinación de la capacidad de soporte actual de las capas de sub-base y sub-rasante de la Carretera Braulio Carrillo (Ruta 32) en el sentido San José – Limón para un tramo de aproximadamente 2 km, ubicado entre el cruce de “La República” y el puente que comunica a San Juan de Tibás.

A continuación se analizan los datos de deflectometría y se realiza retrocálculo de módulos con el fin de determinar cuál es la resistencia de las capas.

2. DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO Y RETROCÁLCULO DE MÓDULOS

Las deflexiones de las capas existentes se midieron utilizando el Deflectómetro de Carga de Impacto (FWD por sus siglas en inglés). El FWD es un equipo que mide el hundimiento o deflexión instantánea que experimenta el pavimento en un punto, generada por una carga de impacto aplicada sobre la superficie de dicho pavimento. Esta carga cae sobre un plato circular cuya área de contacto es similar a la de una llanta de vehículo; las deflexiones obtenidas son registradas por 9 sensores, el primero directamente debajo del plato de carga, y los demás dispuestos en un arreglo lineal con una longitud máxima de 180 centímetros, como se indica en la Tabla 1. Con esta disposición es posible obtener además la forma y tamaño del cuenco de deflexiones, el cual se relaciona con aspectos como el espesor y rigidez del pavimento, las características de los materiales de las capas subyacentes y la magnitud de la carga aplicada.

Tabla 1. Configuración de los geófonos en el FWD

No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
X:	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800
Y:	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En este caso, las deflexiones se midieron cada 20 metros, alternativamente en cada uno de los dos carriles, utilizando una carga de 20 kN. La Figura 1 muestra los dos tramos donde se realizaron las mediciones; uno de ellos a nivel de sub-base y el otro a nivel de sub-rasante reconformada. Debido a los trabajos de construcción que se realizaban en ese momento en

la vía, los ensayos de deflectometría debieron realizarse en estos dos tramos, pues no fue posible obtener datos en toda la continuidad de los 2 km comprendidos entre el cruce de “La República” y el puente que comunica a San Juan de Tibás. Los resultados mostrados en el Apéndice fueron utilizados para efectuar un retrocálculo del módulo de cada una de las capas existentes empleando el programa Elmod 6 de Dynatest.

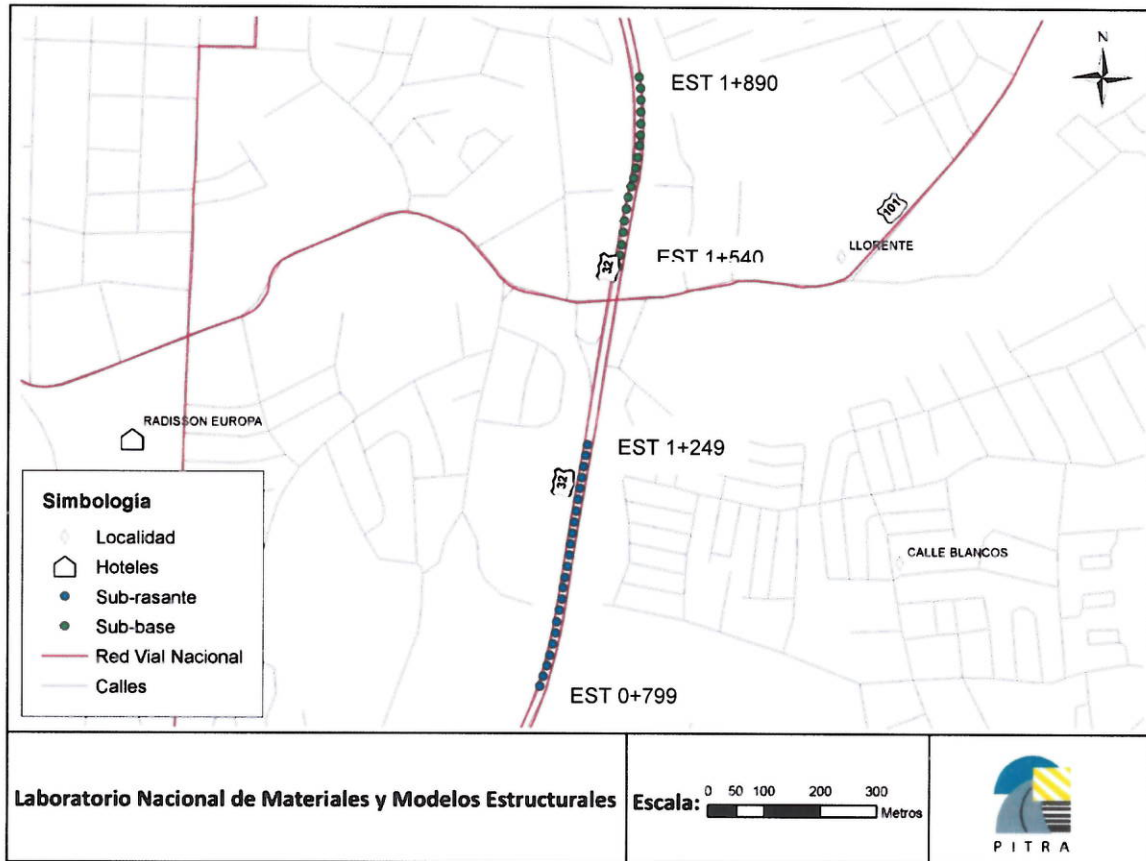


Figura 1. Ubicación de tramos evaluados con el FWD

Con el fin de determinar el módulo de las distintas capas existentes, se realizó un retrocálculo de módulos con base en los ensayos de deflectometría descritos anteriormente y datos de espesores de la capa de sub-base suministrados por personal del CONAVI.

En ambos tramos, el retrocálculo de módulos se realizó simulando una estructura de dos capas, siendo una de ellas la capa de subrasante con espesor infinito, tal y como se muestra en la Figura 2. Para la sub-base se utilizó un espesor de capa de 32 cm a lo largo de toda la

longitud del tramo. En el caso del tramo que se encontraba a nivel de subrasante, se le asignó a la capa superior el mismo tipo de material que a la subrasante y un espesor de 100 cm. Esto con el fin de poder efectuar el análisis con el programa Elmod 6, que requiere un mínimo de dos capas, y para valorar algún efecto asociado a la no linealidad de los suelos.

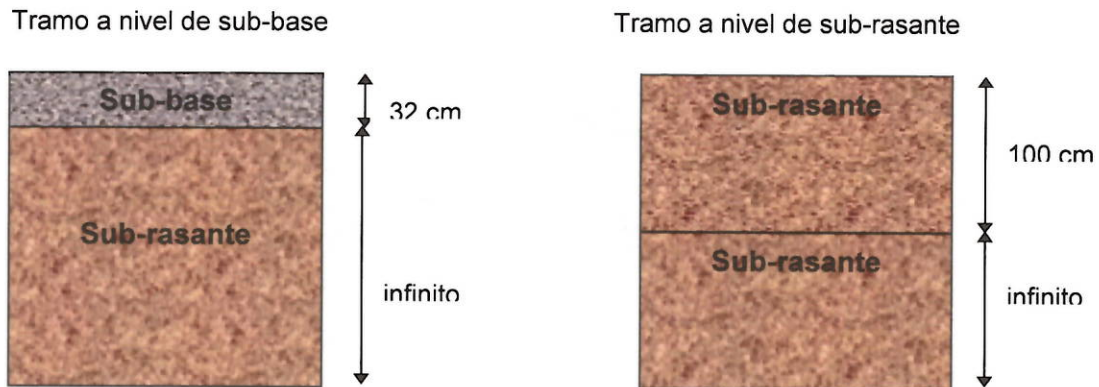


Figura 2. Esquema de estructuras usadas en el retrocálculo de módulos

Las Figuras 3 y 4 muestran los resultados del retrocálculo de módulo de las capas de sub-base y sub-rasante, respectivamente. Adicionalmente, la Tabla 2 muestra un resumen de los resultados. Es importante notar que en promedio los valores obtenidos son bajos, lo cual puede relacionarse a una baja capacidad de soporte de los materiales. En el caso del tramo que se encontraba a nivel de sub-base, la superficie presentaba irregularidades importantes pues dicha capa no estaba reconvertida, lo cual pudo afectar los valores de deflectometría. Además, existe una alta variabilidad en los resultados, por lo que estos deben utilizarse con precaución al ser incorporados en el diseño de estructuras de pavimentos.

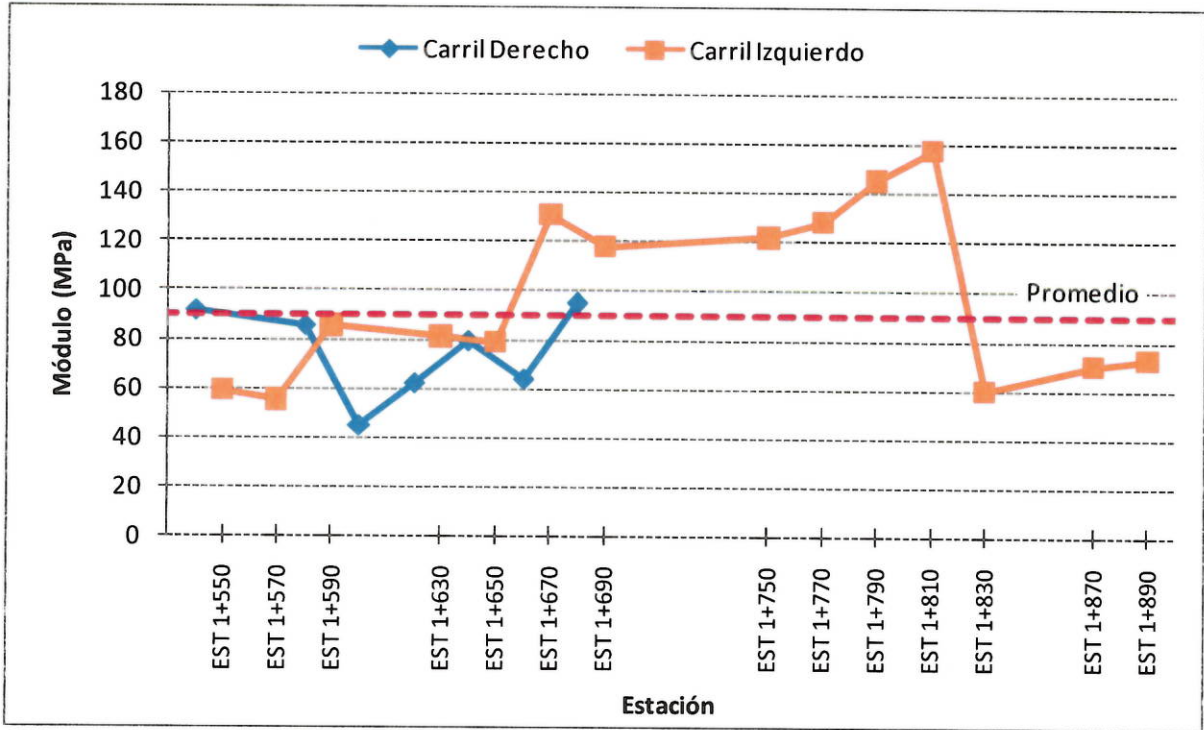


Figura 3. Resultados de retrocálculo de módulo para la capa de sub-base

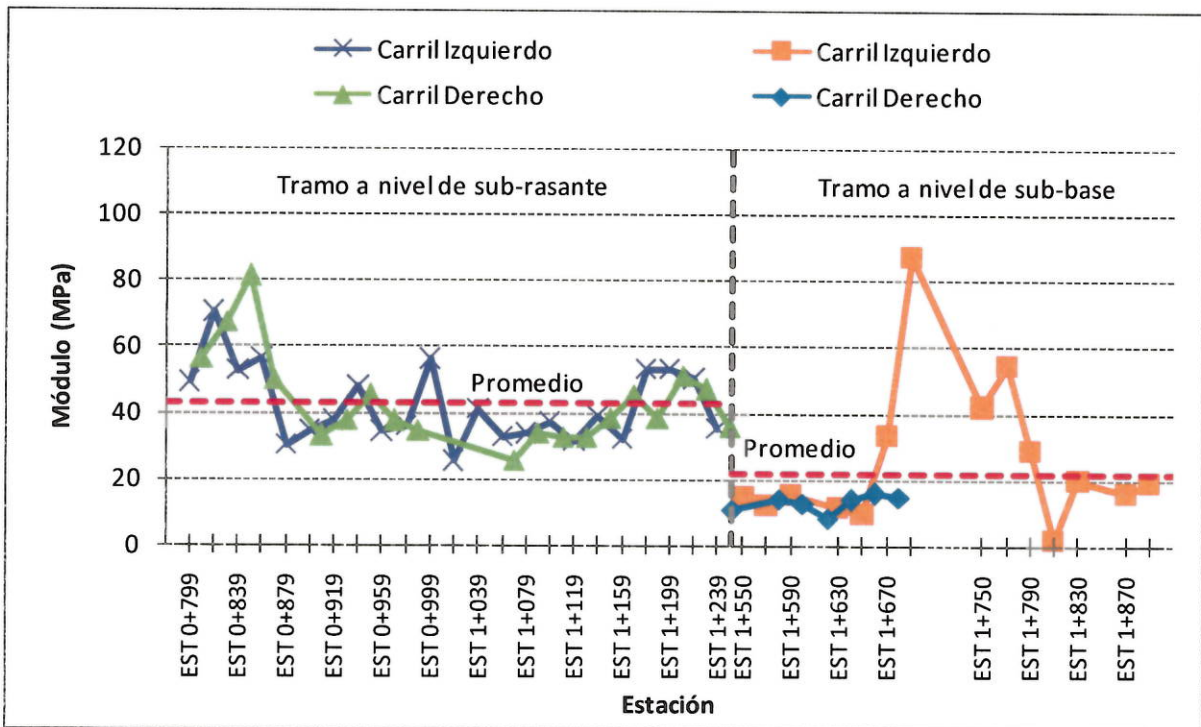


Figura 4. Resultados de retrocálculo de módulo para la capa de sub-rasante

Tabla 2. Resultados de retrocálculo de módulos de los tramos donde se realizó deflectometría

	Sub-base (MPa)	Sub-rasante (MPa)
Tramo a Nivel de Sub-base		
Promedio	90.0	21.6
Valor máximo	159.7	87.8
Valor mínimo	43.1	1.9
Tramo a Nivel de Sub-rasante		
Promedio	--	42.6
Valor máximo	--	81.4
Valor mínimo	--	24.7

Dado que las variaciones en el espesor de las capas pueden influenciar significativamente los resultados del retrocálculo de módulos, se efectuó un análisis basado en el método de diseño AASHTO¹, el cual permite calcular el módulo resiliente de la subrasante únicamente como función de la carga de impacto y de las deflexiones medidas a una distancia suficientemente alejada del plato de carga como para que esta deflexión se deba sólo a la deformación de la subrasante:

$$M_R = \frac{0.24 P}{\delta_r * r} \quad \text{Ec. 1}$$

donde

M_R = Módulo resiliente de la subrasante

P = Carga aplicada

δ_r = Deflexión a una distancia "r" desde el centro de carga

r = Distancia desde el centro de carga

En este informe, se utilizaron las deflexiones medidas a una distancia de 180 cm desde el centro de carga. Además se aplicó un factor de seguridad de 1/3 para obtener el módulo

¹ American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C.

resiliente de diseño. En la Figura 5 se observan los módulos resilientes por estación y la Tabla 3 muestra un resumen de los valores obtenidos. Puede observarse que mediante el uso de este método se alcanzaron resultados más consistentes entre los dos tramos analizados. Sin embargo, los valores son bajos e indican baja capacidad de soporte de la subrasante.

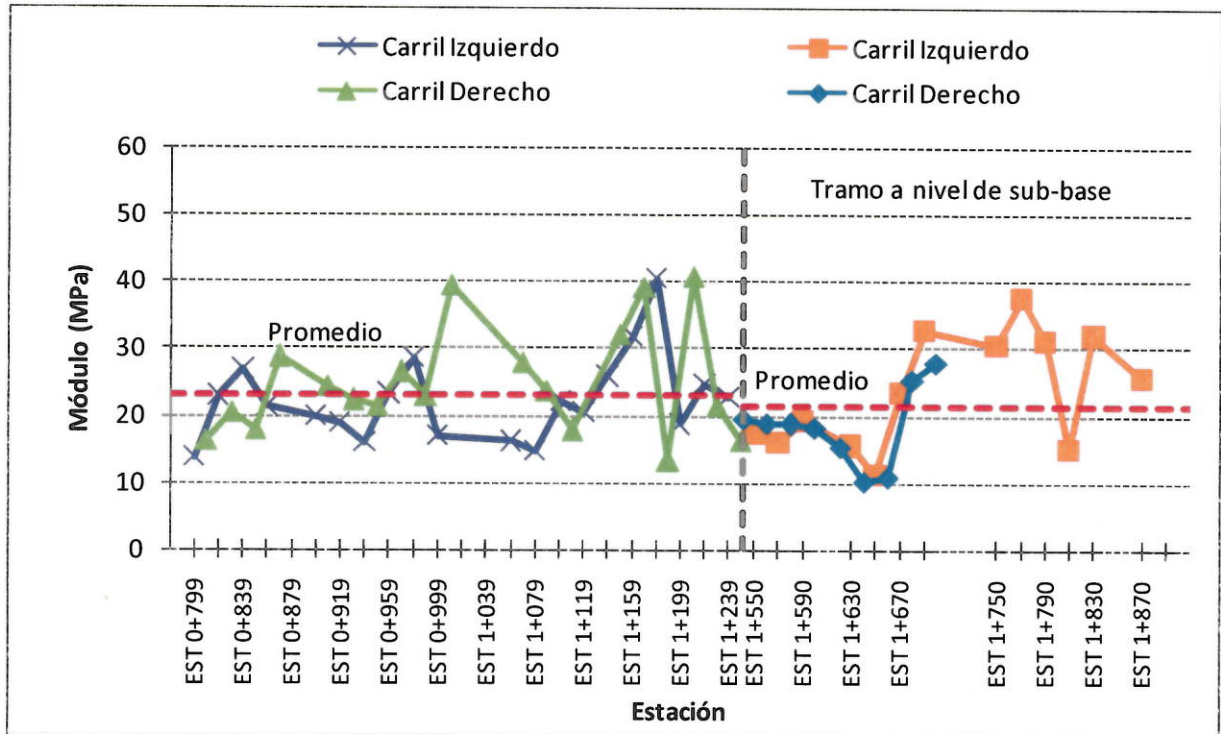


Figura 5. Módulo resiliente de la capa de sub-rasante calculado con el método AASHTO

Tabla 3. Resultados de módulo resiliente de la subrasante

	Módulo Resiliente (MPa)	
	Tramo a nivel de sub-base	Tramo a nivel de sub-rasante
Promedio	21.3	23.1
Valor máximo	42.7	41.3
Valor mínimo	10.1	13.0

Otro parámetro independiente a los espesores de capa es el módulo superficial. El módulo superficial (E) directamente bajo la carga se calculó con la siguiente ecuación:

Informe LM-PI-UMP-A-002	Fecha de emisión: 24 de enero de 2011	Página 9 de 16
-------------------------	---------------------------------------	----------------

$$E = \frac{f(1 - \nu^2)\sigma_0 a}{d_0}$$

Ec. 3

donde

σ_0 = esfuerzo promedio

ν = módulo de Poisson (0.35)

a = radio del plato de carga

d_0 = deflexión en el centro de la carga circular

f = factor dependiente de la distribución de esfuerzos (2 para distribución uniforme)

Los valores del módulo superficial fueron calculados únicamente para el tramo a nivel de sub-rasante a modo de comparación con los resultados del retrocálculo. Ya que la sección se compone de un mismo material, puede suponerse que el módulo de la sub-rasante es aproximadamente igual al módulo superficial. En la Figura 6 puede observarse que el módulo superficial promedio es de 44.0 MPa, con un rango de 24.9 a 80.1 MPa, lo cual es muy similar a los resultados mostrados en la Tabla 2.

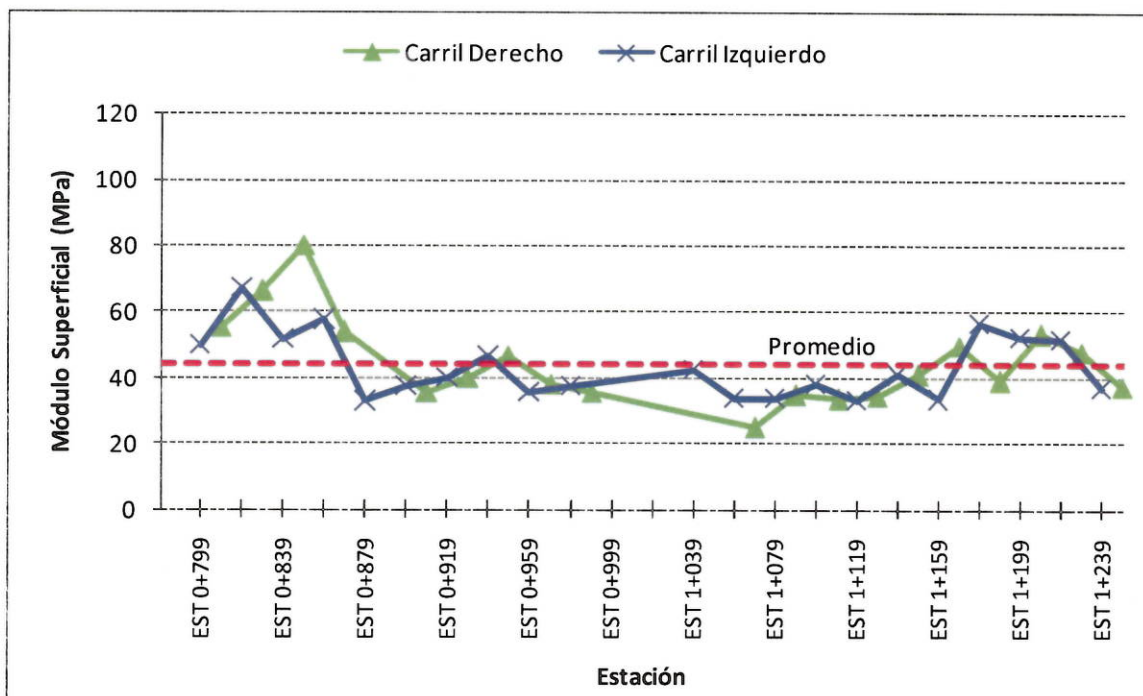


Figura 6. Módulo superficial calculado con en el tramo a nivel de sub-rasante



3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este informe se realizaron pruebas de campo a fin de determinar la capacidad de soporte de las capas existentes. Los resultados obtenidos indicaron que:

- El módulo retrocalculado de la capa de sub-base tiene un promedio de 90 MPa. Para la capa de sub-rasante los resultados variaron significativamente para los dos tramos medidos, con un promedio de 21.6 MPa en el tramo donde se realizó deflectometría a nivel de sub-base, y 42.6 MPa en el tramo que se encontraba a nivel de sub-rasante.
- Los módulos obtenidos mediante el proceso de retrocálculo presentaron alta variabilidad a lo largo de los tramos, por lo que es posible que la falta de mayor precisión en los datos de espesores de capa de la sub base hayan influido en los resultados finales.
- Como alternativa, se calcularon los módulos de la sub-rasante utilizando el método AASHTO, que es independiente a los espesores de capa. Los resultados obtenidos fueron en general más bajos (en promedio 21.3 y 22.8MPa para los tramos ensayados a nivel de sub-base y sub-rasante, respectivamente) pero tuvieron menos variabilidad.
- Adicionalmente, se calculó el módulo superficial en el tramo a nivel de sub-rasante, y se obtuvieron resultados similares a los del retrocálculo.
- Debe tenerse en cuenta que los ensayos de campo se realizaron mientras se realizaban en la zona actividades de construcción de la carretera, por lo que pudo haber ocurrido contaminación de las capas existentes con material que estaba siendo extraído del sitio. Los resultados presentados en este informe deben manejarse con precaución en el diseño de estructuras de pavimentos debido a su variabilidad.



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

APÉNDICE

DEFLEXIONES MEDIDAS EN EL SITIO

Tabla A1. Deflexiones medidas en tramo a nivel de sub-base (carril derecho)

Golpe	Estación	Localización		Carga kN	Presión kPa	Deflexión mm x 10 ⁻³								
		Latitud	Longitud			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
		°Norte	°Oeste											
1	0	9.95530	-84.07157	22.55	319	1479.9	870.7	642.1	344.2	197.3	93.4	72.5	62.5	50.3
1	20	9.95548	-84.07154	20.36	288	2400.0	3276.7	994.5	568.0	199.0	106.2	84.6	59.6	48.2
1	40	9.95565	-84.07151	21.91	310	1433.3	852.7	619.9	319.9	168.7	98.3	83.8	68.5	52.7
1	60	9.95585	-84.07149	21.63	306	2252.0	1036.0	679.9	342.0	268.2	110.2	84.7	70.6	52.2
1	80	9.95604	-84.07147	21.49	304	1921.0	1136.0	734.5	311.2	157.2	92.5	86.1	73.3	58.4
1	100	9.95623	-84.07144	20.57	291	1487.3	891.0	640.0	380.9	246.3	134.4	106.7	89.1	89.3
1	120	9.95642	-84.07141	23.40	331	2001.9	1762.8	927.2	581.5	402.9	245.4	159.1	112.7	96.8
1	140	9.95659	-84.07136	22.27	315	1279.0	738.2	497.1	232.5	127.9	78.5	61.6	46.0	39.3
1	160	9.95673	-84.07132	24.10	341	1308.6	488.3	282.8	93.1	76.9	77.7	54.5	39.1	38.5
2	0	9.95530	-84.07157	22.55	319	1468.7	871.8	644.5	344.5	199.9	96.0	74.9	64.9	53.1
2	20	9.95548	-84.07154	21.63	306	2463.7	3276.7	1061.2	593.3	220.8	113.8	85.4	63.3	50.8
2	40	9.95565	-84.07151	22.34	316	1434.1	860.6	626.6	324.4	171.8	100.3	85.0	69.5	52.8
2	60	9.95585	-84.07149	22.34	316	2254.4	1068.5	701.6	351.3	266.0	111.6	86.4	70.9	55.4
2	80	9.95604	-84.07147	21.98	311	1935.1	1162.0	752.0	322.5	164.2	99.8	93.5	82.0	69.2
2	100	9.95623	-84.07144	20.78	294	1477.7	891.0	638.6	380.9	247.2	137.0	109.2	95.3	91.3
2	120	9.95642	-84.07141	23.04	326	1953.9	1592.0	908.5	563.7	394.7	279.0	153.9	108.9	94.9
2	140	9.95659	-84.07136	22.55	319	1274.0	740.8	499.4	235.2	129.7	79.0	62.0	46.4	39.4

Tabla A2. Deflexiones medidas en tramo a nivel de sub-base (carril izquierdo)

Golpe	Estación	Localización		Carga kN	Presión kPa	Deflexión mm x 10 ³								
		Latitud °Norte	Longitud °Oeste			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
		1	0			9.95535	-84.07158	20.22	286	1673.4	823.8	558.3	304.0	204.1
1	20	9.95555	-84.07155	20.50	290	1834.6	930.8	623.0	288.5	166.9	110.6	84.2	67.6	54.3
1	40	9.95572	-84.07153	20.07	284	1284.9	717.3	525.4	276.1	171.4	95.0	80.5	59.9	49.1
1	60	9.95590	-84.07151	20.15	285	1448.1	1457.6	726.1	372.9	187.5	67.8	43.7	27.7	20.1
1	80	9.95607	-84.07146	20.57	291	1520.5	901.3	684.5	367.8	233.4	130.8	95.9	75.5	66.6
1	100	9.95626	-84.07143	21.21	300	1699.0	1573.1	817.2	527.0	341.8	205.1	128.8	97.7	82.9
1	120	9.95643	-84.07139	23.33	330	910.2	507.4	321.2	206.4	139.2	78.7	66.4	52.1	46.7
1	140	9.95660	-84.07135	24.39	345	828.0	448.5	255.3	125.3	87.6	65.5	50.8	36.7	30.6
1	160	9.95678	-84.07132	23.18	328	1919.8	995.0	520.2	144.7	45.5	35.2	41.9	29.3	22.5
1	200	9.95713	-84.07129	21.91	310	840.5	416.3	270.0	160.8	113.9	75.4	52.8	39.1	29.7
1	220	9.95732	-84.07129	30.54	432	1062.3	477.0	322.5	199.2	140.8	88.0	63.2	41.5	31.8
1	240	9.95749	-84.07128	22.55	319	826.1	474.1	312.0	174.2	111.5	66.9	55.4	43.8	32.6
1	260	9.95767	-84.07127	22.12	313	1540.1	841.1	608.3	280.3	158.1	110.3	422.3	53.5	66.2
1	280	9.95786	-84.07128	21.35	302	1478.7	591.1	319.1	123.2	59.0	48.3	38.7	28.3	33.2
1	300	9.95803	-84.07128	22.55	319	2161.5	983.4	450.6	93.6	15.5	60.4	38.7	30.6	33.1
1	320	9.95821	-84.07130	22.97	325	1546.5	728.5	471.2	212.7	122.5	75.6	57.0	43.8	39.2
1	340	9.95839	-84.07132	21.77	308	1436.6	686.2	445.8	221.7	136.8	86.8	61.5	48.2	4.1
2	0	9.95535	-84.07158	20.22	286	1670.1	823.4	558.0	303.6	200.4	103.4	81.6	69.1	53.7
2	20	9.95555	-84.07155	21.91	310	1946.5	1008.6	672.0	317.0	187.0	124.2	97.8	80.9	63.9
2	40	9.95572	-84.07153	21.56	305	1365.4	772.7	563.8	298.0	184.0	98.9	79.8	57.9	47.8
2	60	9.95590	-84.07151	20.29	287	1454.6	1475.2	750.0	401.0	219.7	105.4	82.0	65.3	56.0
2	80	9.95607	-84.07146	20.92	296	1505.3	935.1	677.8	359.6	221.1	117.2	80.4	60.6	53.9
2	100	9.95626	-84.07143	22.20	314	1747.3	1587.5	851.4	550.7	358.3	229.3	137.7	105.2	90.3
2	120	9.95643	-84.07139	23.40	331	899.5	492.8	320.4	206.5	141.7	78.3	66.1	51.8	42.5
2	140	9.95660	-84.07135	24.60	348	824.9	450.1	259.0	130.4	92.6	71.4	57.3	44.9	36.9
2	160	9.95678	-84.07132	22.62	320	1862.0	965.7	505.1	140.7	43.3	32.9	38.5	26.0	19.1
2	200	9.95713	-84.07129	21.91	310	825.4	412.1	268.6	163.1	115.7	77.5	56.7	44.2	34.7
2	220	9.95732	-84.07129	27.92	395	948.5	435.9	292.3	182.8	131.4	85.4	63.5	45.9	38.5
2	240	9.95749	-84.07128	22.62	320	814.3	469.8	309.1	171.5	109.4	65.3	53.2	42.8	32.1
2	260	9.95767	-84.07127	22.12	313	1522.0	834.7	605.4	275.1	155.5	107.3	426.5	52.0	64.3
2	280	9.95786	-84.07128	21.63	306	1461.0	589.8	318.2	120.7	56.7	44.0	34.2	23.5	27.4
2	300	9.95803	-84.07128	22.41	317	2129.8	972.8	446.3	94.5	18.0	61.6	42.0	30.2	32.5
2	320	9.95821	-84.07130	22.76	322	1516.9	717.2	463.3	210.7	121.9	75.7	57.0	44.6	40.3
2	340	9.95839	-84.07132	21.98	311	1422.5	681.0	442.1	218.7	132.7	83.7	60.9	47.1	63.9

Tabla A3. Deflexiones medidas en tramo a nivel de sub-rasante (carril derecho)

Golpe	Estación	Localización		Carga kN	Presión kPa	Deflexión mm x 10 ⁻³								
		Latitud	Longitud			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
		°Norte	°Oeste											
1	0	NR	NR	21.63	306	2152.3	1504.9	704.6	406.1	253.7	129.0	93.9	70.5	58.2
1	20	NR	NR	21.84	309	1697.1	642.7	448.6	268.8	166.4	92.7	71.4	53.6	44.0
1	40	NR	NR	23.47	332	1640.1	844.9	433.5	197.5	116.5	70.0	49.2	34.2	24.7
1	60	NR	NR	21.63	306	2069.1	830.8	494.5	292.7	211.0	131.8	92.2	69.6	72.6
1	80	NR	NR	24.46	346	1845.6	660.6	207.4	109.2	80.1	53.5	42.4	32.0	27.8
1	100	NR	NR	22.2	314	2036.3	729.4	370.7	178.1	116.8	73.6	52.7	38.2	28.6
1	120	9.95144	-84.07215	21.98	311	2387.8	1231.4	517.5	255.1	158.1	97.5	71.9	48.2	82.7
1	139	9.95126	-84.07218	22.34	316	2480.5	1192.5	775.2	437.3	277.6	131.6	87.6	65.2	53.7
1	160	9.95107	-84.07221	23.47	332	2467.7	1275.6	738.0	375.3	220.8	113.3	78.3	53.8	41.3
1	180	9.95089	-84.07224	21.77	308	3276.7	2313.8	917.4	367.6	280.1	167.4	187.1	51.2	35.2
1	200	9.95072	-84.07227	18.24	258	3276.7	3276.7	1906.5	504.3	158.7	92.4	20.1	47.0	19.0
1	220	9.95053	-84.07230	18.45	261	2234.7	3276.7	2553.9	760.0	142.6	49.8	36.9	38.8	33.6
1	240	9.95035	-84.07233	24.46	346	789.4	412.5	249.3	138.4	93.6	61.1	46.1	34.0	27.7
1	260	9.95017	-84.07236	22.97	325	2405.7	1220.5	594.8	250.5	175.1	103.8	78.4	54.8	50.9
1	280	9.94999	-84.07239	23.68	335	2260.0	1178.7	567.1	277.0	184.5	104.8	73.4	43.5	28.9
1	300	9.94981	-84.07241	21.84	309	1747.1	929.9	530.5	267.4	175.5	101.7	73.8	71.2	53.0
1	320	9.94963	-84.07244	23.47	332	2181.7	854.9	427.5	234.5	157.8	96.1	70.7	60.2	45.5
1	340	9.94944	-84.07247	23.26	329	2424.2	666.1	231.3	158.1	121.1	84.5	63.0	48.1	38.5
1	360	9.94927	-84.07249	23.04	326	2481.3	1262.9	473.6	122.5	146.0	103.9	70.2	52.2	60.1
1	380	9.94910	-84.07253	23.04	326	1596.0	726.3	322.2	138.9	98.5	66.8	51.8	39.8	31.1
1	400	9.94893	-84.07258	22.48	318	1054.4	587.9	395.4	238.6	178.9	117.6	85.5	62.7	61.1
1	420	9.94876	-84.07266	22.27	315	1259.4	623.7	396.4	254.2	192.9	122.1	80.6	69.7	49.0
1	440	9.94857	-84.07271	21.42	303	1447.0	712.4	501.4	298.0	197.5	122.5	87.5	71.4	55.1
2	0	NR	NR	21.77	308	2149.6	1580.6	705.7	405.7	252.3	128.5	93.4	72.4	59.1
2	20	NR	NR	22.12	313	1706.3	652.6	455.0	273.3	169.7	95.2	73.7	53.9	45.6
2	40	NR	NR	23.47	332	1638.7	848.4	435.4	198.7	117.3	72.2	50.2	35.4	25.7
2	60	NR	NR	22.2	314	2103.3	855.2	510.0	303.7	218.3	135.5	94.2	70.5	73.9
2	80	NR	NR	24.81	351	1846.0	663.8	210.5	109.7	82.0	53.7	40.7	30.3	28.0
2	100	NR	NR	22.69	321	2049.7	746.9	379.4	183.8	120.3	76.1	55.1	41.7	31.1
2	120	9.95144	-84.07215	22.27	315	2391.2	1255.7	527.3	261.1	162.6	102.6	72.4	49.4	88.9
2	139	9.95126	-84.07218	22.2	314	2467.7	1184.4	772.7	439.3	276.7	134.5	89.9	68.9	55.7
2	160	9.95107	-84.07221	22.9	324	2481.7	1240.9	716.8	365.1	216.0	113.1	82.0	52.8	43.6
2	180	9.95089	-84.07224	21.98	311	3276.7	2161.1	920.8	372.5	277.5	170.3	193.1	53.2	34.9
2	200	9.95072	-84.07227	19.93	282	3276.7	3276.7	2058.5	576.7	187.3	106.7	25.7	54.4	24.3
2	220	9.95053	-84.07230	19.51	276	2633.3	3276.7	2519.5	839.7	163.6	59.6	39.6	36.6	43.8
2	240	9.95035	-84.07233	24.39	345	780.8	408.5	248.7	138.2	94.1	61.3	45.8	33.6	27.5
2	260	9.95017	-84.07236	22.69	321	2358.4	1200.2	586.6	245.6	165.3	101.0	74.0	55.5	44.5
2	280	9.94999	-84.07239	23.04	326	2288.6	1140.9	551.1	274.1	184.2	110.1	76.0	53.6	39.3
2	300	9.94981	-84.07241	22.27	315	1751.6	939.0	534.0	267.1	173.9	97.4	66.5	62.7	45.8
2	320	9.94963	-84.07244	23.26	329	2146.2	842.8	422.2	231.3	155.8	96.3	71.1	62.3	46.8
2	340	9.94944	-84.07247	23.18	328	2394.1	673.4	235.8	159.4	122.6	85.5	65.3	49.1	42.5
2	360	9.94927	-84.07249	23.04	326	2448.5	1253.4	471.1	121.3	142.0	104.0	73.6	56.3	64.6
2	380	9.94910	-84.07253	22.9	324	1580.8	724.2	321.7	139.7	99.8	68.1	53.6	41.8	35.6
2	400	9.94893	-84.07258	22.34	316	1030.2	576.3	385.7	231.6	173.5	113.0	80.3	57.3	55.5
2	420	9.94876	-84.07266	22.27	315	1242.9	619.7	395.4	251.3	191.7	121.0	78.1	67.2	48.2
2	440	9.94857	-84.07271	21.77	308	1451.9	722.9	507.9	303.8	202.8	126.7	91.6	82.9	59.3

NR = No se registró

Tabla A4. Deflexiones medidas en tramo a nivel de sub-rasante (carril izquierdo)

Golpe	Estación	Localización		Carga kN	Presión kPa	Deflexión mm x 10 ⁻³								
		Latitud °Norte	Longitud °Oeste			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
		1	0			9.95242	-84.07205	21.77	308	2222.4	913.4	499.5	277.8	178.1
1	20	9.95225	-84.07208	22.48	318	1620.2	733.4	447.3	256.7	164.8	89.1	61.7	50.3	40.1
1	40	9.95207	-84.07211	23.26	329	1668.1	836.7	539.0	339.5	247.1	151.0	101.9	65.3	56.8
1	60	9.95189	-84.07214	23.89	338	1589.2	513.9	239.2	136.9	105.1	67.7	52.6	41.2	26.8
1	80	9.95172	-84.07217	21.49	304	2403.1	927.1	475.7	212.8	137.5	78.2	45.1	29.7	32.0
1	100	9.95154	-84.07220	26.37	373	2281.6	1009.5	522.1	282.6	196.2	115.2	78.4	58.0	45.2
1	120	9.95135	-84.07223	22.41	317	2545.9	1385.5	676.2	287.7	183.3	106.7	75.1	59.9	47.3
1	140	9.95117	-84.07226	22.69	321	2226.0	1202.5	625.9	334.8	211.5	124.5	87.3	61.5	46.1
1	160	9.95099	-84.07229	22.48	318	2794.5	1204.4	759.9	375.0	241.1	141.6	110.0	128.8	66.2
1	180	9.95082	-84.07232	20.78	294	2288.9	1014.4	601.0	291.8	187.2	117.1	83.9	61.4	59.1
1	200	9.95064	-84.07234	21.42	303	1892.5	1091.9	730.7	403.3	262.1	142.4	72.6	71.3	55.6
1	220	9.95046	-84.07237	23.68	335	3276.7	1272.4	782.0	182.9	158.2	116.1	85.6	61.6	42.2
1	240	9.95028	-84.07241	22.55	319	1426.0	621.0	298.0	125.1	83.7	63.4	40.2	24.5	18.6
1	260	9.95011	-84.07244	21.63	306	2163.4	984.6	535.3	264.8	179.6	92.4	60.4	49.4	39.8
1	280	9.94993	-84.07246	21.91	310	2320.8	1196.2	619.6	255.7	169.5	109.6	94.3	62.5	58.9
1	300	9.94975	-84.07250	22.27	315	1794.3	415.6	470.5	480.9	209.1	103.8	84.7	57.3	47.7
1	320	9.94956	-84.07254	24.03	340	2226.9	884.7	253.7	163.3	135.4	87.8	65.4	48.6	55.3
1	340	9.94938	-84.07256	21.35	302	2137.4	872.7	398.4	173.3	125.5	88.7	74.3	60.4	52.9
1	360	9.94920	-84.07260	22.62	320	2671.3	1458.5	482.3	165.1	120.0	81.2	65.1	52.2	37.8
1	380	9.94902	-84.07265	20.99	297	1366.9	601.9	399.9	245.8	167.5	88.2	62.6	53.4	42.3
1	400	9.94885	-84.07270	21.21	300	1530.8	766.3	609.9	370.3	274.5	159.3	107.6	74.0	66.9
1	420	9.94868	-84.07276	22.62	320	1265.2	555.6	407.2	288.2	219.0	145.0	102.2	76.0	63.8
1	440	9.94852	-84.07281	23.54	333	1707.6	531.7	350.7	247.0	198.9	128.2	86.7	71.7	71.0
2	0	9.95242	-84.07205	22.27	315	2226.5	927.4	510.1	283.1	182.0	100.1	74.3	53.9	44.2
2	20	9.95225	-84.07208	22.69	321	1622.0	740.1	451.7	259.7	166.9	88.2	62.2	50.8	41.6
2	40	9.95207	-84.07211	22.83	323	1622.1	814.3	526.2	334.0	241.1	148.9	99.4	67.6	53.0
2	60	9.95189	-84.07214	24.32	344	1589.0	515.2	238.0	135.4	102.9	64.3	48.6	36.9	26.2
2	80	9.95172	-84.07217	22.05	312	2420.2	954.6	487.7	220.5	143.4	78.9	51.8	32.0	29.4
2	100	9.95154	-84.07220	24.95	353	2382.7	947.7	493.5	265.9	181.1	107.4	73.7	56.2	43.5
2	120	9.95135	-84.07223	22.12	313	2454.9	1371.9	669.4	286.3	180.1	105.7	71.5	57.6	49.5
2	140	9.95117	-84.07226	22.55	319	2197.1	1191.5	617.9	339.9	208.2	121.3	85.5	60.9	45.5
2	160	9.95099	-84.07229	22.62	320	2235.7	1208.2	751.7	371.7	237.7	138.2	110.5	107.5	70.8
2	180	9.95082	-84.07232	20.85	295	2314.0	1008.5	600.0	291.7	188.2	117.3	84.3	63.2	55.9
2	200	9.95064	-84.07234	21.42	303	1877.0	1088.4	728.2	399.7	257.5	138.7	63.8	71.3	57.2
2	220	9.95046	-84.07237	23.61	334	3276.7	1536.0	800.6	177.9	150.6	111.6	83.4	70.6	32.7
2	240	9.95028	-84.07241	22.62	320	1418.9	622.6	300.7	128.0	88.9	64.0	43.0	30.9	24.7
2	260	9.95011	-84.07244	21.91	310	2176.2	991.5	541.7	272.3	186.1	97.1	64.2	53.3	44.0
2	280	9.94993	-84.07246	22.34	316	2305.0	1222.5	635.3	264.7	177.0	116.4	97.0	67.7	63.8
2	300	9.94975	-84.07250	22.27	315	1776.2	424.7	468.2	479.1	206.5	107.8	91.9	59.3	57.9
2	320	9.94956	-84.07254	23.4	331	2171.0	857.6	244.6	155.8	128.2	84.4	62.0	45.3	51.0
2	340	9.94938	-84.07256	21.77	308	2152.1	883.9	401.6	172.5	121.7	81.1	64.5	48.9	39.3
2	360	9.94920	-84.07260	22.55	319	2441.3	1455.0	485.2	164.8	120.8	82.6	64.2	48.6	37.3
2	380	9.94902	-84.07265	22.05	312	1415.7	633.7	418.1	254.3	171.9	89.0	65.7	52.0	41.6
2	400	9.94885	-84.07270	21.06	298	1508.0	762.1	607.1	369.2	274.7	163.1	110.7	77.5	69.9
2	420	9.94868	-84.07276	22.69	321	1250.0	552.7	404.9	286.2	218.7	147.7	105.1	81.2	69.2
2	440	9.94852	-84.07281	22.9	324	1755.4	505.5	336.8	236.5	191.9	124.4	86.4	70.9	66.3