



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte

INFORME ESTIMACIÓN DE ESPESORES

LM-PI-UGERVN-09-2014

Proyecto Odebretch Ingeniería Panamá

San José, Costa Rica
Julio, 2014

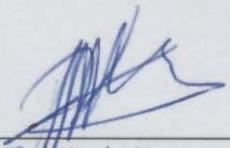
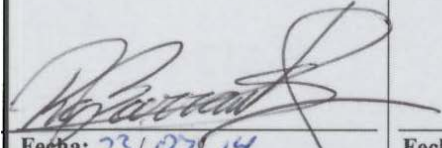
1. Informe LM-PI-UGERVN-09-2014		2. Copia No.1	
3. Título INFORME ESTIMACIÓN DE ESPESORES PROYECTO ODEBRECHT INGENIERÍA PANAMÁ		4. Fecha del Informe Julio 2014	
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440			
6. Notas complementarias No aplica			
7. Resumen <i>Estimación de los espesores en 3 proyectos a cargo de la empresa Odebrecht Infraestructura Panamá</i>			
8. Palabras clave Espesores, GeoRadar de Penetración, concreto, asfalto		9. Nivel de seguridad: Bajo	10. Núm. de páginas
11. Preparado por:			
Ing. Cristian Valverde C. UGERVN 			
Fecha: 23/07/14			
12. Revisado por:		13. Aprobado por:	
Ing. Roy Barrantes J. Coordinador UGERVN 			
Fecha: 23/07/14	Fecha: / /		

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVO	7
3. METODOLOGÍA	7
4. ALCANCES Y LIMITACIONES	9
4.1. ALCANCES	9
4.2. LIMITACIONES	9
5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	10
5.1. DIVISA - CHITRÉ	10
5.2. SANTIAGO - VIGÚÍ (BLACK-TOPPING).....	12
5.3. SANTIAGO - VIGÚÍ (LOSAS DE CONCRETO).....	18
6. CONCLUSIONES	31
7. RECOMENDACIONES	31
BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXOS	33

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 PROYECTOS ANALIZADOS	9
TABLA 2 CUADRO RESUMEN DIVISA - CHITRÉ	11
TABLA 3 CUADRO RESUMEN CHITRÉ - DIVISA ¹	11
TABLA 4 COMPARACIÓN ESPESORES GPR - TESTIGOS SANTIAGO - VIGUÍ CARRIL DERECHO. (CA= CARPETA ASFÁLTICA)	13
TABLA 5 COMPARACIÓN ESPESORES GPR - TESTIGOS VIGUÍ - SANTIAGO CARRIL DERECHO. (CA= CARPETA ASFÁLTICA)	13
TABLA 6 COMPARACIÓN ESPESORES GPR - TESTIGOS SANTIAGO - VIGUÍ CARRIL IZQUIERDO A. (CA= CARPETA ASFÁLTICA)	13
TABLA 7 COMPARACIÓN ESPESORES GPR - TESTIGOS SANTIAGO - VIGUÍ CARRIL IZQUIERDO B. (CA= CARPETA ASFÁLTICA).....	13
TABLA 8 COMPARACIÓN ESPESORES GPR - TESTIGOS VIGUÍ - SANTIAGO CARRIL IZQUIERDO A. (CA= CARPETA ASFÁLTICA)	13
TABLA 9 COMPARACIÓN ESPESORES GPR - TESTIGOS VIGUÍ - SANTIAGO CARRIL IZQUIERDO B. (CA= CARPETA ASFÁLTICA).....	13
TABLA 10 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (BLACK-TOPPING) CARRIL EXTERNO ¹	14
TABLA 11 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (BLACK-TOPPING) CARRIL EXTERNO ¹	15
TABLA 12 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (BLACK-TOPPING) CARRIL INTERNO A ¹	16
TABLA 13 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (BLACK-TOPPING) CARRIL INTERNO B ¹	16
TABLA 14 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (BLACK-TOPPING) CARRIL INTERNO A ¹	17
TABLA 15 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (BLACK-TOPPING) CARRIL INTERNO B ¹	17
TABLA 16 LONGITUD DE LOS TRAMOS EVALUADOS CON LOSAS DE CONCRETO	18
TABLA 17 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 01 ¹	19
TABLA 18 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 02 ¹	19
TABLA 19 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 03 ¹	20
TABLA 20 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 04 ¹	20
TABLA 21 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 05 ¹	21
TABLA 22 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 06 ¹	21
TABLA 23 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 07 ¹	22
TABLA 24 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 08 ¹	22
TABLA 25 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 09 ¹	23
TABLA 26 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 10 ¹	23
TABLA 27 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 11 ¹	24
TABLA 28 CUADRO RESUMEN SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 12 ¹	24
TABLA 29 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 01 ¹	25
TABLA 30 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 02 ¹	26
TABLA 31 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 03 ¹	26
TABLA 32 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 04 ¹	27

TABLA 33 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 05 ¹	27
TABLA 34 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 06 ¹	27
TABLA 35 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 07 ¹	28
TABLA 36 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 08 ¹	28
TABLA 37 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 09 ¹	29
TABLA 38 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 11 ¹	29
TABLA 39 CUADRO RESUMEN VIGUÍ - SANTIAGO (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 12 ¹	30

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 GPR ANTENA 2GHZ.....	8
FIGURA 2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA PROYECTO DIVISA - CHITRÉ.	10
FIGURA 3 ESPESORES DIVISA - CHITRÉ	10
FIGURA 4 ESPESORES CHITRÉ - DIVISA	11
FIGURA 5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA PROYECTO SANTIAGO - VIGUÍ (BLACK-TOPPING).....	14
FIGURA 6 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (BLACK-TOPPING) CARRIL EXTERNO	14
FIGURA 7 ESPESORES VIGUÍ - SANTIAGO (BLACK-TOPPING) CARRIL EXTERNO	15
FIGURA 8 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (BLACK-TOPPING) CARRIL INTERNO A.....	15
FIGURA 9 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (BLACK-TOPPING) CARRIL INTERNO B.....	16
FIGURA 10 ESPESORES VIGUÍ - SANTIAGO (BLACK-TOPPING) CARRIL INTERNO A.....	16
FIGURA 11 ESPESORES VIGUÍ - SANTIAGO (BLACK-TOPPING) CARRIL INTERNO B.....	17
FIGURA 12 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 01.....	19
FIGURA 13 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 02.....	19
FIGURA 14 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 03.....	20
FIGURA 15 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 04.....	20
FIGURA 16 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 05.....	21
FIGURA 17 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 06.....	21
FIGURA 18 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 07.....	22
FIGURA 19 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 08.....	22
FIGURA 20 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 09.....	23
FIGURA 21 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 10.....	23
FIGURA 22 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 11.....	24
FIGURA 23 ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 12.....	24
FIGURA 24 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 01.....	25
FIGURA 25 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 02.....	25

FIGURA 26 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 03	26
FIGURA 27 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 04	26
FIGURA 28 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 05	27
FIGURA 28 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 06	27
FIGURA 29 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 07	28
FIGURA 30 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 08	28
FIGURA 31 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 09	29
FIGURA 32 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 11	29
FIGURA 33 ESPESORES VIGUÍ - VIGUÍ (LOSAS DE CONCRETO) TRAMO 12	30

INDICE DE FIGURAS ANEXO

FIGURA A. 1 A) SE MUESTRA EL ESTACIONAMIENTO 0+180 A 0+320 EN LE SENTIDO DIVISA - CHITRÉ Y B) SU EQUIVALENTE EN EL SENTIDO CHITRÉ - DIVISA.....	34
FIGURA A. 2 PRESENCIA DE TERCER CAPA CON ESPESOR IRREGULAR EN EL SENTIDO DIVISA - CHITRÉ.	35
FIGURA A. 3 VARIACIÓN DE ESPESORES SANTIAGO - VIGUÍ EST. 304+280.....	37
FIGURA A. 4 VARIACIÓN DE ESPESORES VIGUÍ - SANTIAGO EST. 321+220.....	41
FIGURA A. 5 HUNDIMIENTO EN ESTACIONAMIENTO 316+180 (DISTANCIA DE MEDICIÓN: 120 M).....	44

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente documento presenta la determinación de los espesores de capa en ambos sentidos de un tramo de 35 km entre los poblados Divisa - Chitré, 12 tramos de pavimento rígido con longitudes entre 300 m y 700 m cada uno y un tramo de pavimento rígido con una sobre capa de pavimento flexible (Black-Topping) de 17 km de longitud ubicadas entre las localidades de Santiago - Viguí.

Para la determinación de los espesores de las capas de la estructura de pavimento se utilizó el Geo-Radar de Penetración (GPR) GSSI Roadscan, que cuenta con una antena de 2 GHz y utiliza el sistema de adquisición de datos SIR-30. El ensayo se realizó según la norma de ensayo ASTM D4748-10 y ASTM D6432-11.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente documento es estimar mediante el uso del Geo-Radar de Penetración GSSI Roadscan los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento en tres proyectos, de los cuales dos de ellos se encuentran sobre la Carretera Panamericana y otro entre los poblados Divisa - Chitré en la República de Panamá

3. METODOLOGÍA

Para la estimación de los espesores de las diferentes estructuras de pavimentos se utilizó un método no destructivo, el cual permite tener una radiografía de las diferentes capas que lo componen. La técnica usada para realizar este análisis tiene como base la teoría del campo electromagnético de Maxwell, el cual mantiene una relación de las propiedades cuantitativas de los materiales.

El Geo-Radar de Penetración (GPR) utiliza las características de la onda del campo electromagnético, la cual depende de la magnitud relativa de la energía perdida (asociado a la conductividad) respecto a la energía almacenada (relacionada con la constante dieléctrica y permeabilidad). El campo electromagnético puede presentarse como una onda que muestra el cambio en las propiedades físicas del material, lo que permite identificar la presencia de las diferentes capas de material o presencia de diferentes elementos (p.e. tuberías, alcantarillas, vacíos . . .).

La norma utilizada para la estimación de los espesores y calibración del equipo es la ASTM D4748-10 *Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar*.

El GPR cuenta con una antena que emite una frecuencia de 2GHz la cual incorpora un emisor y receptor de onda que permite realizar un registro de información cada 20 cm a una velocidad media de 70 km/h a lo largo del proyecto sobre la huella derecha.

El equipo con que se cuenta es de la marca GSSI (Figura 1), el modelo de la antena utiliza es 42000S serie 346, el controlador para el registro de la información es SIR-30 modelo MF-30.

empresa que produce el equipo.

La configuración que utilizó el equipo para la adquisición de la información es la siguiente:

Scan/sec:100

Scans/Unit(m): 5

Samps/Scan:256

Bits/Sample:32

Constante dieléctrica: 5 (asfalto), 10 (concreto)



Figura 1 GPR antena 2GHz

4. ALCANCES Y LIMITACIONES

4.1. Alcances

- Se analizarán tres proyectos ubicados en la República de Panamá, los cuales se describen a continuación:

Proyecto	Longitud
Divisa - Chitré	35 km
Tramo con Black-Topping Santiago - Viguí	17 km
12 Tramos de pavimento rígido Santiago - Viguí	0.3 a 0.7 km cada tramo

Tabla 1 Proyectos analizados

- Cada uno de los casos se analiza en ambos sentidos.
- La estimación de espesores se presentará de forma gráfica en los puntos en los que se realizó el ensayo de deflectometría con el Deflectómetro de Impacto.
- La información obtenida con el equipo estará siendo entregada en formato digital.

4.2. Limitaciones

- La determinación de los espesores en capas granulares se ve influenciado por el porcentaje de humedad que estas tengan, lo que afectaría la estimación real del espesor correspondiente a cada capa granular adyacente.
- El ensayo no se puede realizar mientras haya precipitaciones o presencia de una película de agua sobre la carretera.
- La presencia de zonas ricas en arcillas crea condiciones en las que la penetración de la señal del GPR es limitada.
- Cuando hay presencia de capas de concreto, hay una pérdida en la calidad de la recepción de la onda emitida por el equipo, por lo que no hay una buena exactitud para la estimación de los espesores.
- Es necesario el uso de núcleos (testigos) para verificar zonas en las que no se puede estimar con claridad los diferentes espesores.
- La presencia de torres que emitan ondas FM provoca ruido en las mediciones.
- A la hora de comparar testigos con las mediciones obtenidas con el equipo puede haber un desfase en la ubicación por el instrumento que se utilice para medir longitudes y la exactitud para la ubicación del cero relativo de cada proyecto que se utilizó como referencia para realizar la medición.

5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

5.1. Divisa - Chitré

El tramo evaluado cuenta con una longitud de 35 km por sentido en el que se realizó la estimación de los espesores con el GPR. En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica del proyecto, en las Figuras 3 y 4 se muestran los gráficos con los espesores por punto evaluado con el Deflectómetro de Impacto. La determinación de los espesores para cada estacionamiento se definió como el promedio de la distancia media entre cada punto.

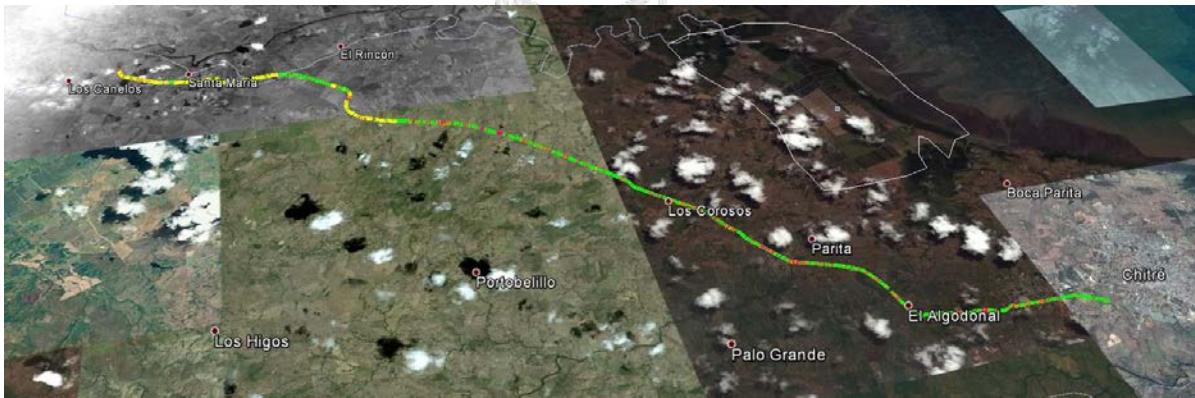


Figura 2 Ubicación geográfica proyecto Divisa - Chitré.

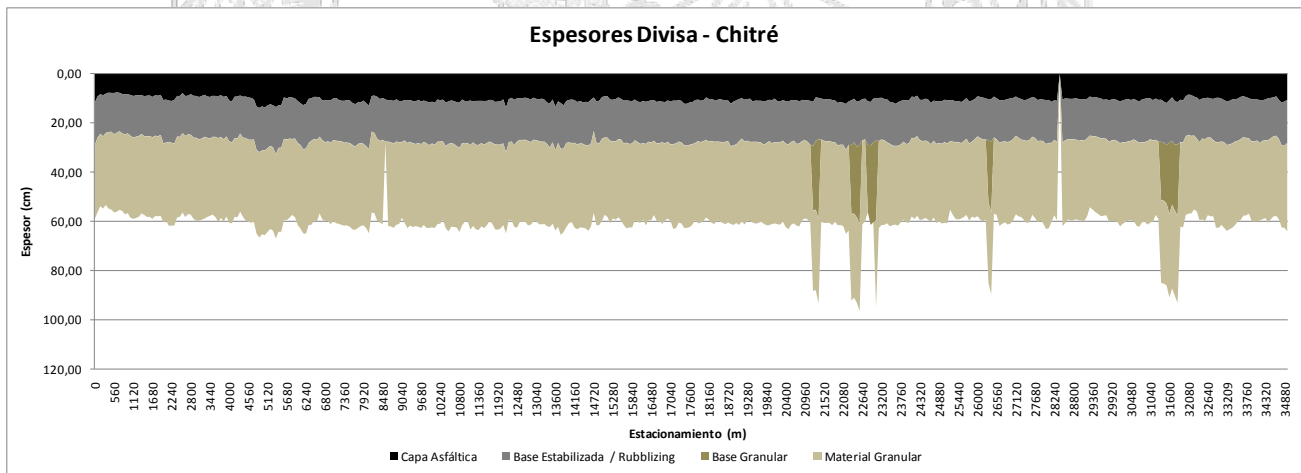


Figura 3 Espesores Divisa - Chitré

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Capa Asfáltica	10,40	12,63
BE/rubblizing	17,02	18,95
Base Granular	28,39	34,19
Sub-Base	32,76	35,87

Tabla 2 Cuadro Resumen Divisa - Chitré¹

La figura anterior se muestran varios puntos en los que es necesario realizar muestreos para determinar a que se debe el cambio de estructura, lo que podría influir en el comportamiento estructural del pavimento, los estacionamientos a verificar son: 8+560, 21+200 - 21+360, 22+320 - 22+560, 22+820 - 23+040, 26+320 - 26+401, 31+360 - 31+840 (Figura A. 2); además entre los puntos evaluados se encuentra la presencia de un puente en el estacionamiento 28+389 (al igual que este caso, se detectó la presencia de los demás puentes presentes en la ruta, pero solo este punto está presente en la evaluación con el deflectómetro de impacto). En la Tabla 2 se presenta el cuadro resumen de todo el proyecto donde se muestra los valores promedio por capa y el percentil 95.

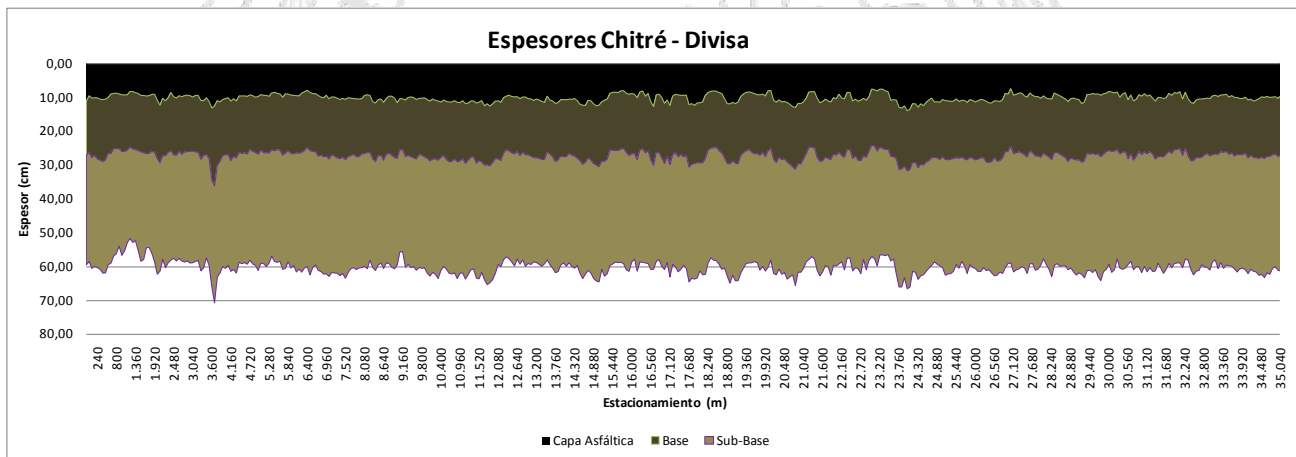


Figura 4 Espesores Chitré - Divisa

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Capa Asfáltica	10,19	12,71
Base	17,16	19,14
Sub-Base	33,08	36,28

Tabla 3 Cuadro Resumen Chitré - Divisa¹

Como se observa en las Figuras 3 y 4, se detectó la presencia de estructuras distintas para cada sentido del proyecto, por lo que es necesario obtener testigos en puntos específicos que permitan definir mejor el tipo de

¹ Ver Recomendaciones

material que componen cada capa del pavimento. En la Tabla 3 se presenta el cuadro resumen de todo el proyecto donde se muestra los valores promedio por capa y el percentil 95.

En la Figura A.1 del anexo se puede observar un ejemplo de las capas que conforman cada uno de los sentidos de la carretera.

5.2. Santiago - Vigúí (Black-Topping)

Este proyecto cuenta con una longitud de 17.7 km, ubicado sobre la Carretera Panamericana. Cuenta con una capa de asfalto sobre losas de concreto según datos aportados por le empresa Odebrecht Infraestructura en sondeos realizados el día 27 de mayo del 2014.

En la Figura 5 se presenta la ubicación geográfica del proyecto analizado.

Se determinaron los espesores para cada sentido de evaluación a lo largo de los 17.7 km del proyecto. Al contar con la información de espesores aportada por la empresa, se puede tener una idea clara de las capas con que cuenta este pavimento, pero la comparación de los espesores obtenidos con el equipo, respecto a los medidos directamente de los testigos presenta un grado de dificultad, puesto que no se conoce con exactitud si la precisión del equipo de medición que se utilizó para ubicar los puntos para la extracción de los núcleos permita ser comparable a la medida realizada por el equipo GPR, aun considerando que el cero definido para realizar la medición sea comparable con el estacionamiento marcado sobre la ruta como el estacionamiento real para ese tramo. En la Tabla 4 y 5 se presenta el cuadro comparativo de los espesores para los carriles derecho (externos) en ambos sentidos. En la Figura A. 3 y Figura A. 4 de los anexos se aprecia que el espesor varía mucho en los diferentes tramos tanto para la capa de concreto asfáltico como la capa de concreto hidráulico. En el sentido Vigúí - Santiago, el tramo que no cuenta con concreto asfáltico se encuentra entre el estacionamiento 303+731 a 303+760, siendo su equivalente el estacionamiento relativo del equipo entre las distancias 17,740.20 m a 17,769.00 m, en este caso no coincide la información de los testigos y el detectado por el equipo.

Las tablas 6 a 9 muestran la comparación de los espesores obtenidos con el GPR y los Testigos en los carriles izquierdos (internos) A y B para cada sentido.

Estacionamiento	Dist.(m)	CA (GPR) cm	Concreto (GPR) cm	CA (Testigos) cm	Concreto (Testigos) cm	GPR vs. Testigos	
						CA (%)	Concreto (%)
304+280,00	800,00	9,22	17,55	9,00	21,00	2,44%	16,43%
304+480,00	1000,00	11,59	20,49	9,00	21,00	28,78%	2,43%
305+680,00	2200,00	11,46	16,99	9,50	25,50	20,63%	33,37%
308+680,00	5200,00	11,40	18,41	9,00	20,00	26,67%	7,95%
309+980,00	6500,00	9,53	18,33	9,50	20,5	0,32%	10,59%
313+480,00	10000,00	10,69	18,83	10,00	22,00	6,90%	14,41%
316+600,00	13120,00	9,74	18,37	11,00	22,00	11,45%	16,50%

Tabla 4 Comparación espesores GPR - Testigos Santiago - Viguí Carril Derecho. (CA= Carpeta Asfáltica)

Est. Real	Dist.(m)	CA (GPR) cm	Concreto (GPR) cm	CA (Testigos) cm	Concreto (Testigos) cm	GPR vs. Testigos	
						CA	Concreto
321+220,00	280,00	11,31	17,99	10,00	21,00	13,10%	14,33%
318+720,00	2780,00	11,93	17,24	11,00	25,00	8,45%	31,04%
315+420,00	6080,00	11,05	17,68	10,00	26,00	10,50%	32,00%
313+420,00	8080,00	11,32	19,06	10,00	21,00	13,20%	9,24%
303+880,00	17620,00	9,31	16,95	0,00	20,00	N/a	15,25%

Tabla 5 Comparación espesores GPR - Testigos Viguí - Santiago Carril Derecho. (CA= Carpeta Asfáltica)

Est.real	Dist.(m)	CA (GPR) cm	Concreto (GPR) cm	CA (Testigos) cm	Concreto (Testigos) cm	GPR vs. Testigos	
						CA	Concreto
305+260,00	380,0	10,33	19,73	9,00	21,00	14,78%	6,05%
306+010,00	1.130,0	8,81	16,74	10,00	20,00	11,90%	16,30%
306+220,00	1.340,0	10,30	18,97	10,00	20,00	3,00%	5,15%

Tabla 6 Comparación espesores GPR - Testigos Santiago - Viguí Carril Izquierdo A. (CA= Carpeta Asfáltica)

Est. Real	Dist.(m)	CA (GPR) cm	Concreto (GPR) cm	CA (Testigos) cm	Concreto (Testigos) cm	GPR vs. Testigos	
						CA	Concreto
316+380,00	320,00	10,76	18,66	10,00	20,00	7,60%	6,70%

Tabla 7 Comparación espesores GPR - Testigos Santiago - Viguí Carril Izquierdo B. (CA= Carpeta Asfáltica)

Est. Real	Dist.(m)	CA (GPR) cm	Concreto (GPR) cm	CA (Testigos) cm	Concreto (Testigos) cm	GPR vs. Testigos	
						CA	Concreto
320+000,00	280,00	10,73	18,31	10,00	20,00	7,30%	8,45%
318+940,00	1340,00	10,72	19,72	10,50	25,50	2,10%	22,67%
317+780,00	2500,00	10,43	18,63	10,00	24,00	4,30%	22,38%

Tabla 8 Comparación espesores GPR - Testigos Viguí - Santiago Carril Izquierdo A. (CA= Carpeta Asfáltica)

Est. Real	Dist.(m)	CA (GPR) cm	Concreto (GPR) cm	CA (Testigos) cm	Concreto (Testigos) cm	GPR vs. Testigos	
						CA	Concreto
311+700,00	700,00	10,74	18,23	10,00	21,00	7,40%	13,19%
310+900,00	1500,00	10,03	18,56	10,00	21,00	0,30%	11,62%

Tabla 9 Comparación espesores GPR - Testigos Viguí - Santiago Carril Izquierdo B. (CA= Carpeta Asfáltica)

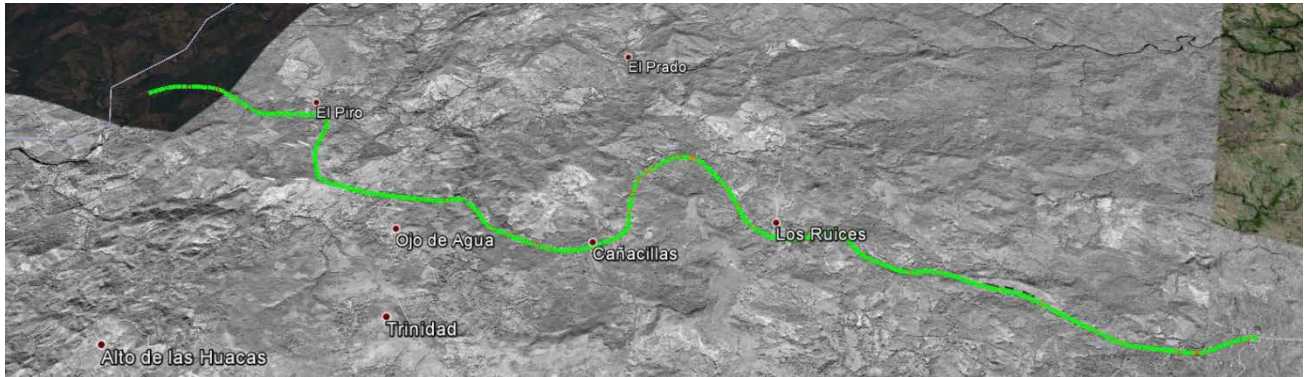


Figura 5 Ubicación geográfica proyecto Santiago - Vigúí (Black-Topping).

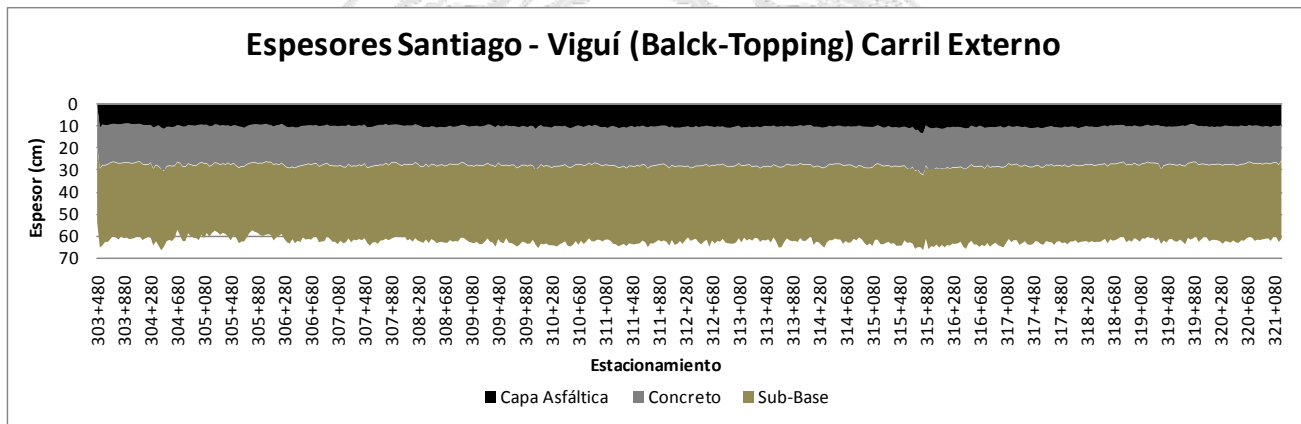


Figura 6 Espesores Santiago - Vigúí (Black-Topping) Carril Externo

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Capa Asfáltica	9,95	11,14
Concreto	17,87	19,60
Base Granular	34,47	37,42

Tabla 10 Cuadro Resumen Santiago - Vigúí (Black-Topping) Carril Externo¹

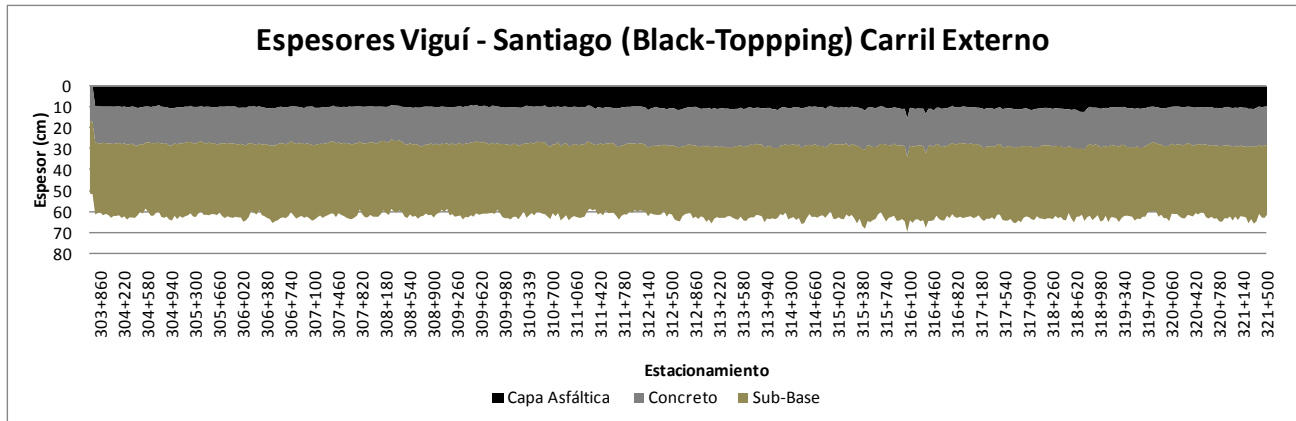


Figura 7 Espesores Viguí - Santiago (Black-Topping) Carril Externo

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Capa Asfáltica	10,09	11,29
Concreto	17,92	19,56
Base Granular	34,41	37,47

Tabla 11 Cuadro Resumen Viguí - Santiago (Black-Topping) Carril Externo¹

En las Figuras 8 a 11 se muestra la distribución de los espesores a lo largo de los carriles internos correspondientes a cada sentido de avance.

En la Figura 9, se puede observar el efecto de un hundimiento presente en el estacionamiento 316+180 (ver Figura A. 5)

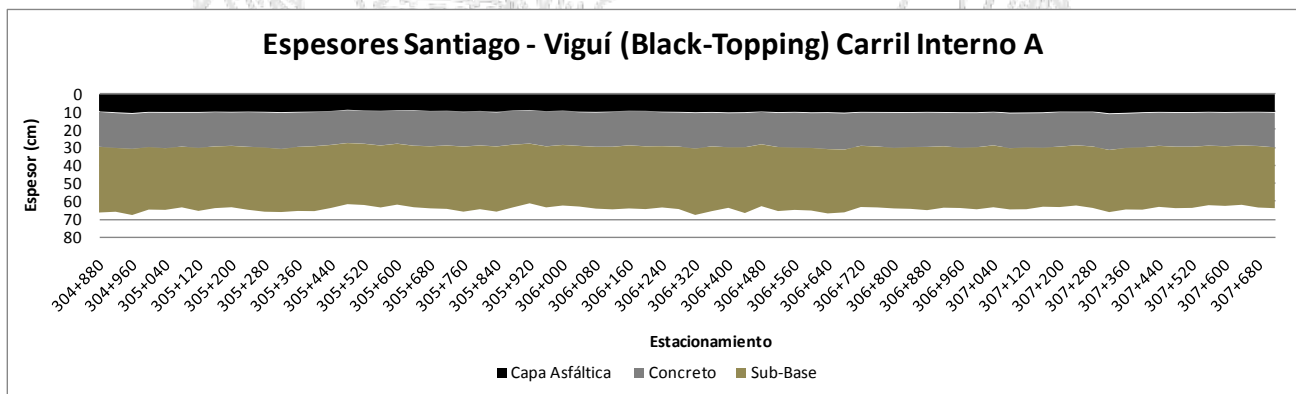


Figura 8 Espesores Santiago - Viguí (Black-Topping) Carril Interno A

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Capa Asfáltica	10,08	11,06
Concreto	19,03	20,95
Base Granular	34,91	37,80

Tabla 12 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Black-Topping) Carril Interno A¹

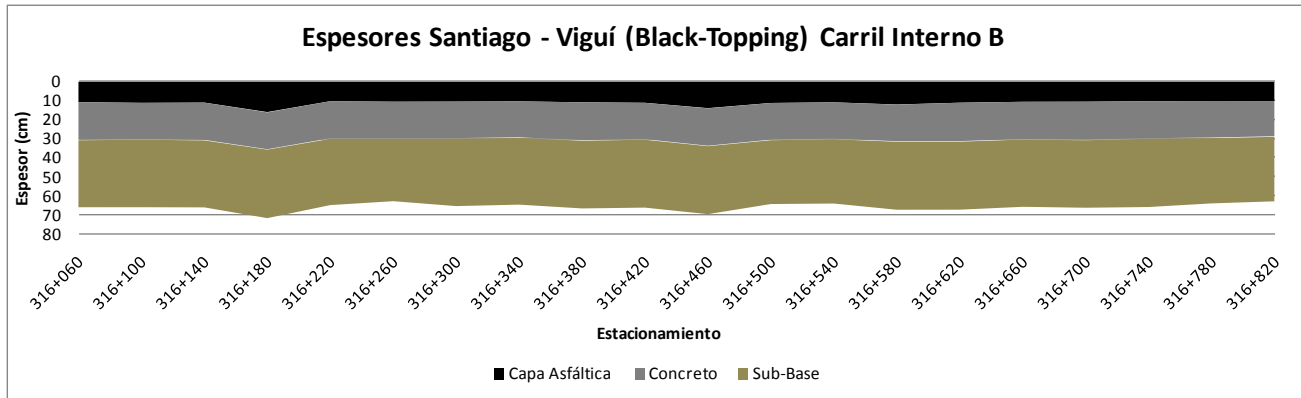


Figura 9 Esesores Santiago - Viguí (Black-Topping) Carril Interno B

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Capa Asfáltica	11,39	16,28
Concreto	19,16	21,05
Base Granular	35,39	38,12

Tabla 13 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Black-Topping) Carril Interno B¹

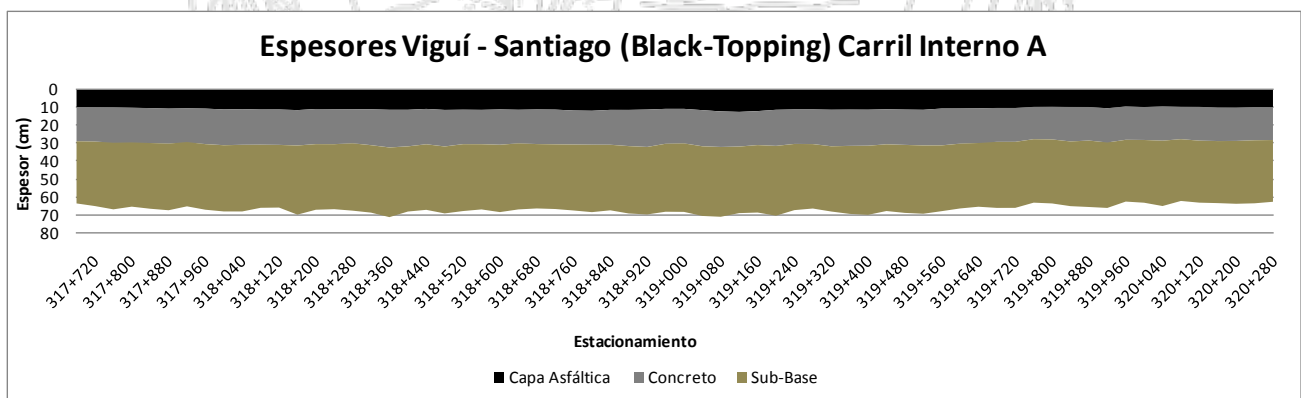


Figura 10 Esesores Viguí - Santiago (Black-Topping) Carril Interno A

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Capa Asfáltica	11,07	12,45
Concreto	19,38	21,57
Base Granular	36,47	39,44

Tabla 14 Cuadro Resumen Vigú - Santiago (Black-Topping) Carril Interno A¹

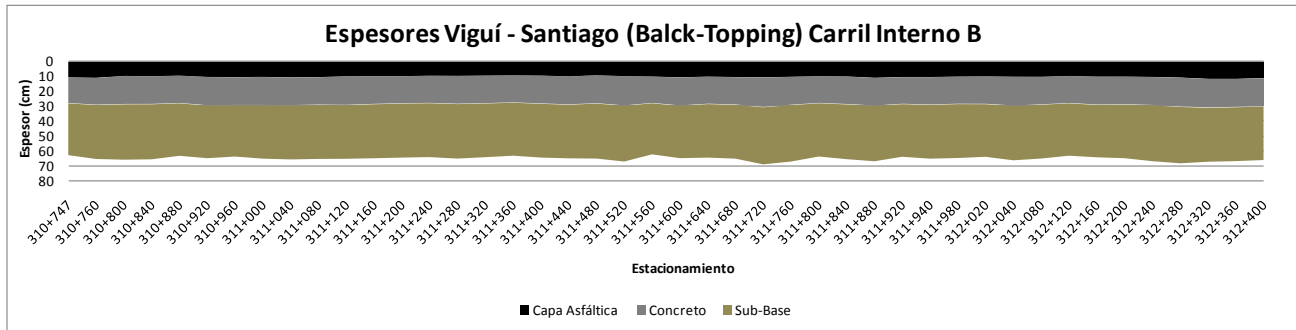


Figura 11 Espesores Vigú - Santiago (Black-Topping) Carril Interno B

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Capa Asfáltica	10,20	11,59
Concreto	18,76	20,76
Base Granular	35,84	38,64

Tabla 15 Cuadro Resumen Vigú - Santiago (Black-Topping) Carril Interno B¹

5.3. Santiago - Vigúí (Losas de Concreto)

Esta sección se compone de losas de concreto, las cuales se dividen en 12 tramos en el sentido Santiago - Vigúí y 10 tramos en el sentido Vigúí - Santiago, en el siguiente cuadro se detalla cada uno.

Tramo	Longitud (m)	Sentido
1	285	Santiago - Vigúí
2	326	Santiago - Vigúí
3	326	Santiago - Vigúí
4	348	Santiago - Vigúí
5	473	Santiago - Vigúí
6	390	Santiago - Vigúí
7	628	Santiago - Vigúí
8	300	Santiago - Vigúí
9	333	Santiago - Vigúí
10	698	Santiago - Vigúí
11	431	Santiago - Vigúí
12	554	Santiago - Vigúí
1	280	Vigúí - Santiago
2	413	Vigúí - Santiago
3	284	Vigúí - Santiago
4	334	Vigúí - Santiago
5	393	Vigúí - Santiago
6	371	Vigúí - Santiago
7	613	Vigúí - Santiago
8	281	Vigúí - Santiago
9	327	Vigúí - Santiago
11	431	Vigúí - Santiago
12	701	Vigúí - Santiago

Tabla 16 Longitud de los tramos evaluados con Losas de Concreto

Para esta evaluación no se contó con información de la estructura al igual que en el proyecto Divisa - Chitré, por lo que se recomienda conocer la información de espesores de losa para corregir los obtenidos con el equipo, ya que en el caso del concreto hidráulico, éste retiene más las ondas emitidas por el geo-radar que el concreto asfáltico o materiales granulares disminuyendo la precisión en la determinación de los espesores de la capa de la losa de concreto como las capas subyacentes.

En las Figuras 12 - 23 se presenta la estimación para los espesores en el sentido Santiago - Vigúí.

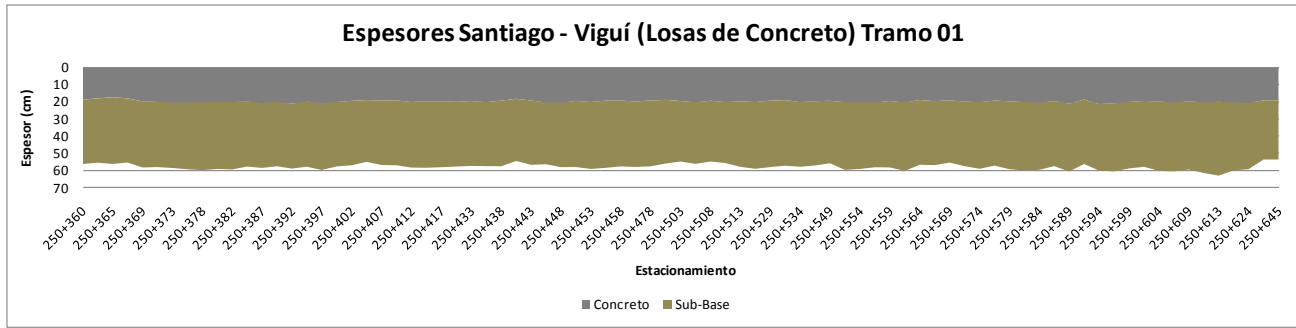


Figura 12 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 01

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	19,46	21,28
Sub-Base	37,85	41,18

Tabla 17 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 01¹

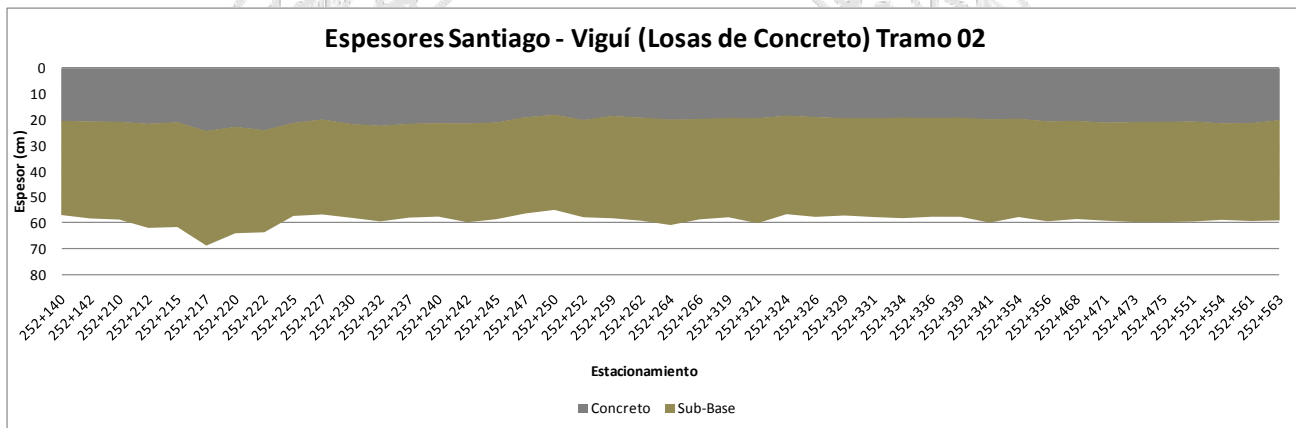


Figura 13 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 02

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	20,26	22,80
Sub-Base	38,18	41,84

Tabla 18 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 02¹

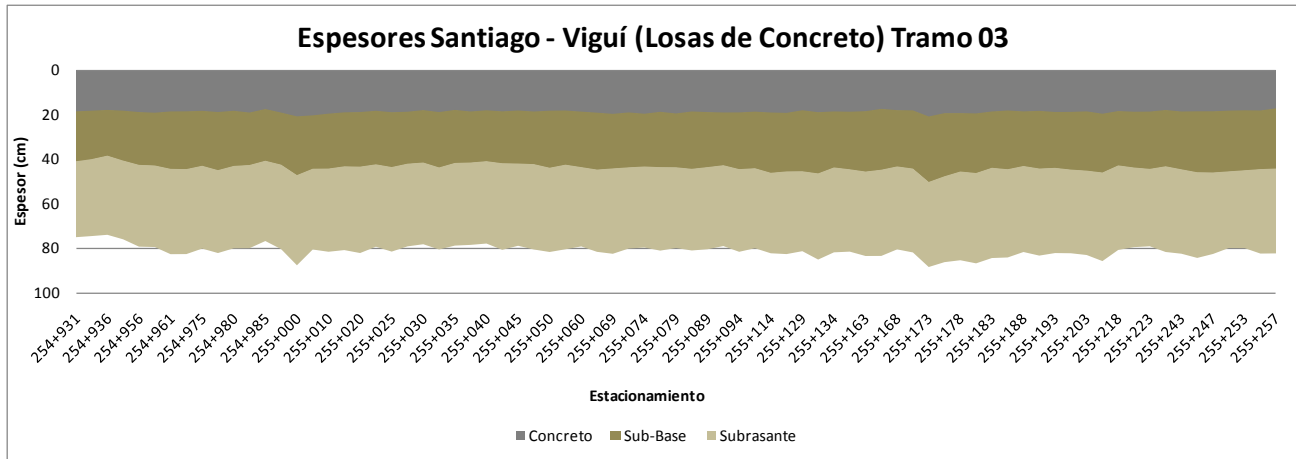


Figura 14 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 03

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,87	20,65
Sub-base	25,36	28,99
Subrasante	37,24	40,84

Tabla 19 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 03¹

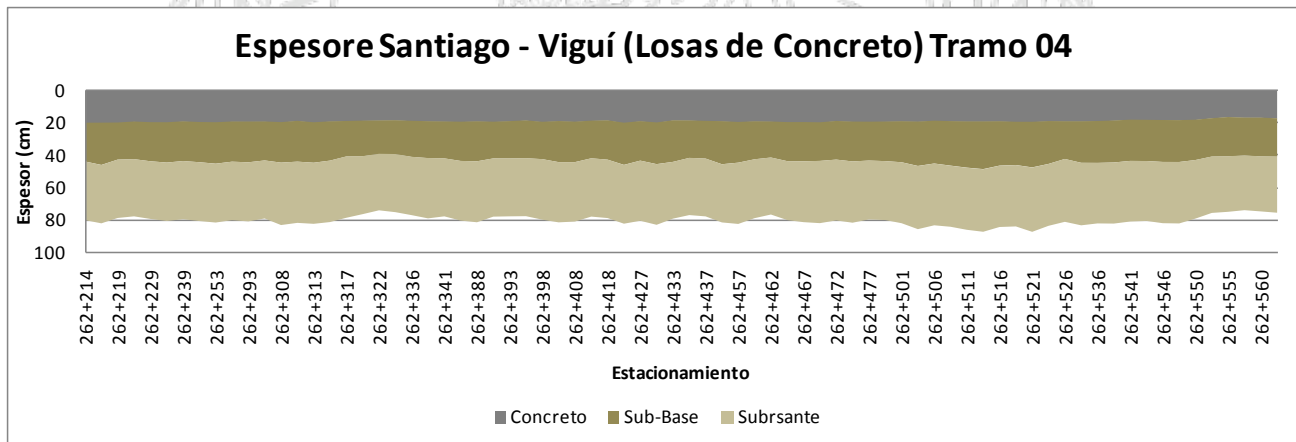


Figura 15 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 04

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,72	20,30
Sub-base	25,20	28,82
Subrasante	36,58	39,73

Tabla 20 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 04¹

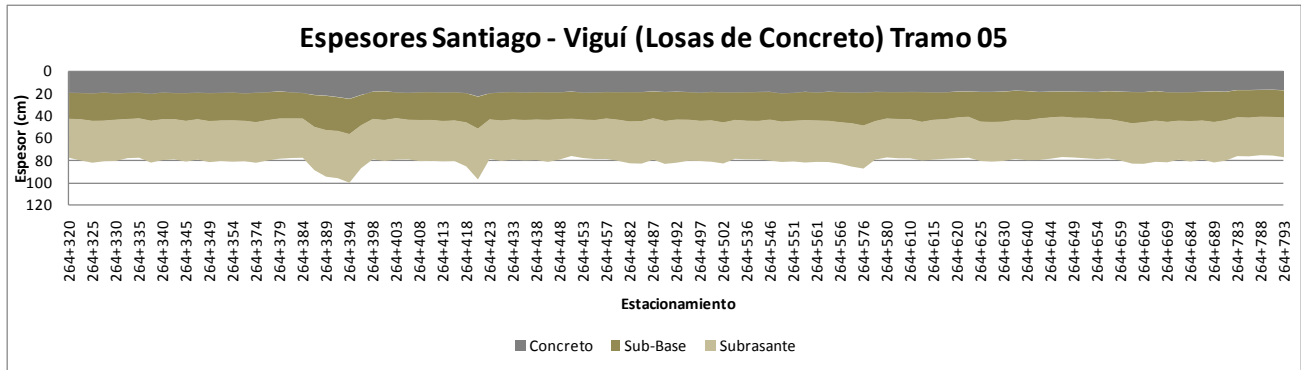


Figura 16 Espesores Santiago - Vigüí (Losas de Concreto) Tramo 05

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	19,00	21,33
Sub-base	25,12	28,78
Subrasante	36,11	39,77

Tabla 21 Cuadro Resumen Santiago - Vigüí (Losas de Concreto) Tramo 05¹

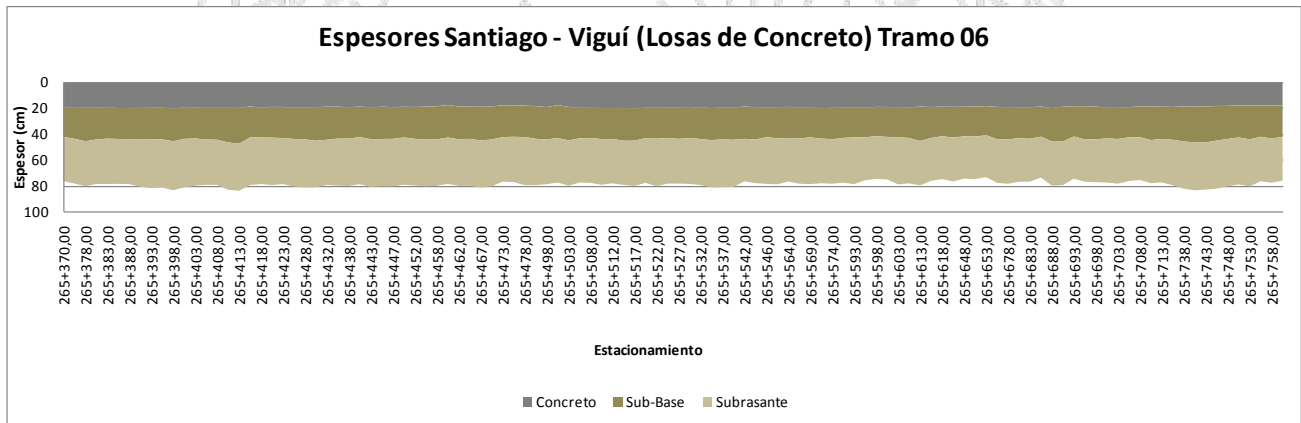


Figura 17 Espesores Santiago - Vigüí (Losas de Concreto) Tramo 06

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,82	20,26
Sub-base	24,53	28,06
Subrasante	35,65	39,08

Tabla 22 Cuadro Resumen Santiago - Vigüí (Losas de Concreto) Tramo 06¹

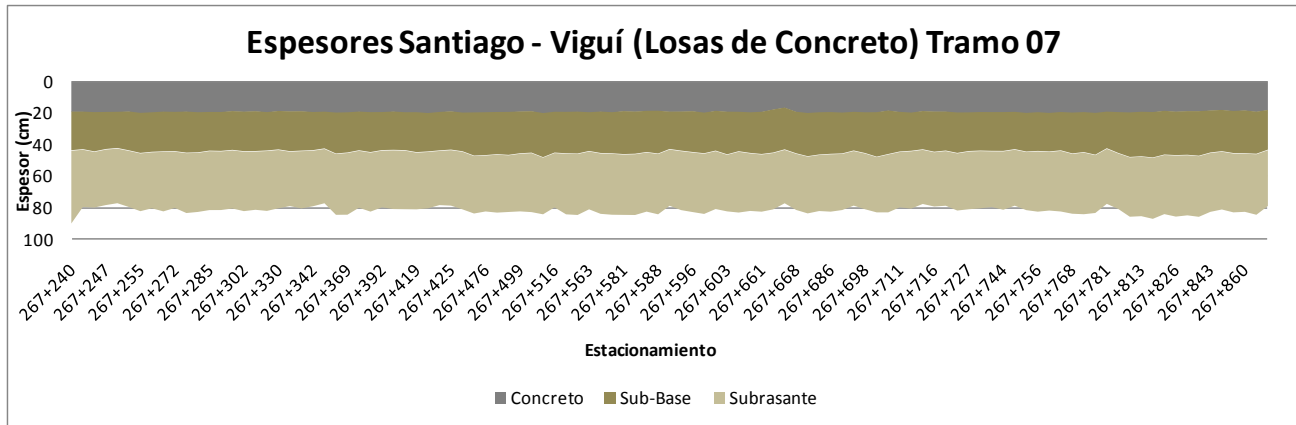


Figura 18 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 07

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	19,41	20,90
Sub-base	25,58	28,94
Subrasante	37,17	40,73

Tabla 23 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 07¹

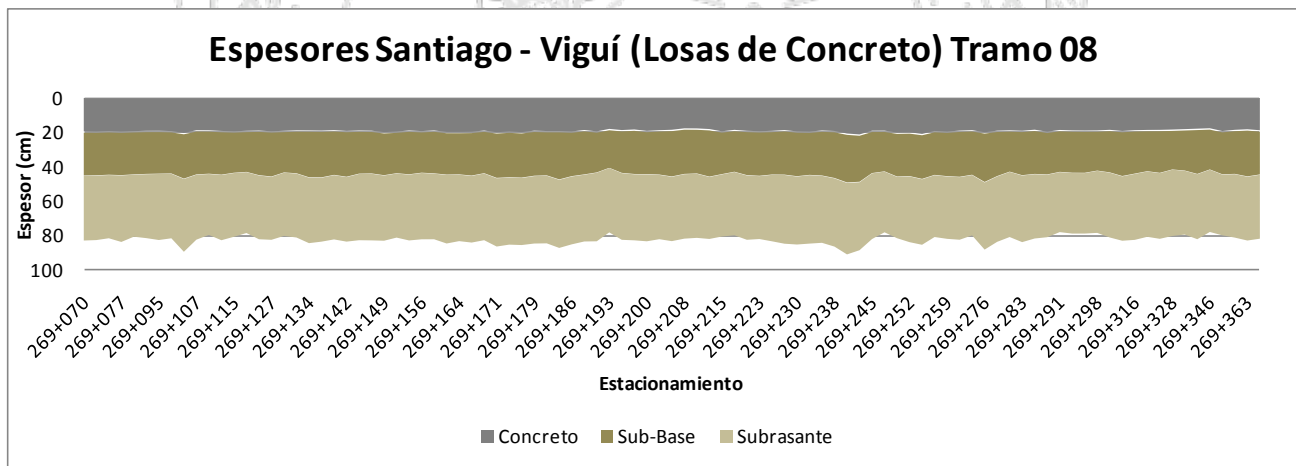


Figura 19 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 08

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	19,35	20,97
Sub-base	25,08	28,02
Subrasante	37,46	40,64

Tabla 24 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 08¹

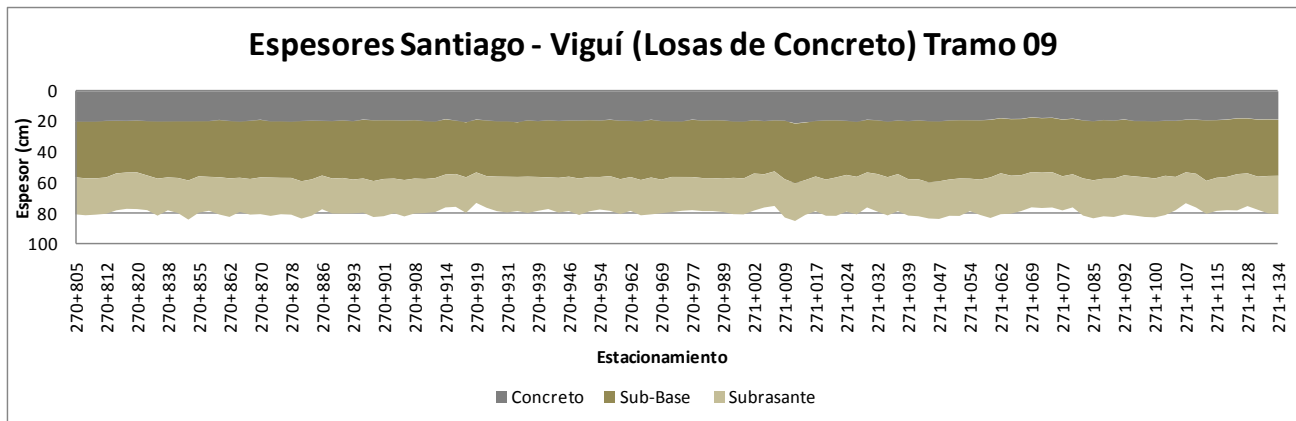


Figura 20 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 09

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	19,27	20,49
Sub-base	24,95	27,49
Subrasante	36,93	39,58

Tabla 25 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 09¹

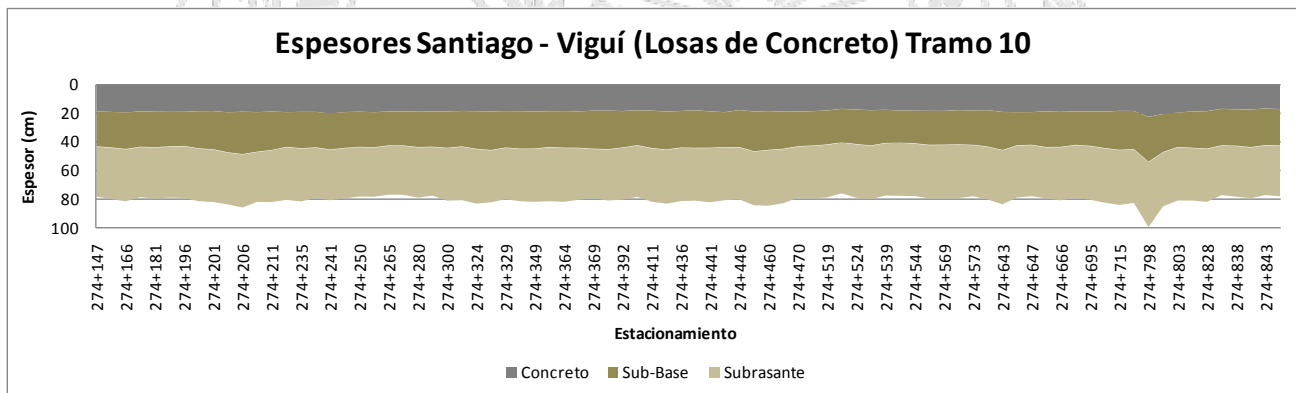


Figura 21 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 10

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,74	20,40
Sub-base	24,95	28,15
Subrasante	36,57	39,58

Tabla 26 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 10¹

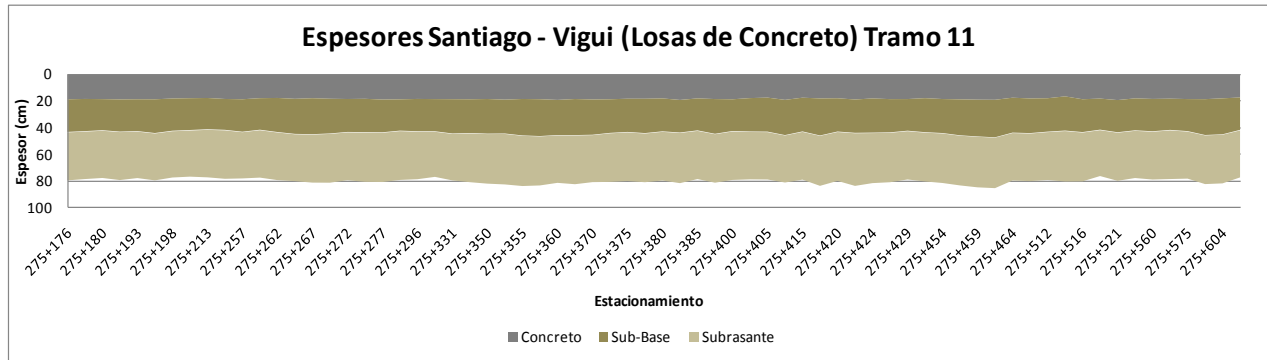


Figura 22 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 11

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,59	20,08
Sub-base	24,59	27,66
Subrasante	36,45	39,25

Tabla 27 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 11¹

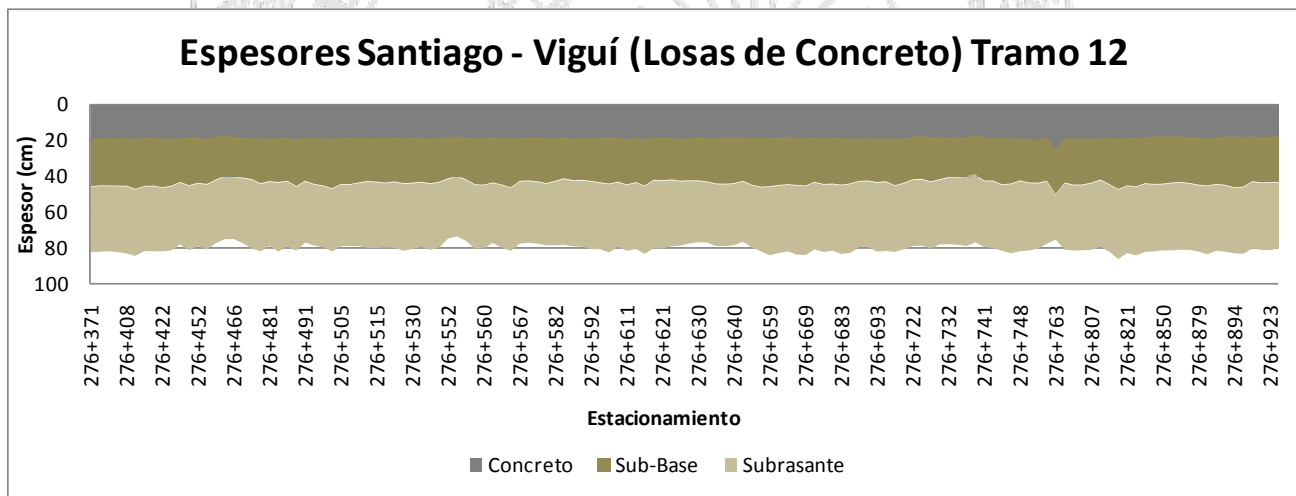


Figura 23 Espesores Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 12

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,74	20,45
Sub-base	24,98	28,26
Subrasante	36,46	39,45

Tabla 28 Cuadro Resumen Santiago - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 12¹

La distribución de espesores para el sentido Vigúí - Santiago se muestra en las Figuras 24 - 33. La evaluación se realizó en el carril externo de este sentido.

No se presenta la información de espesores correspondiente a los tramos 10, puesto que no se cuenta la información de las deflexiones, aunque si se tiene la estimación de los espesores, los cuales se adjuntarán con el resto de información en la versión digital.

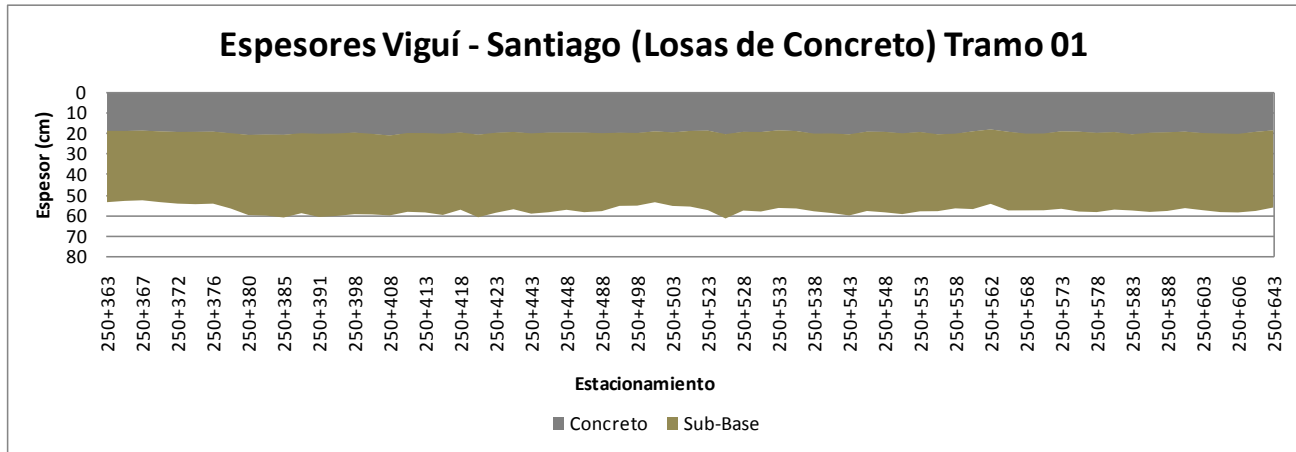


Figura 24 Espesores Vigúí - Vigúí (Losas de Concreto) Tramo 01

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	19,46	21,28
Sub-Base	37,87	41,18

Tabla 29 Cuadro Resumen Vigúí - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 01¹

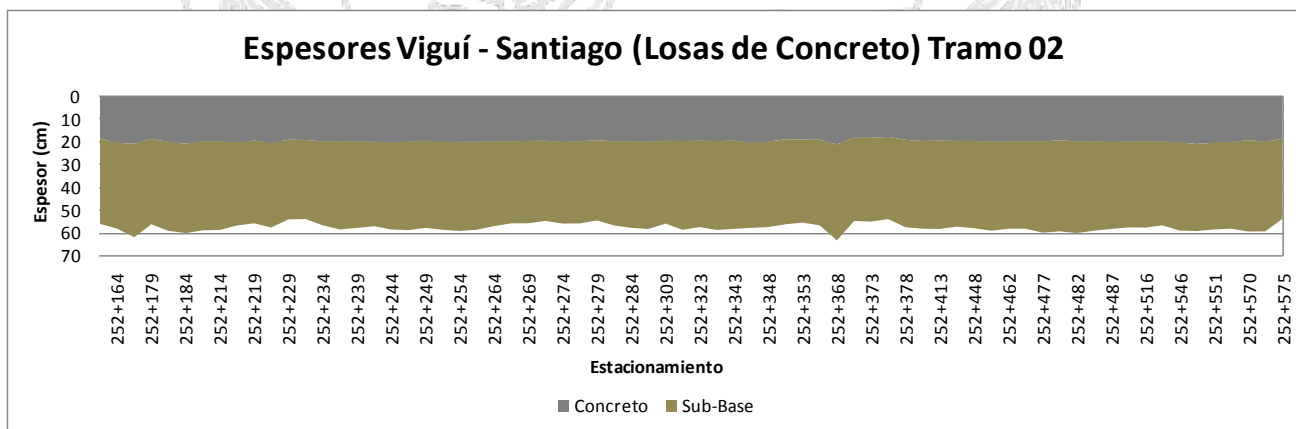


Figura 25 Espesores Vigúí - Vigúí (Losas de Concreto) Tramo 02

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	19,51	21,18
Sub-Base	37,85	40,82

Tabla 30 Cuadro Resumen Vigúí - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 02¹

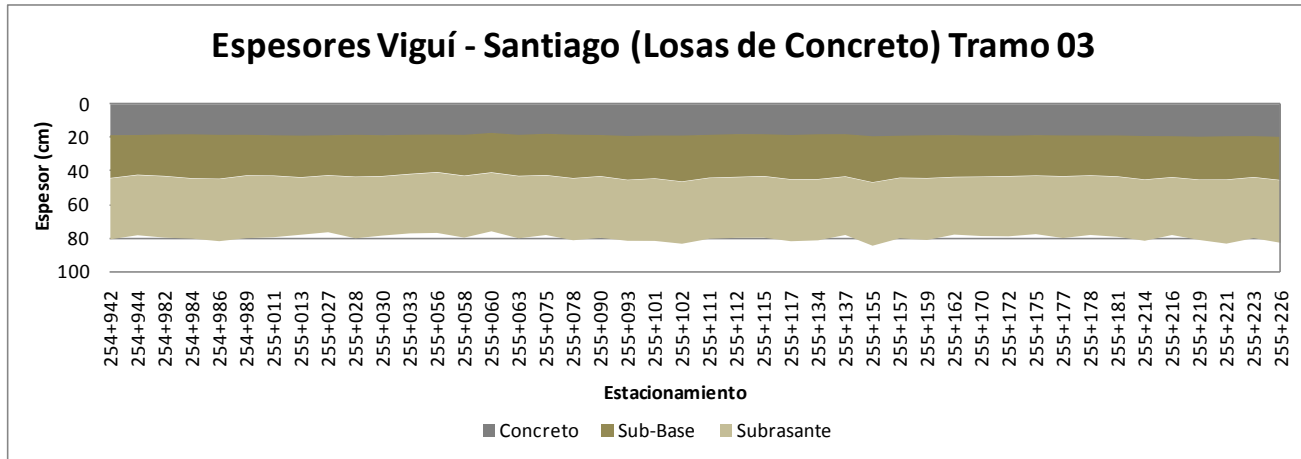


Figura 26 Espesores Vigúí - Vigúí (Losas de Concreto) Tramo 03

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,74	20,19
Sub-base	24,79	27,93
Subrasante	36,58	39,43

Tabla 31 Cuadro Resumen Vigúí - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 03¹

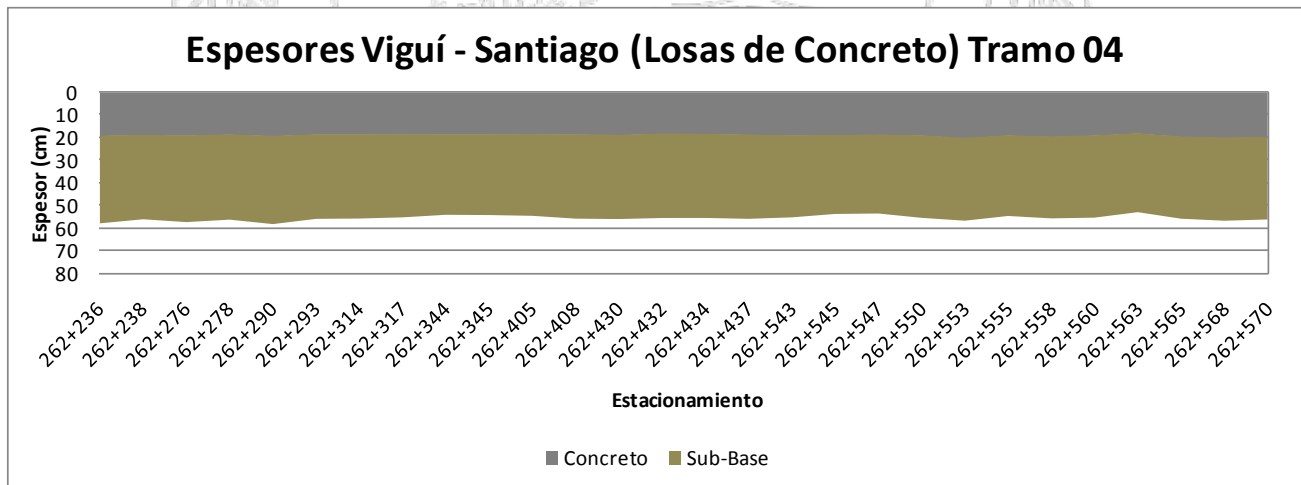


Figura 27 Espesores Vigúí - Vigúí (Losas de Concreto) Tramo 04

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,87	21,15
Sub-Base	36,84	42,01

Tabla 32 Cuadro Resumen Vigú - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 04¹

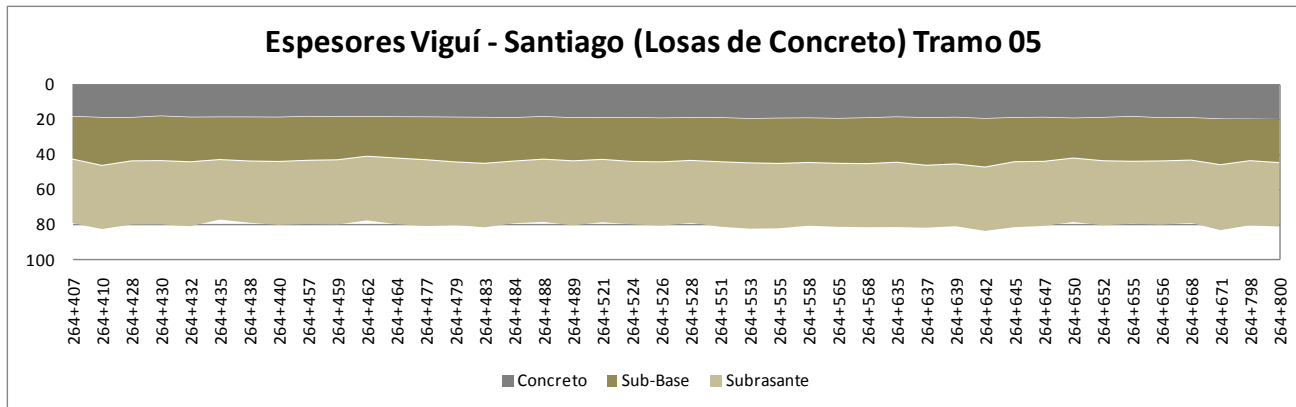


Figura 28 Espesores Vigú - Vigú (Losas de Concreto) Tramo 05

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	19,10	21,00
Sub-base	25,10	28,81
Subrasante	36,87	39,95

Tabla 33 Cuadro Resumen Vigú - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 05¹

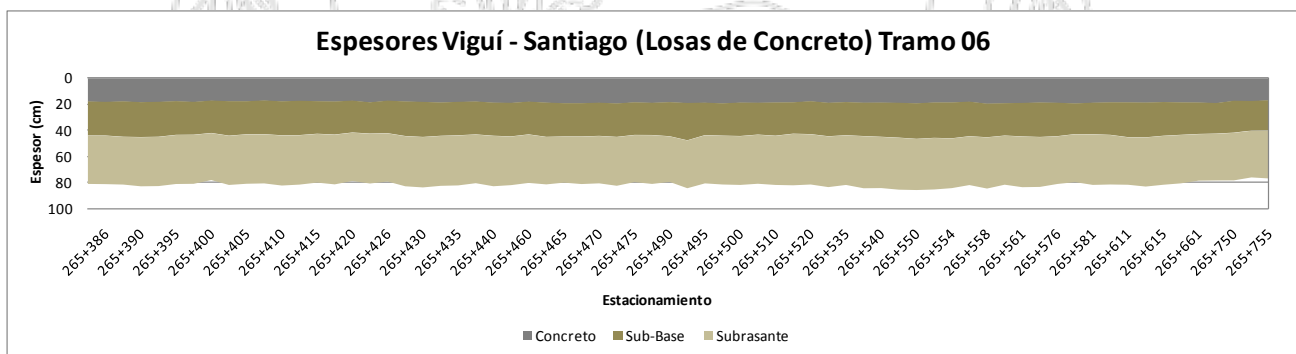


Figura 29 Espesores Vigú - Vigú (Losas de Concreto) Tramo 06

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,82	20,19
Sub-base	24,52	27,79
Subrasante	36,85	39,84

Tabla 34 Cuadro Resumen Vigú - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 06¹

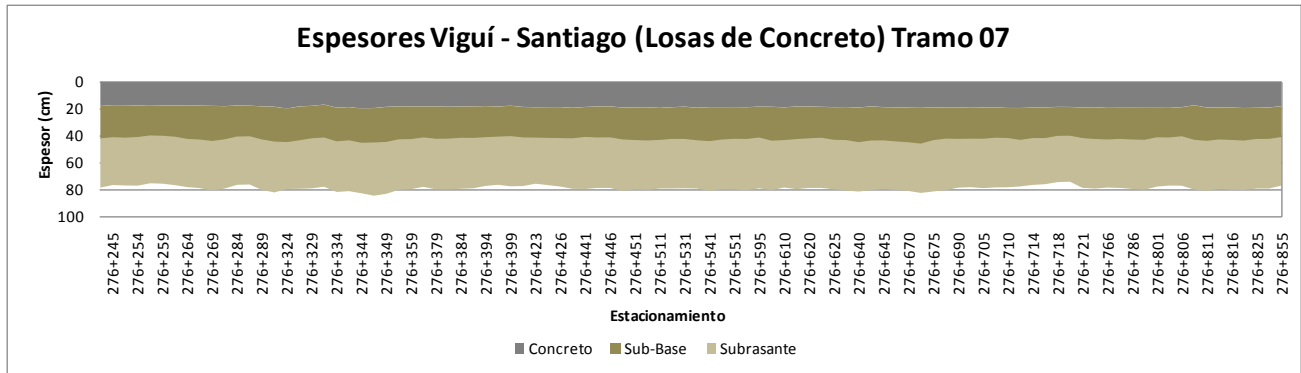


Figura 30 Espesores Viguí - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 07

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,75	20,28
Sub-base	23,89	26,91
Subrasante	36,42	39,17

Tabla 35 Cuadro Resumen Viguí - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 07¹

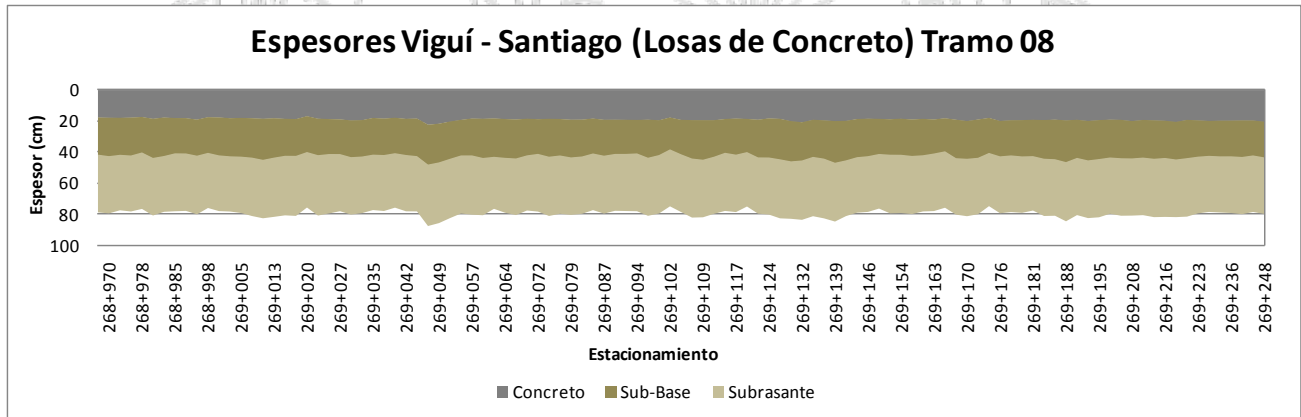


Figura 31 Espesores Viguí - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 08

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,92	20,71
Sub-base	24,03	26,80
Subrasante	36,23	38,80

Tabla 36 Cuadro Resumen Viguí - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 08¹

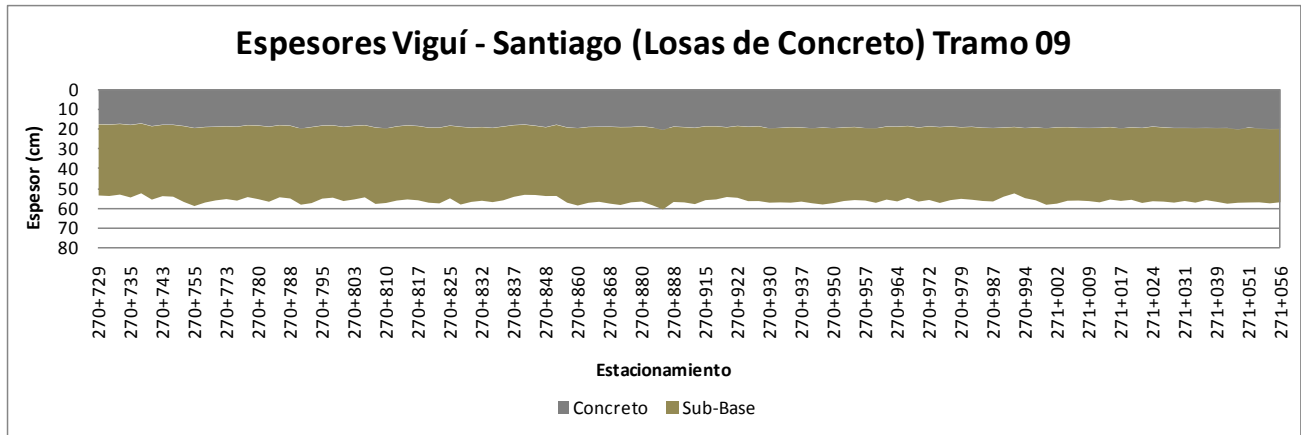


Figura 32 Espesores Viguí - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 09

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,88	20,20
Sub-Base	37,51	40,05

Tabla 37 Cuadro Resumen Viguí - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 09¹

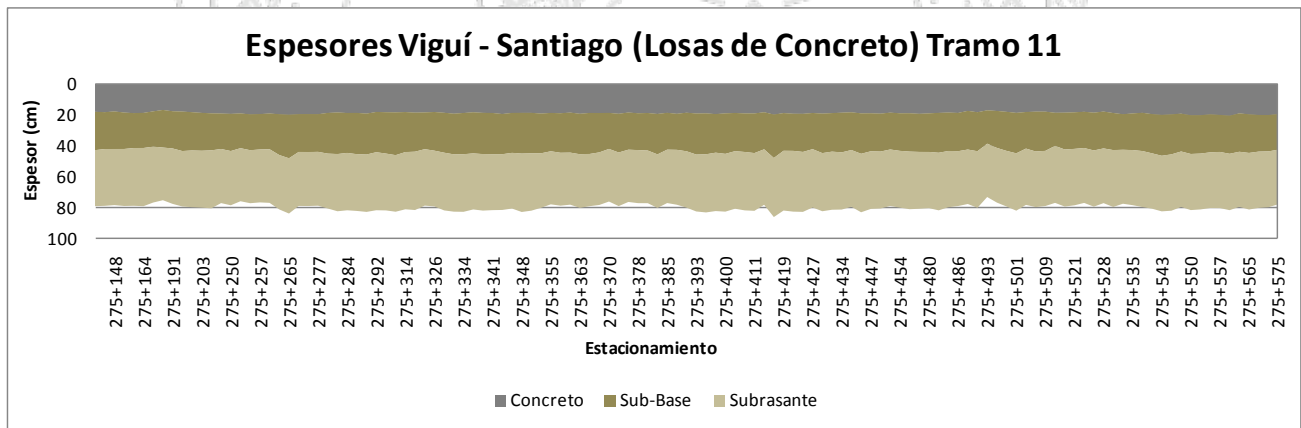


Figura 33 Espesores Viguí - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 11

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,78	20,28
Sub-base	24,50	27,57
Subrasante	36,35	39,19

Tabla 38 Cuadro Resumen Viguí - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 11¹

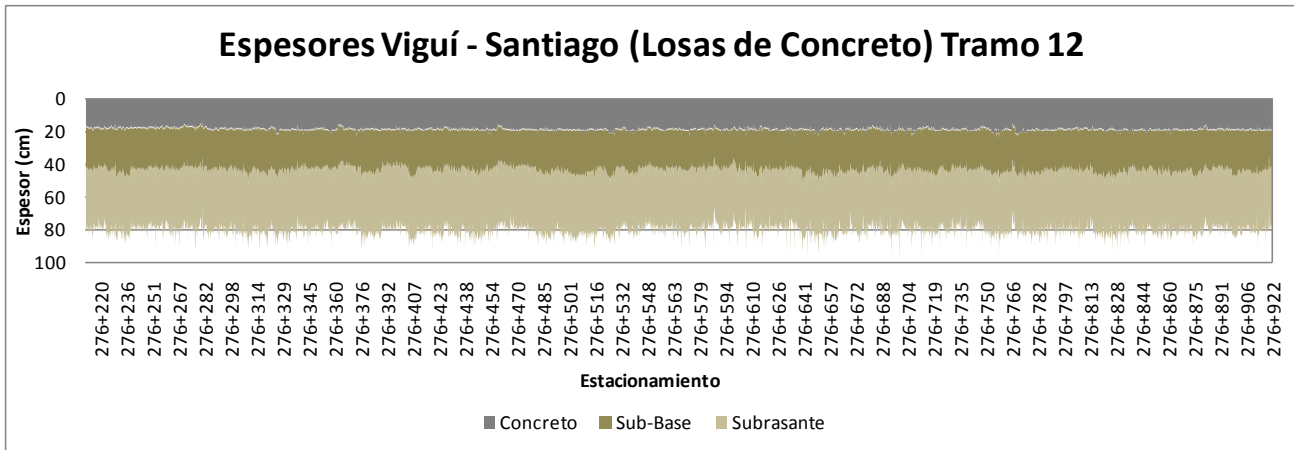


Figura 34 Espesores Viguí - Viguí (Losas de Concreto) Tramo 12

Capa	Promedio total (cm)	P ₉₅ (cm)
Concreto	18,66	20,32
Sub-base	25,01	28,35
Subrasante	36,76	39,55

Tabla 39 Cuadro Resumen Viguí - Santiago (Losas de Concreto) Tramo 12¹

6. CONCLUSIONES

De las mediciones obtenidas con el Geo-Radar de Penetración (GPR), que permite estimar los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento, se concluye lo siguiente.

Para el proyecto Divisa - Chitré es necesario realizar algunos sondeos que permitan determinar con mayor exactitud la estructura presente, puesto que en varios tramos cuyos estacionamientos son 8+560, 21+200 - 21+360, 22+320 - 22+560, 22+820 - 23+040, 26+320 - 26+401, 31+360 - 31+840 en el sentido Divisa - Chitré, pudo detectarse una capa que presenta mucha variabilidad en su espesor, debiéndose inicialmente a la presencia de un estrato rocoso, lo que se verificaría en el retrocálculo de módulos o haciendo un muestreo de las capas presentes mediante "cielos abiertos" o calicatas, además es recomendable extraer algunos testigos que permitan verificar espesores y el material de las capas presentes, puesto que podría existir mucha variación en el tipo de material que conforma las diferentes capas de la estructura a lo largo del proyecto.

El proyecto Santiago - Viguí (Black - Topping) se contó con la información de testigos suministrados por la empresa Odebrecht Ingeniería Panamá, permitiendo verificar los espesores estimados con el GPR y así conocer el error asociado de la estimación hecha con el equipo respecto a la obtenida con los testigos.

Se detectó que en el sentido Viguí - Santiago, el tramo donde no hay presencia de concreto asfáltico, el cual se indica que se encuentra entre los estacionamientos 303+731 a 303+760, siendo su equivalente según la distancia medida con el equipo entre las longitudes 17,740.20 m a 17,769.00 m, no coincide información detectado por el GPR respecto a lo indicado por los testigos, por lo que se recomienda verificar en campo, tomando como referencia las marcas de inicio y final de la evaluación hechas por los técnicos que realizaron las pruebas.

El proyecto Santiago - Viguí (Losas de Concreto) no contó con información previa concerniente a la estructura presente, por lo que se recomienda realizar sondeos en para validar alguna información, pero en general no se presentó mayor problema para la estimación de espesores en dicha sección.

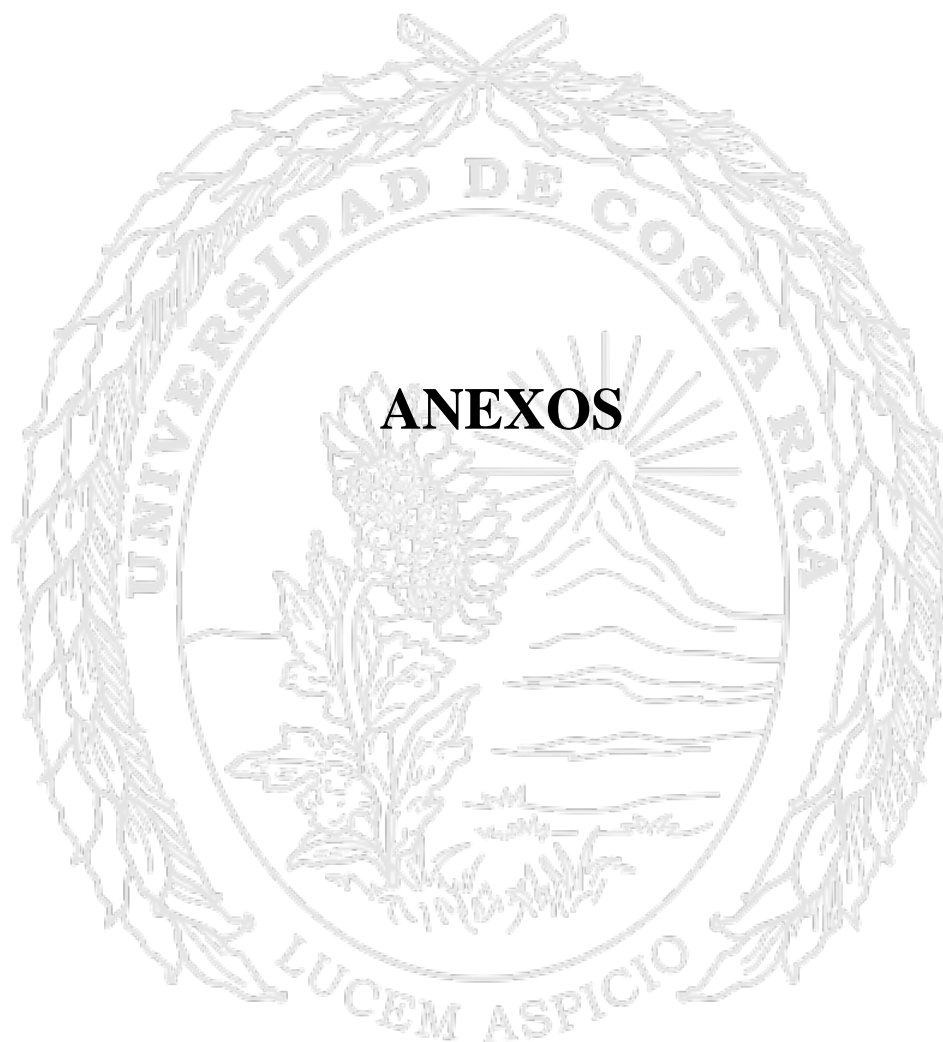
7. RECOMENDACIONES

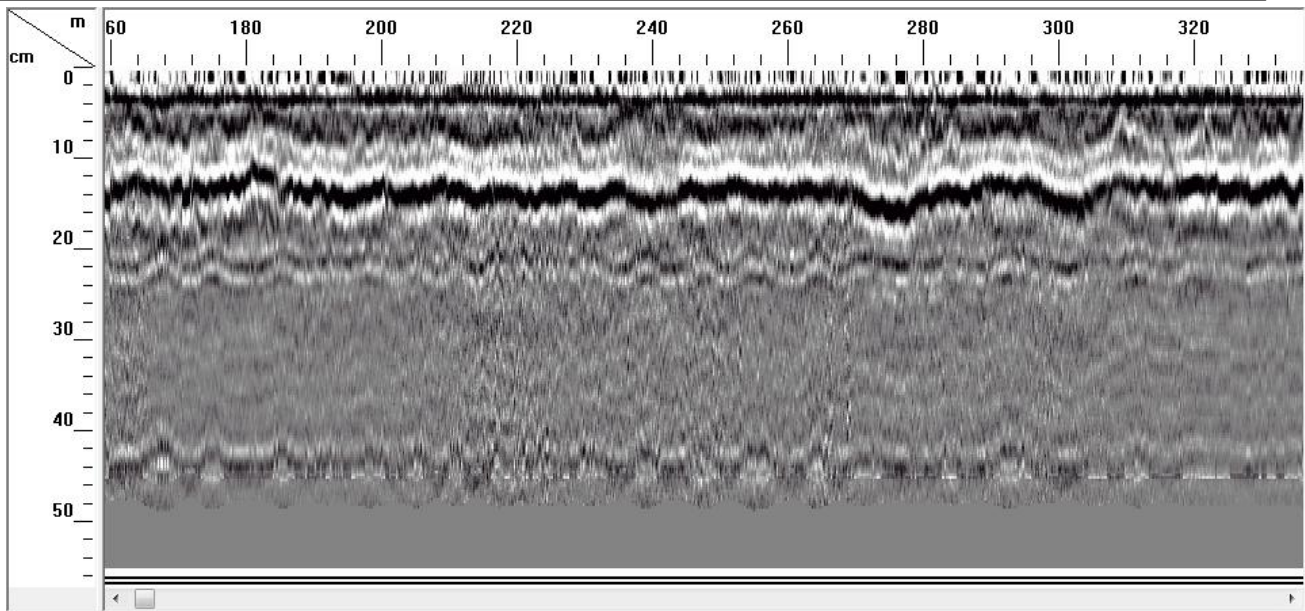
Se requiere realizar una jerarquización por medio de tramificación homogénea a lo largo de todos los proyectos de forma que se puedan calcular valores estadísticos representativos por cada tramo evaluado. Con la información por tramo homogéneo es posible realizar cálculos de retrocálculo de módulos con mayor precisión y representatividad, mejorando los criterios de mantenimiento o rehabilitación a lo largo de la vida de servicio de los proyectos.

Es necesario la realización de muestreos o exploraciones en los proyectos en los que no se contó con testigos y donde se aprecia una variación considerable en la estructura.

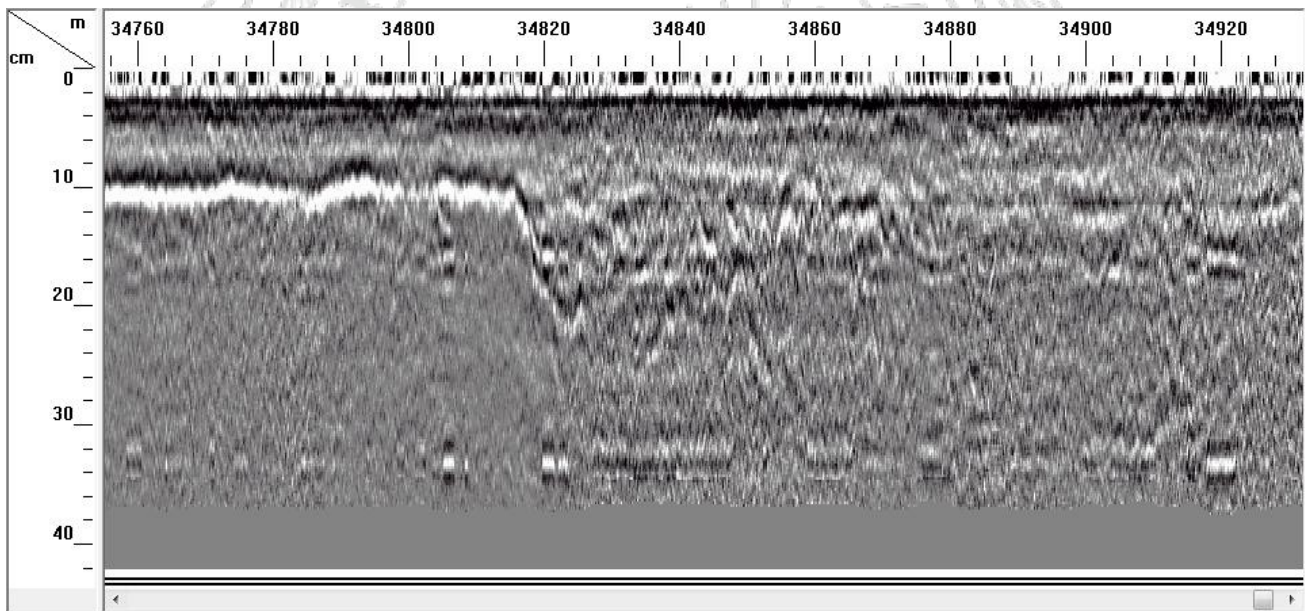
BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2001). D4748-10 Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar.
2. Cardimona, Steve; Willeford, Brent, et al (2003). RDT 03-002 Automated Pavement Analysis in Missouri Using Ground Penetrating Radar. University of Missouri, EEUU
3. Federal Highway Administration; U.S. Department Of Transportation (2011). Ground Penetrating Radar (GPR) Analysis: Phase I, State of Montana, EEUU
4. Cao, Yuejian; Dai, Shongtao; Labuz F., Joseph; Pantelis, John (2007). Implementation of Ground Penetration Radar. Minnesota, EEUU.
5. Liu, Wenting; Scullion, Tom (2009). Pavechek: Integrating Deflection and GPR for Network Condition surveys.
6. Geophysical Survey Systems Inc. (2011). Handbook for GPR Inspection of Road Structures. EEUU.
7. Jol M., Harry (2009). Ground Penetrating Radar: Theory and Applications
8. Maser R., Kenneth. (1996). Condition Assessment of Transportation Infraestructure Using Ground-Penetrating Radar.





a)



b)

Figura A. 1 **a)** Se muestra el estacionamiento 0+180 a 0+320 en le sentido Divisa - Chitré y **b)** su equivalente en el sentido Chitré - Divisa

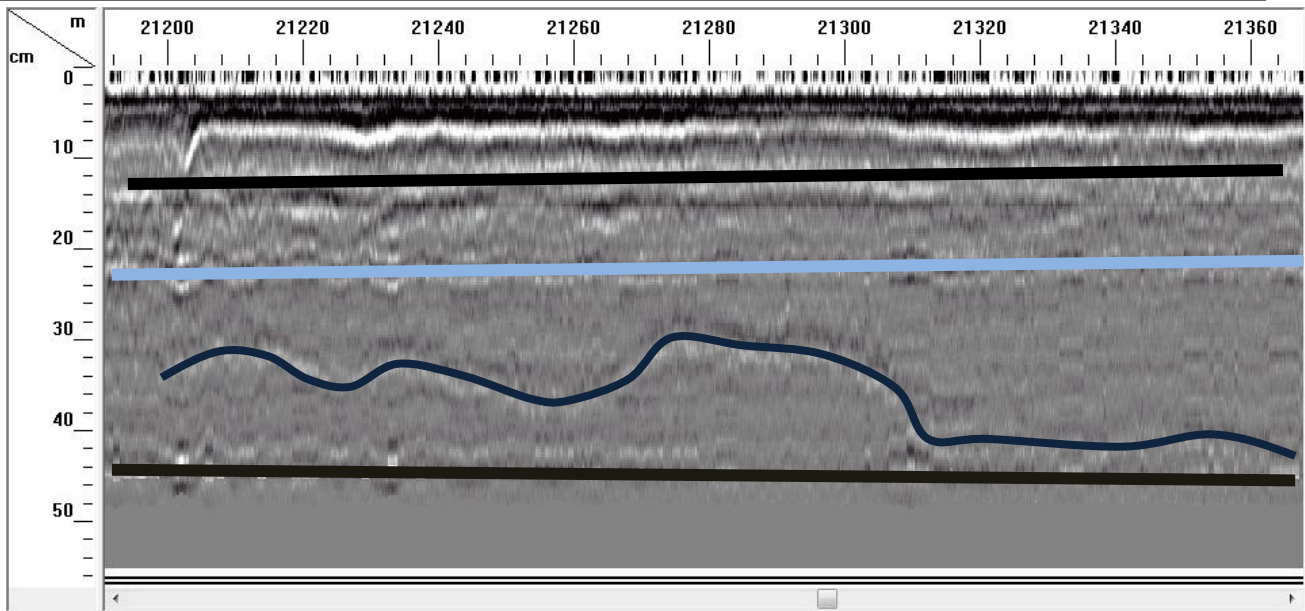


Figura A. 2 Presencia de tercer capa con espesor irregular en el sentido Divisa - Chitré.

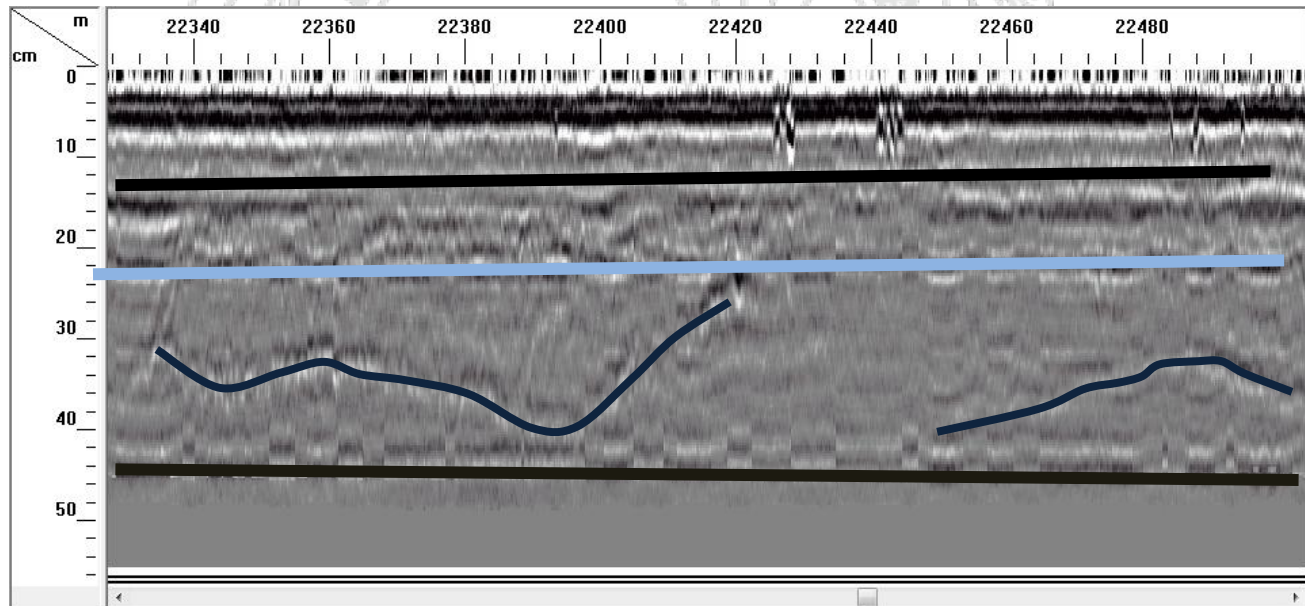


Figura A. 2 Presencia de tercer capa con espesor irregular irregular en el sentido Divisa - Chitré. (continuación)

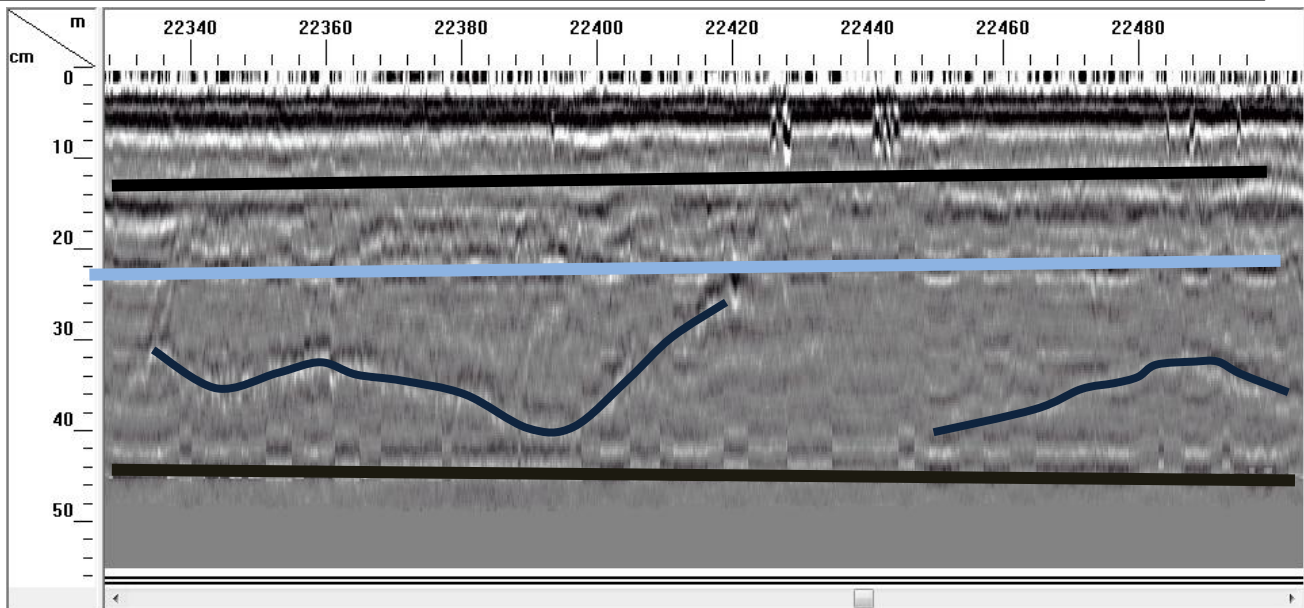


Figura A. 2 Presencia de tercer capa con espesor irregular irregular en el sentido Divisa - Chitré. (continuación)

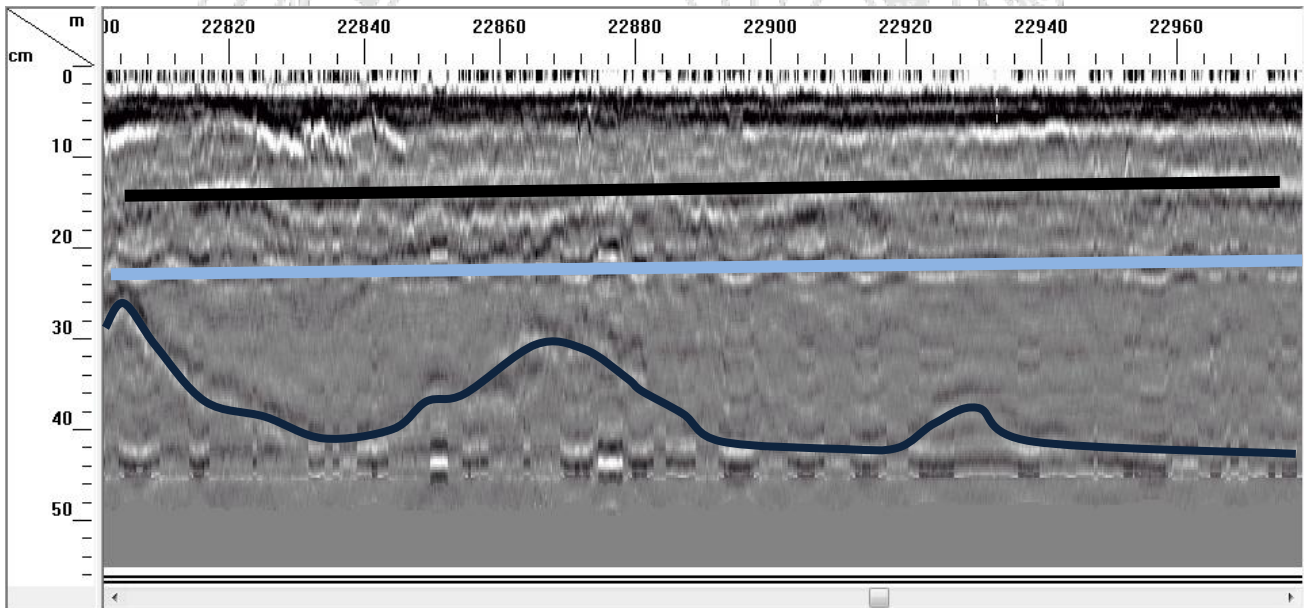


Figura A. 2 Presencia de tercer capa con espesor irregular irregular en el sentido Divisa - Chitré. (continuación)

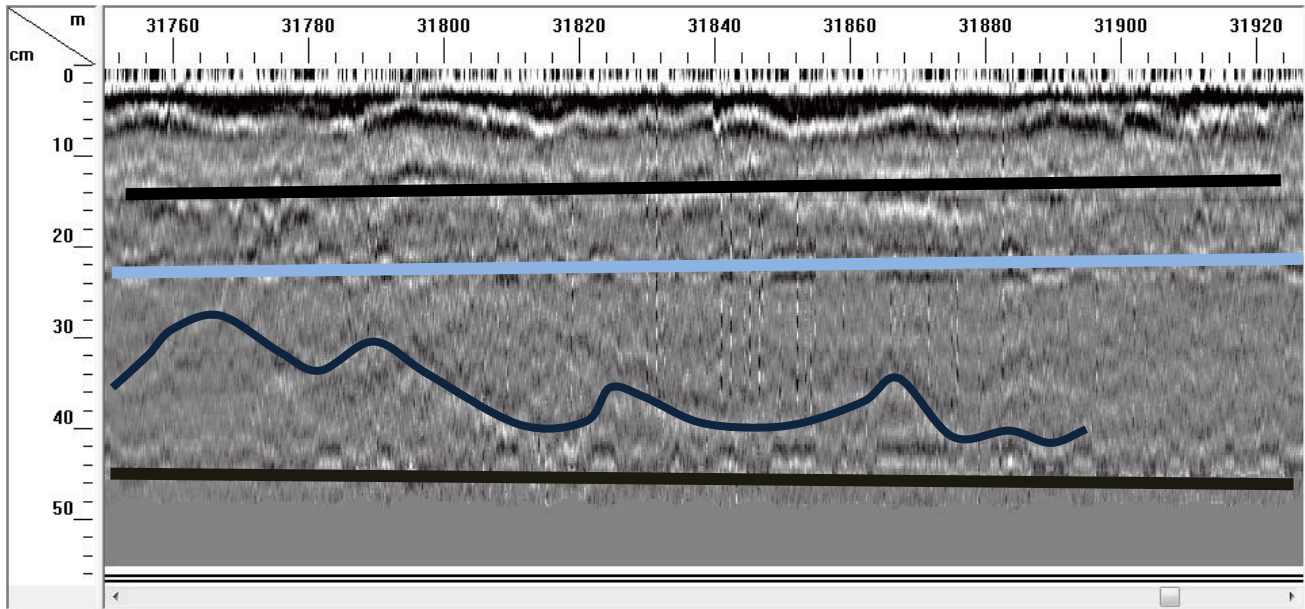


Figura A. 2 Presencia de tercer capa con espesor irregular irregular en el sentido Divisa - Chitré. (continuación)

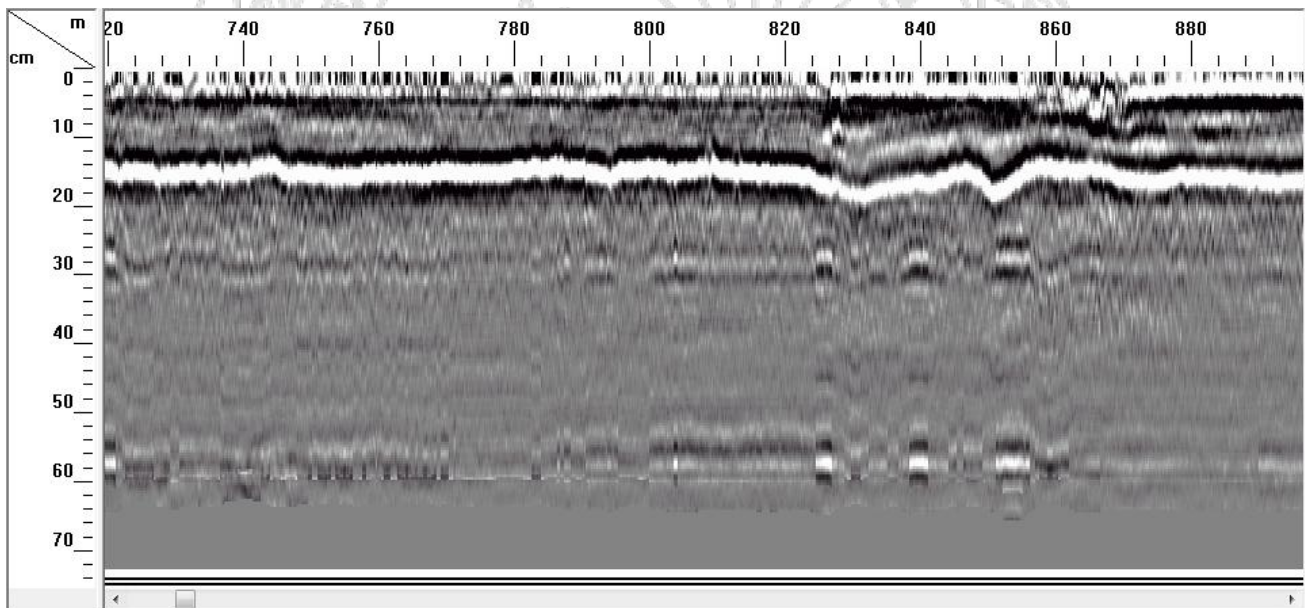


Figura A. 3 Variación de espesores Santiago - Viguí Est. 304+280

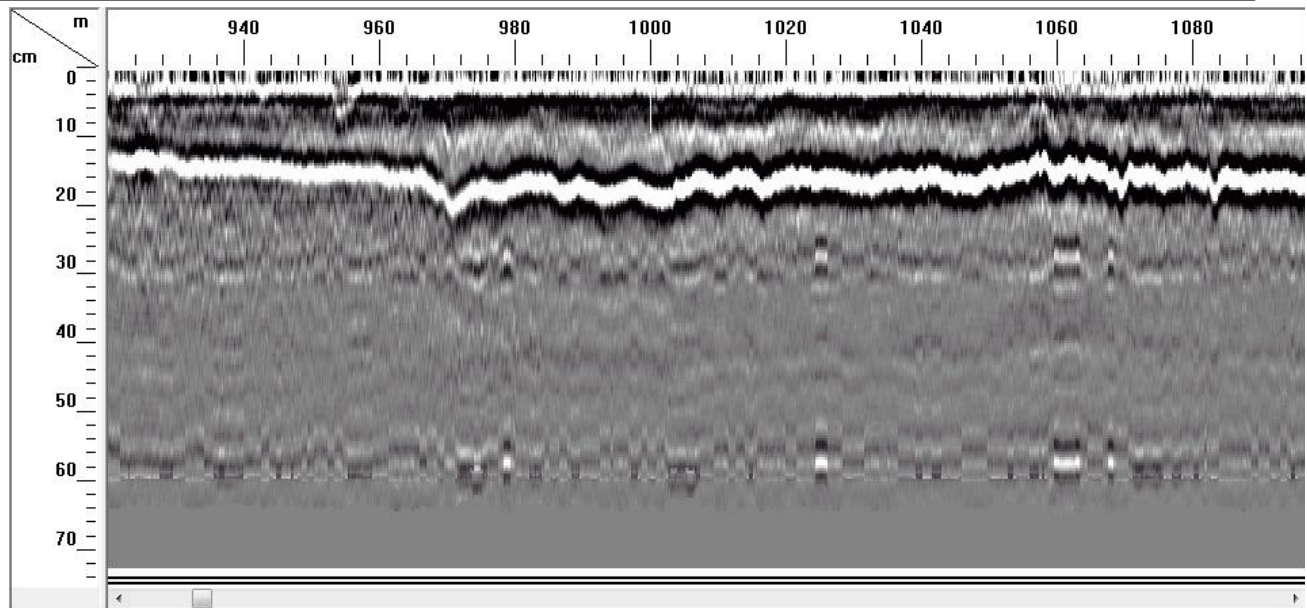


Figura A. 3 Variación de espesores Santiago - Viguí Est. 304+480 (continuación)

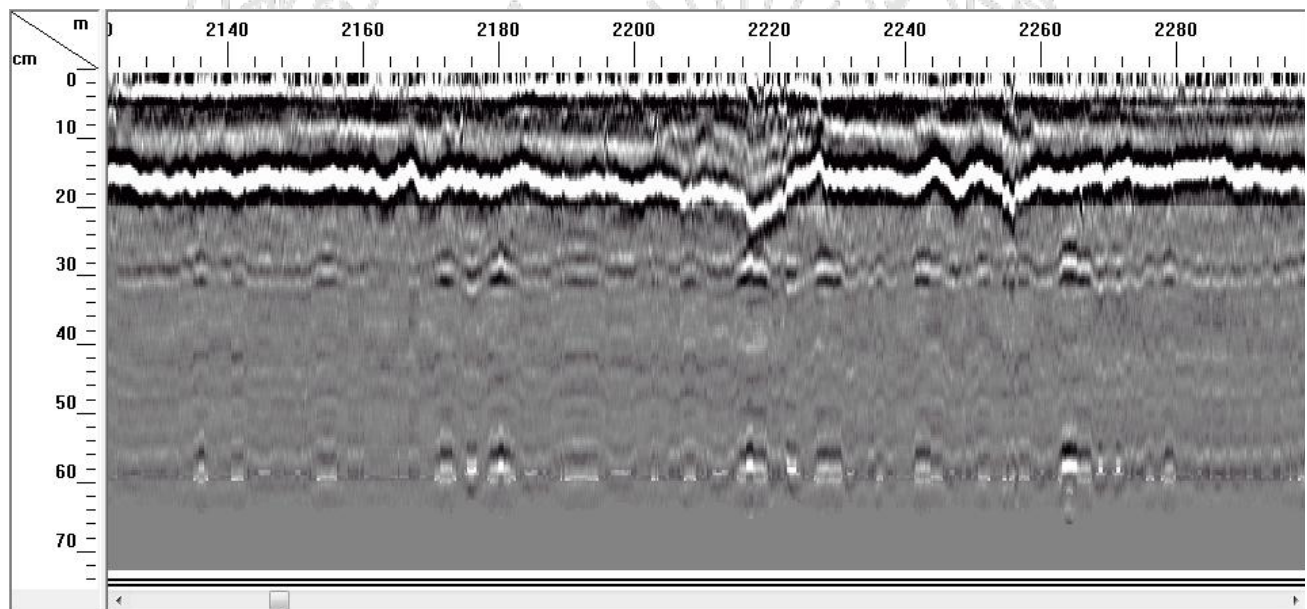


Figura A. 3 Variación de espesores Santiago - Viguí Est. 305+680 (continuación)

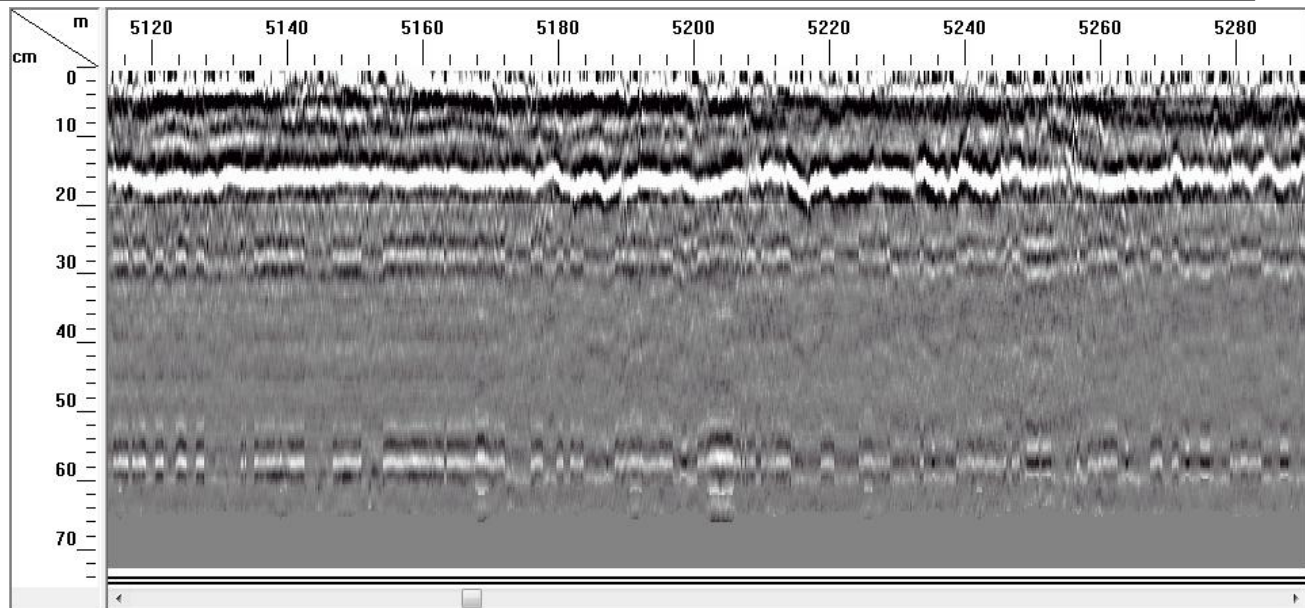


Figura A. 3 Variación de espesores Santiago - Viguí Est. 308+680 (continuación)

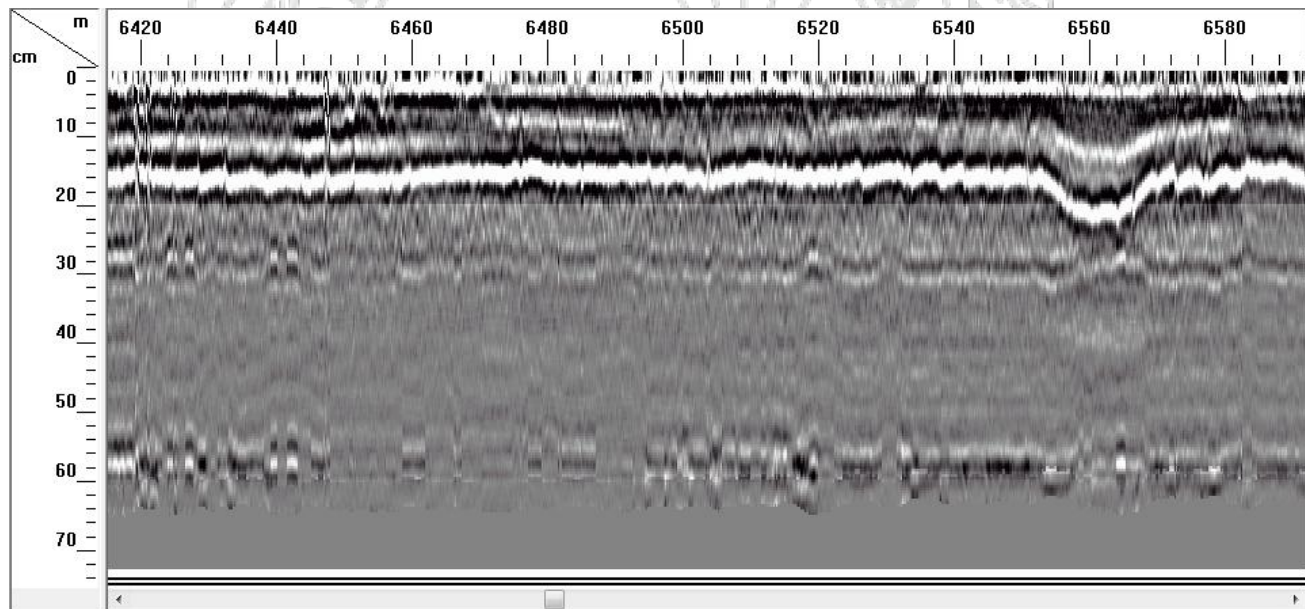


Figura A. 3 Variación de espesores Santiago - Viguí Est. 309+980 (continuación)

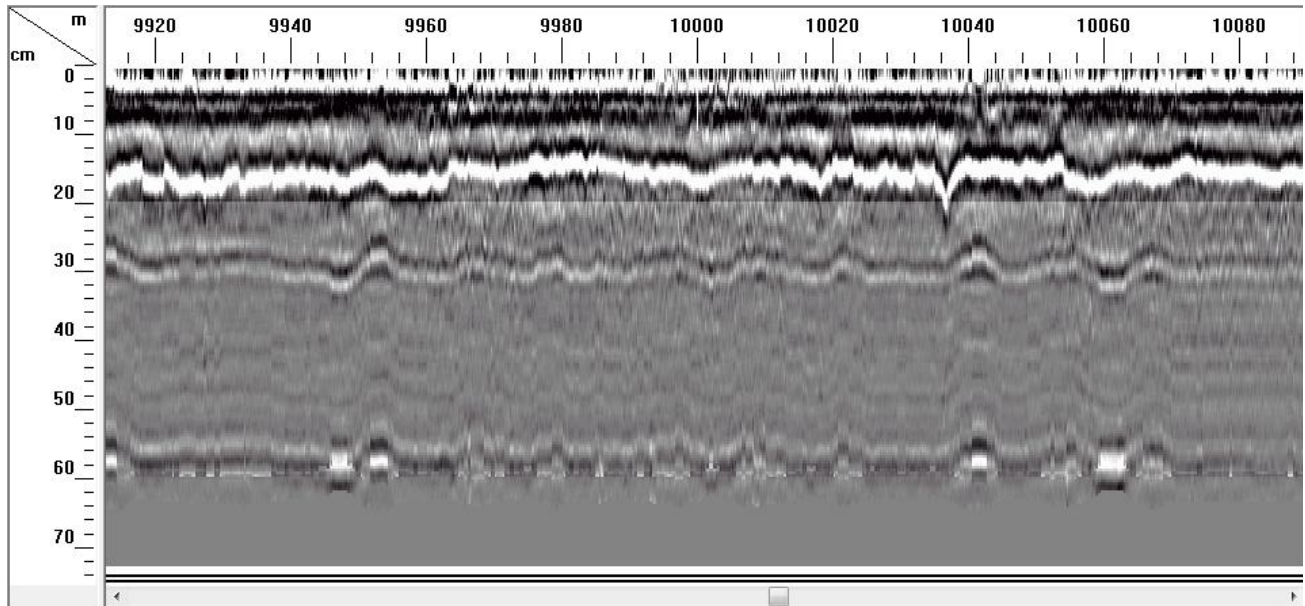


Figura A. 3 Variación de espesores Santiago - Vigú Est. 313+480 (continuación)

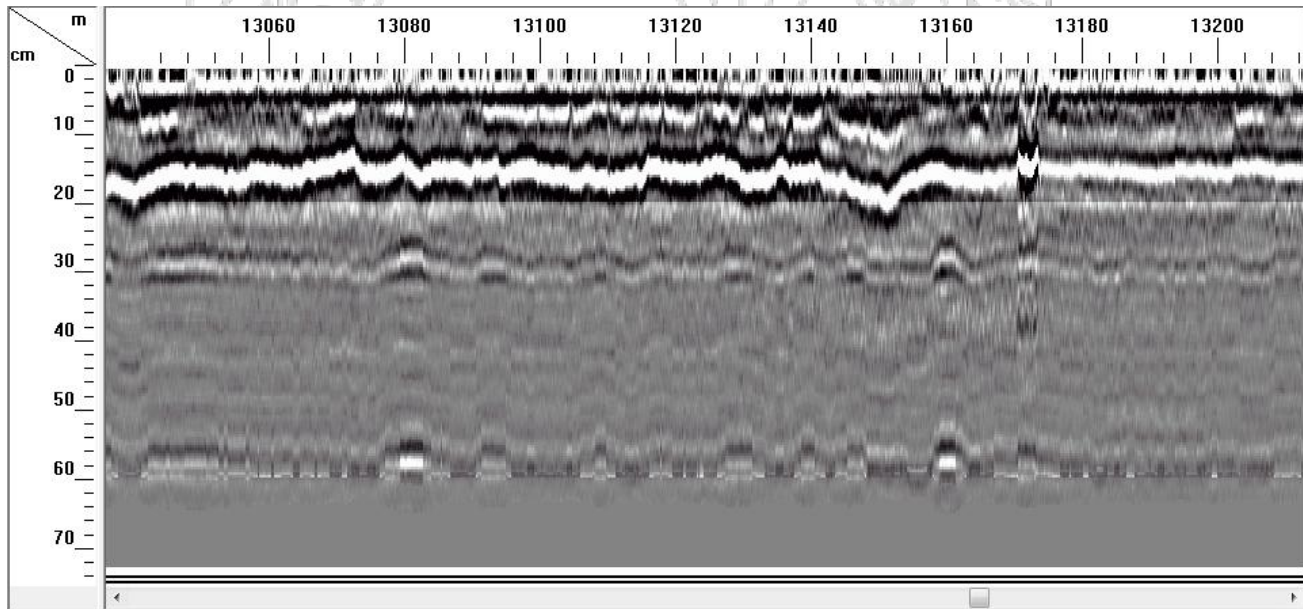


Figura A. 3 Variación de espesores Santiago - Vigú Est. 316+600 (continuación)

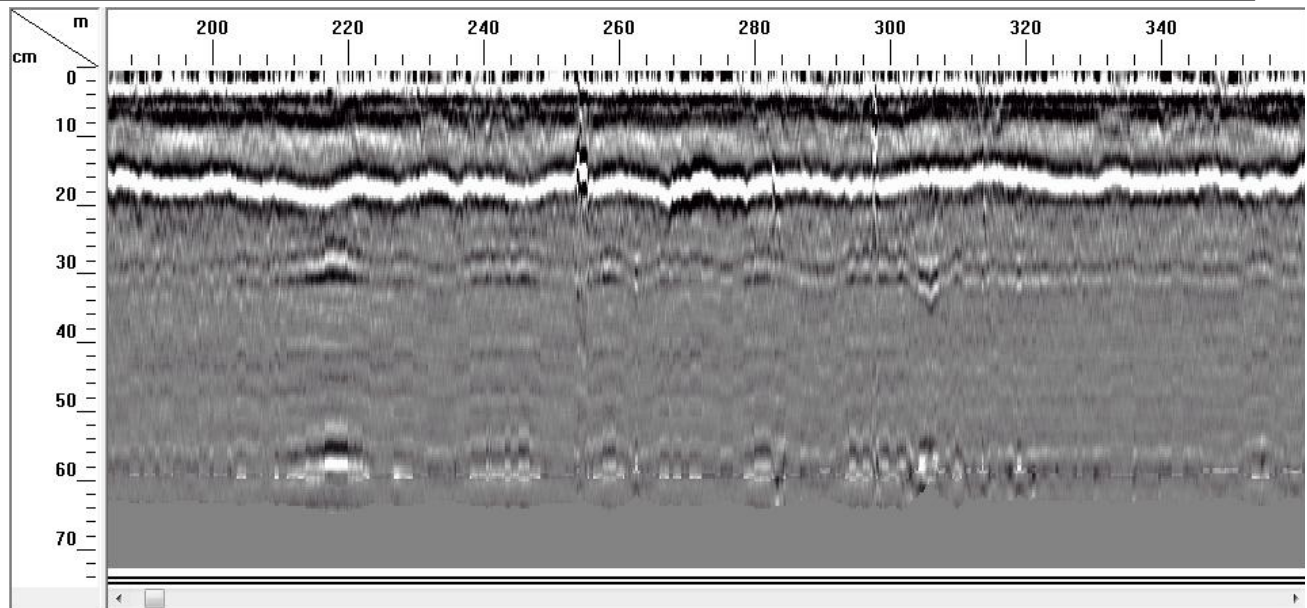


Figura A. 4 Variación de espesores Vigüí - Santiago Est. 321+220

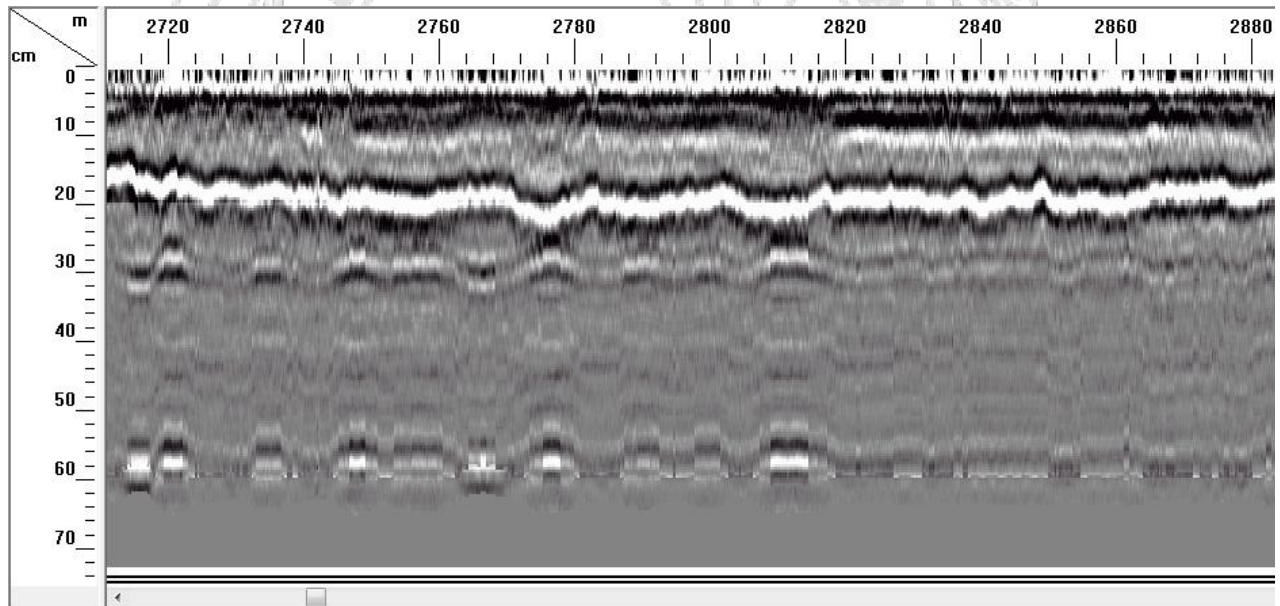


Figura A. 4 Variación de espesores Vigüí - Santiago Est. 318+720 (continuación)

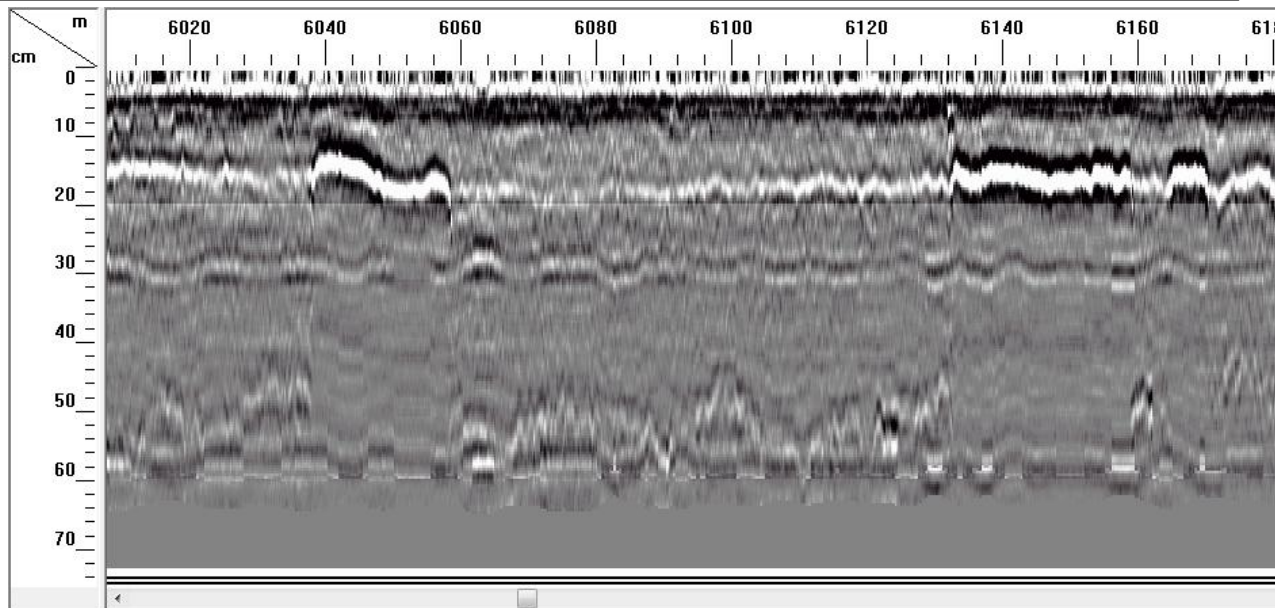


Figura A. 4 Variación de espesores Viguí - Santiago Est. 315+420 (continuación)

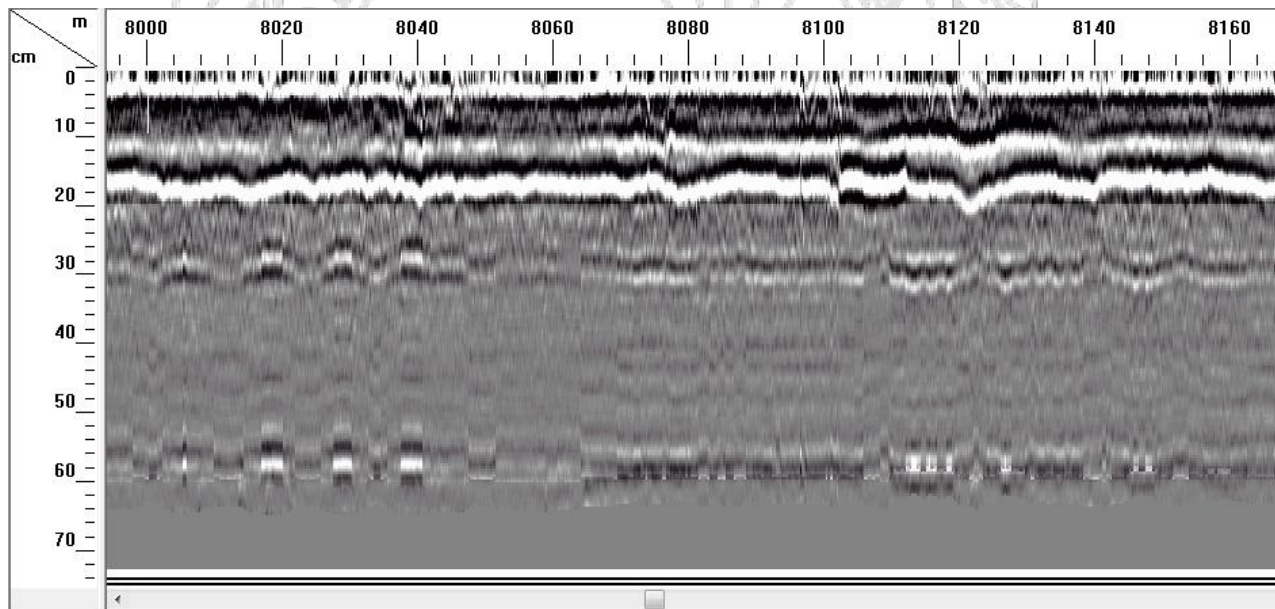


Figura A. 4 Variación de espesores Viguí - Santiago Est. 313+420 (continuación)

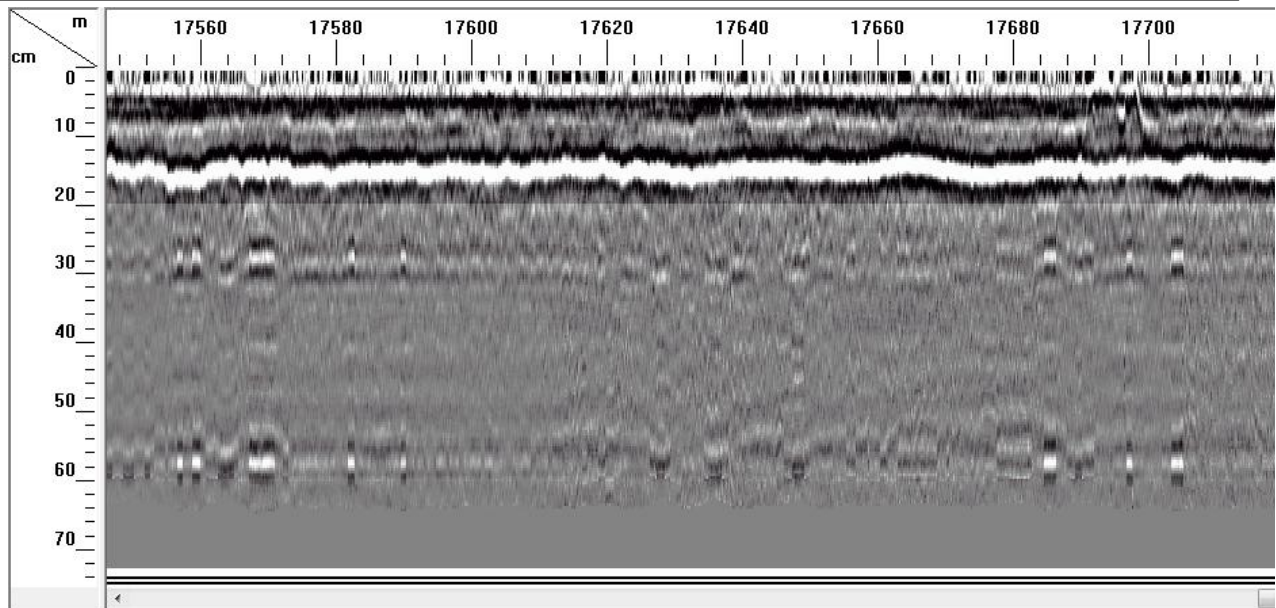


Figura A. 4 Variación de espesores Vigüí - Santiago Est. 3303+880 (continuación)

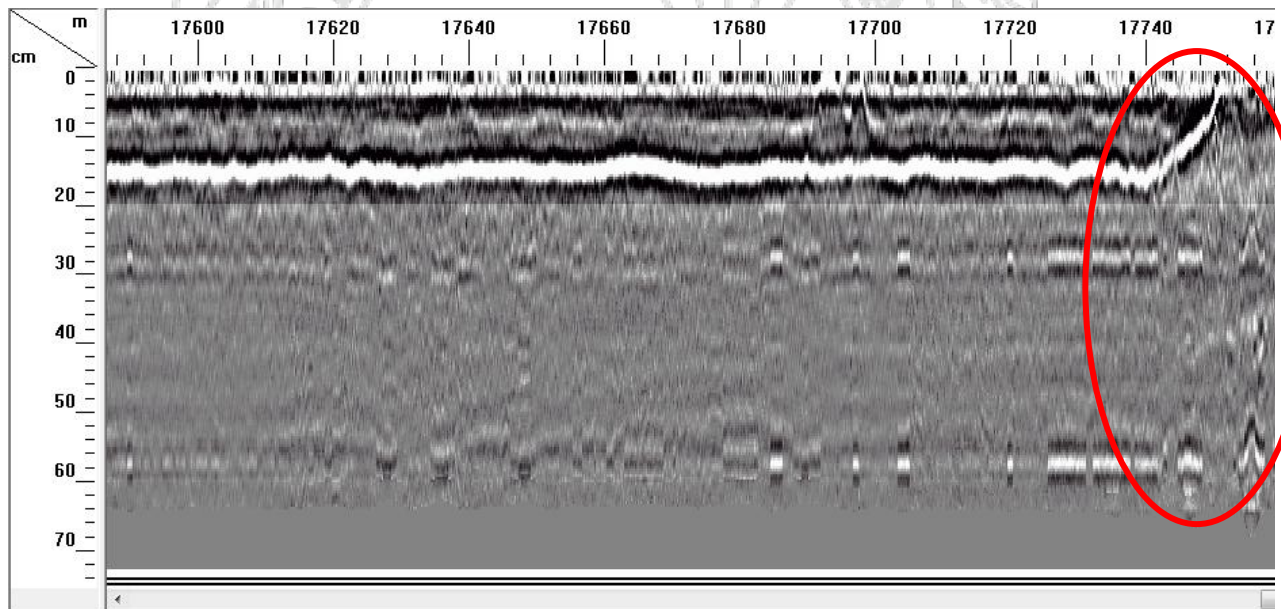


Figura A. 4 Variación de espesores Vigüí - Santiago Est. 303+731 a 303+760 (continuación)

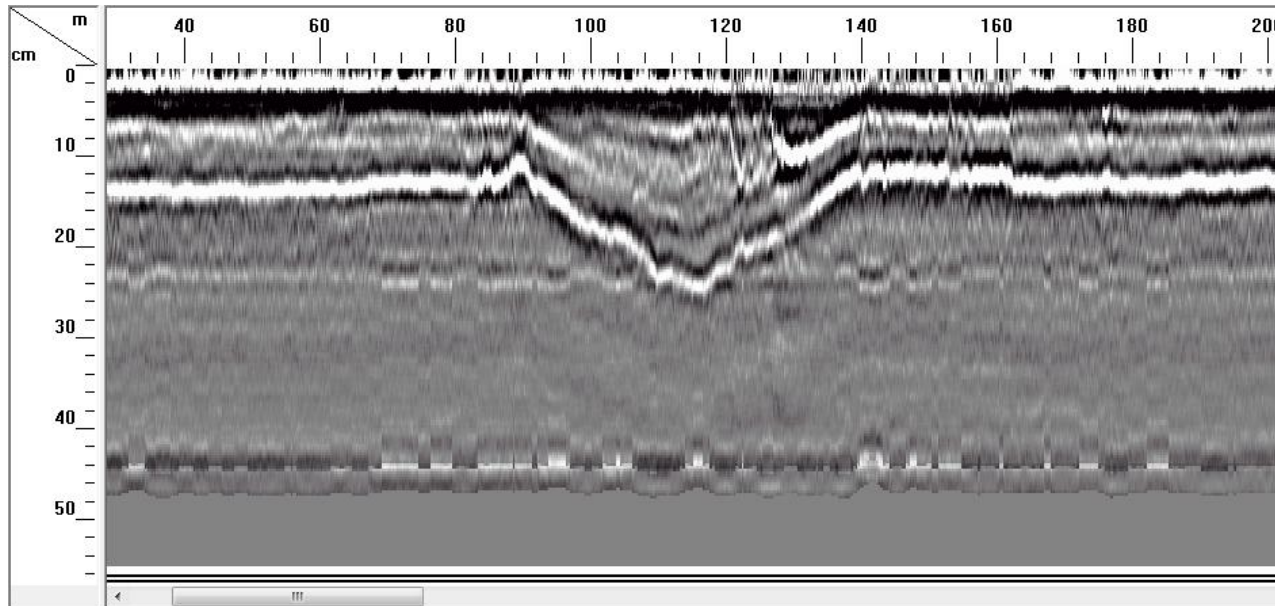


Figura A. 5 Hundimiento en estacionamiento 316+180 (distancia de medición: 120 m)

