



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL**

**VALIDACIÓN DE UN MÉTODO DE IMPACTO PARA VERIFICAR EL
MONOLITISMO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MULTICAPAS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

CRISTIAN EDUARDO ARAVENA CORNEJO

PROFESOR GUIA:

FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA

MIEMBROS DE LA COMISION:

IVÁN BEJARANO BEJARANO

RICARDO SALSILLI MURÚA

SANTIAGO DE CHILE

DICIEMBRE 2008

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: CRISTIAN ARAVENA C.
FECHA:06/03//2009
PROF. GUIA: Sr. FEDERICO DELFIN

“VALIDACIÓN DE UN MÉTODO DE IMPACTO PARA VERIFICAR EL MONOLITISMO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MULTICAPAS”

En este estudio se evalúa la posibilidad de detectar discontinuidades en el grado de unión en la interfaz entre capas asfálticas mediante la auscultación no destructiva con martillo de impacto. Este tipo de instrumento permite medir la energía restituida después del impacto de una masa impulsada por un resorte calibrado sobre un elemento rígido (vástago) que se apoya directamente sobre la superficie. Se busca determinar en pistas de prueba la sensibilidad de la respuesta de carpetas asfálticas con diferentes condiciones de adherencia en el plano de unión entre capas:

- Tratamiento en la interfaz de capas: riego de liga limpio, riego de liga contaminado y sin riego de liga.
- Tipo de base: Hormigón compactado con rodillo y base granular.
- Espesor de la capa superficial (rodadura).

Se utilizó un martillo cuya energía nominal de impacto es 30 Nm. Se realizaron mediciones sobre una malla predeterminada de puntos de las pistas de prueba.

De los resultados obtenidos se destaca que en zonas con falta de adherencia entre capas el valor del índice de rebote es entre 70 y 85% del valor obtenido en secciones monolíticas. Se concluye que la auscultación con martillo de impacto permite discriminar entre zonas con y sin adherencia en el plano de unión entre capas asfálticas, existiendo una correlación lineal entre la resistencia de corte en la unión entre capas medida con el método del Laboratorio de Caminos de Barcelona y el índice de rebote según el método en estudio, la cual depende del espesor de la capa superficial. Se comprueba además que los valores de índice de rebote no son afectados por las propiedades de las capas inferiores. Igualmente, se comprobó que la temperatura de la superficie de la carpeta asfáltica afecta significativamente a los valores de índice de rebote.

Se recomienda continuar investigaciones en esta línea de estudio con diferentes materiales, estructuraciones y tiempo de desfase en la construcción de las capas de la carpeta asfáltica.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres, Luis y Ana, por entregarme valores, todo su afecto y apoyo incondicional durante estos años. Por sobre todo, gracias por el gran esfuerzo que han hecho por mi y mis hermanas.

A mis hermanas, por darme cariño y apoyo en todo momento. A mi abuelo, por ser un ejemplo y enseñarme de las cosas sencillas e importantes de la vida.

En cuento a la realización de este trabajo, quisiera agradecer a mi profesor guía, Don Federico Delfín, por su buena disposición y apoyo.

También quiero agradecer al equipo de la Sección de Pavimentación de IDIEM, en especial a Juan Carlos Verdugo por toda su colaboración y a Cristian Díaz por motivarme a desarrollar este estudio. A Luis Duque por su ayuda y a Joel Robles por su buena voluntad y simpatía.

Finalmente, quisiera agradecer a la empresa de Áridos y Pavimentos Quilín, ya que hicieron posible este estudio.

Tabla de Contenidos

| | |
|---|-----------|
| Resumen | 2 |
| Agradecimientos | 3 |
| Tabla de Contenidos | 4 |
| Índice de Figuras | 7 |
| Índice de Tablas | 9 |
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1.1 Introducción general. | 10 |
| 1.2 Objetivos. | 11 |
| CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES. | 12 |
| 2.1 Antecedentes generales. | 12 |
| 2.2 Descripción de conceptos mecanicistas asociados a la unión de las capas. | 14 |
| 2.3 Factores que intervienen en la falta de unión entre capas asfálticas. | 17 |
| 2.3.1 Calidad del riego de liga. | 17 |
| 2.3.2 Tasa de aplicación del riego de liga. | 18 |
| 2.3.3 Tiempo de curado o quiebre. | 20 |
| 2.3.4 Condición de la superficie. | 20 |
| 2.4 Análisis de casos de falla de deslizamiento. | 21 |
| 2.4.1 Falla en aeropuerto Nagoya de Japón. | 21 |
| 2.4.2 Deslizamiento en Aeropuerto Internacional de Newark. | 22 |
| 2.4.3 Falla de pista en Aeropuerto de Arturo Merino Benítez | 23 |
| 2.4.4 Casos de deslizamientos en carreteras. | 23 |
| 2.5 Ensayos para evaluar la resistencia de la unión en la interfaz entre capas asfálticas. | 24 |
| 2.5.1 Métodos destructivos | 24 |
| Ensayos de corte. | 24 |
| Ensayo de torque. | 25 |
| Ensayo de arranque (UTEP) | 26 |
| Ensayo de capacidad adherente del riego de liga (ATACKER) | 27 |

| | | |
|---------------------------------------|---|-----------|
| 2.5.2 | Métodos no destructivos para la auscultación del monolitismo de la carpeta en pavimentos asfálticos de dos capas. | 28 |
| | Método de termografía infrarrojo [13] | 28 |
| | Deflectometría de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD) | 31 |
| | Martillo de impulso | 32 |
| | Método de auscultación por martillo | 33 |
| | Martillo esclerométrico o de rebote. | 34 |
| CAPÍTULO 3: ETAPA EXPERIMENTAL | | 37 |
| 3.1 | Construcción de Pistas de Prueba | 37 |
| 3.1.1 | Pistas de Prueba. | 37 |
| 3.1.2 | Planificación de la construcción. | 39 |
| 3.1.3 | Selección de Materiales. | 39 |
| 3.1.4 | Maquinaria y equipos empleados en la construcción de las pistas. | 41 |
| 3.1.5 | Descripción y registro de información durante la construcción. | 41 |
| | Preparación de superficies. | 41 |
| | Colocación de primera capa asfáltica. | 42 |
| | Riego de liga. | 43 |
| | Colocación segunda capa | 46 |
| 3.2 | Puesta a punto del método y calibración del martillo de rebote. | 49 |
| 3.2.1 | Calibraciones | 49 |
| 3.3 | Planificación de ensayos. | 50 |
| 3.3.1 | Puntos de medición. | 50 |
| 3.3.2 | Procedimiento de ensayo para la determinación del índice de rebote. | 51 |
| 3.3.3 | Análisis de la sensibilidad del método: efecto de la temperatura superficial de la carpeta. | 52 |
| 3.3.4 | Inspección mediante testigos. | 53 |
| CAPÍTULO 4: RESULTADOS. | | 55 |
| 4.1 | Ensayos de impacto. | 55 |
| 4.2 | Ensayos de corte. | 62 |
| 4.3 | Análisis de resultados. | 66 |

| | |
|--|-----|
| CAPITULO 5: DISCUSIÓN. | 68 |
| 5.1 Acerca de la metodología. | 68 |
| 5.2 Influencia de las variables en estudio | 71 |
| 5.2.1 Tratamiento entre capas asfálticas. | 71 |
| 5.2.2 Tipo de base. | 71 |
| 5.2.3 Espesor de capa superficial | 72 |
| 5.2.4 Temperatura. | 72 |
| 5.3 Acerca del método | 73 |
| CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES | 75 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 77 |
| ANEXO A: MATERIALES DE BASE | 80 |
| ANEXO B: RIEGOS DE LIGA E IMPRIMACIÓN | 87 |
| ANEXO C: MEZCLA ASFALTICA Y MUESTREOS | 91 |
| ANEXO D: MEDICIONES | 103 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Aplicación de riego de liga | 13 |
| Figura 2.2: Falla de deslizamiento..... | 13 |
| Figura 2.3: Efecto de la unión entre capas asfálticas sobre la fatiga. | 15 |
| Figura 2.4: Esquema de esfuerzo horizontal sobre superficie del pavimento. | 16 |
| Figura 2.5: (a) Pavimento monolítico. (b) Capas despegadas | 17 |
| Figura 2.6: Riego de liga con cubrimiento total de la superficie tratada..... | 19 |
| Figura 2.7: Aplicación no uniforme de riego de liga..... | 20 |
| Figura 2.8: Falla de deslizamiento en Aeropuerto de Nagoya, Japón. | 21 |
| Figura 2.9: Ubicación de zona de falla en aeropuerto de Nagoya..... | 22 |
| Figura 2.10: Aeropuerto de Newark, New Jersey. | 23 |
| Figura 2.11: Esquema general de ensayos de corte. | 24 |
| Figura 2.12: Dispositivo de Corte utilizado en el Florida Department of Transportation (FDOT)25 | |
| Figura 2.13: Dispositivo, muestra y ensayo de torque. | 26 |
| Figura 2.14: Dispositivo UTEP cargado. | 26 |
| Figura 2.15: Dispositivo UTEP y llave de torque. | 27 |
| Figura 2.16: Dispositivo Atacker..... | 28 |
| Figura 2.17: Cámara infrarroja | 29 |
| Figura 2.18: Grúa utilizada para la auscultación de pavimentos mediante método infrarrojo. | 30 |
| Figura 2.19: Variación de la temperatura y diferencia de temperatura en la superficie..... | 31 |
| Figura 2.20: Transporte de aparato FWD..... | 32 |
| Figura 2.21: Instrumentación Martillo de impulso..... | 33 |
| Figura 2.22: Inspección por método de auscultación con martillo en aeropuerto de Nagoya, Japón..... | 34 |
| Figura 2.23: Esquema de martillo esclerométrico. | 35 |
| Figura 2.24: Operación del Martillo de Rebote..... | 36 |
| Figura 3.1: Vista en planta de la pista sobre base de HCR..... | 38 |
| Figura 3.2: Diseño pista sobre base granular..... | 38 |
| Figura 3.3 Estructuras de pavimento en estudio..... | 39 |
| Figura 3.4 Superficies de Base Granular y HCR aptas para recibir la primera capa asfáltica | 42 |
| Figura 3.5: a) Colocación de mezcla asfáltica en pista sobre base. b) compactación con rodillo liso | 42 |
| Figura 3.6: a) Colocación de mezcla asfáltica sobre HCR. B) Compactación con rodillo neumático. | 43 |
| Figura 3.7 Aplicación de riego de liga sobre pista HCR..... | 43 |
| Figura 3.8 Superficie de primera capa asfáltica sobre base granular y tramos con diferente tratamiento. Arriba riego contaminado (RC), riego limpio al centro (RL) y sin riego en la parte inferior (SR)..... | 44 |
| Figura 3.9: Superficie de primera capa asfáltica sobre HCR. Diferentes tratamientos en superficie: riego contaminado (RC), riego limpio (RL), sin riego (SR)..... | 45 |
| Figura 3.10: Ubicación de franjas de papel para materializar zonas sin adherencia. | 45 |
| Figura 3.11: Contaminación causada por camión al cargar mezcla en máquina terminadora. | 47 |
| Figura 3.12: Huellas de polvo dejadas por camión en pista sobre HCR | 47 |
| Figura 3.13: Malla de puntos para medición en pista sobre base granular..... | 51 |
| Figura 3.14: Malla de puntos para medición para un tramo en pista sobre HCR..... | 51 |
| Figura 3.15: Implementación de malla de puntos | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.16: Área de impacto luego de ensayo de índice de rebote | 52 |
| Figura 3.17: Esquema de ensayo de corte LCB..... | 53 |
| Figura 3.20: Dispositivo de corte LCB y testigo | 54 |
| Figura 4.1: Gráfico de variación del índice de rebote en pista sobre HCR..... | 57 |
| Figura 4.2: Gráfico variación de índice de rebote según temperatura en pista sobre base granular. | 59 |
| Figura 4.3: Índice de rebote según tipo de base para capa superior de 5 cm de espesor..... | 59 |
| Figura 4.4: Índice de rebote a temperaturas superiores a 30°C en pista sobre HCR, $e_1=8$ cm..... | 61 |
| Figura 4.5: Índice de rebote a temperaturas superiores a 30°C en pista sobre HCR, $e_1=5$ cm..... | 62 |
| Figura 4.6: Gráfico de resistencia al corte versus índice de rebote. | 63 |
| Figura 4.7: Testigo de zona sin riego y espesor de capa superficial 8 cm..... | 64 |
| Figura 4.8: Testigo de zona sin riego y 5 cm de espesor de capa superficial..... | 65 |
| Figura 4.9: Testigo de zona con riego limpio y 8 cm de espesor de capa superficial | 65 |
| Figura 3.10: Testigo de zona con riego contaminado y 5 cm de espesor de capa superficial | 66 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1: Tasas de aplicación de emulsiones recomendadas en Ohio, Estados Unidos. | 19 |
| Tabla 3.1 Banda granulométrica mezcla IV-A-12..... | 40 |
| Tabla 3.2 Tasas de Aplicación de riego de liga en ambas pistas..... | 44 |
| Tabla 3.3 Ubicación de franjas de papel..... | 46 |
| Tabla 3.4: Registro de densidades medidas en terreno..... | 48 |
| Tabla 3.5: Espesores y densidades medidos en testigos..... | 48 |
| Tabla 4.1: Índices de rebote en pista sobre HCR, e1=8 cm. | 55 |
| Tabla 4.2: Índice de rebote en pista sobre HCR, e1=5 cm. | 56 |
| Tabla 4.3: Índice de rebote promedio por áreas. Pista sobre HCR, e1=8 cm..... | 56 |
| Tabla 4.4: Índice de rebote promedio por áreas. Pista sobre HCR, e1=5 cm..... | 57 |
| Tabla 4.5: Índice de rebote en pista sobre Base granular, e1=5 cm. | 58 |
| Tabla 4.6: Índices de rebote medido a 28 °C en pista sobre base granular..... | 58 |
| Tabla 4.7: Índice de rebote a 18 y 28 °C en pista sobre base granular. | 59 |
| Tabla 4.8: Índices de rebote a diferentes temperaturas en pista sobre HCR, e1=8 cm | 60 |
| Tabla 4.9: Índices de rebote a diferentes temperaturas en pista sobre HCR, e1=5 cm | 61 |
| Tabla 4.10: Resistencias al corte en testigos. | 63 |
| Tabla 5.1: Constantes de rechazo de Chauvenet. | 70 |

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción general.

El diseño de pavimentos asfálticos que cumplan con un buen desempeño ante altos niveles de solicitaciones conduce a soluciones de gran espesor. Para asegurar una adecuada compactación, estas soluciones se construyen en dos o más capas. En estas estructuras los riegos de liga juegan un rol fundamental en el desempeño y durabilidad del pavimento.

Los riegos de liga consisten en la aplicación de una película de material asfáltico a la superficie de pavimento existente para asegurar la unión adecuada entre ésta y la nueva capa aplicada [1]. En pavimentos asfálticos entregan la unión necesaria a la interfaz entre dos capas para que actúen como una estructura monolítica ante las cargas de tráfico y las solicitaciones climáticas. La falta de unión en la interfaz entre capas asfálticas puede provocar deterioros que reducen la vida útil del pavimento.

Los riegos de liga son considerados como una etapa sencilla, pero fundamental en la construcción de pavimentos de varias capas. Sin embargo, no existe un documento único con especificaciones de construcción, control de calidad y criterios de aceptación.

En el mundo se han estudiado diferentes métodos destructivos y no destructivos para evaluar la unión entre las capas de pavimento asfáltico. La efectividad de los diferentes ensayos junto a la necesidad presente en cada lugar son los factores considerados para elegir una u otra metodología.

En este trabajo se evalúa la implementación de un método no destructivo de impacto para evaluar el grado de monolitismo en pavimentos asfálticos de dos capas.

1.2 Objetivos.

El objetivo general de este trabajo es validar un método de ensayo no destructivo para verificar el monolitismo en pavimentos asfálticos multicapas.

Los objetivos específicos son:

- Analizar la influencia del tipo de tratamiento en la superficie del plano de unión entre las capas de carpeta asfáltica en el grado de monolitismo alcanzado.
- Crear una metodología de medición para clasificar el grado de monolitismo en la estructura del pavimento de dos capas asfálticas.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES.

En este capítulo, se muestran los deterioros más frecuentes causados por la falta de monolitismo en la estructura de pavimento multicapas. También se exponen los factores que provocan una unión deficiente entre capas asfálticas y algunos de los métodos de evaluación del grado de unión entre las capas asfálticas.

2.1 Antecedentes generales.

En la construcción de pavimentos asfálticos y también en los trabajos de recarpeteo sobre pavimentos existentes, es importante aplicar el tratamiento conocido como riego de liga o de adherencia (tack coat), para lo cual existen distintos materiales y procedimientos de aplicación. La función de los riegos de liga es entregar una adherencia adecuada entre la nueva capa y las existentes, para que el conjunto de capas se comporte como una estructura monolítica, evitando deterioros prematuros.

Los riegos de liga corresponden a materiales asfálticos diluidos que son regados sobre la superficie de un pavimento existente antes de colocar una nueva capa de mezcla asfáltica. Los aspectos fundamentales en la aplicación de riegos de liga son la preparación y limpieza de la superficie, que la tasa de aplicación sea adecuada, que el vehículo regador se mueva a la velocidad apropiada y que las boquillas tengan una presión y altura adecuadas para cubrir la superficie de manera uniforme. La Figura 2.1 muestra la aplicación de un riego de liga.



Figura 2.1: Aplicación de riego de liga

La primera señal de que un pavimento está experimentando falla por falta de unión entre sus capas es la aparición de deterioros por deslizamiento (slippage) de la capa superficial, tales como agrietamiento característico de la capa superficial, y posteriormente un deterioro extenso en la estructura del pavimento [2]

Las fallas de deslizamiento (Figura 2.2) son generadas por las elevadas fuerzas horizontales y la adhesión insuficiente en la interfaz de las capas.



Figura 2.2: Falla de deslizamiento

Para prevenir estos deterioros, la condición inapropiada de la unión entre capas debe ser identificada inmediatamente después de la construcción. La capacidad de identificar estas

carencias de manera directa puede significar un importante ahorro en los costos de mantención futuros [3].

2.2 Descripción de conceptos mecanicistas asociados a la unión de las capas.

Un diseño adecuado es esencial para un buen desempeño a largo plazo de la estructura de pavimento. Factores como el nivel de tránsito, la calidad de unión de las capas y el espesor de la capa superficial afectan directamente el nivel de desempeño y vida útil del pavimento asfáltico multicapas [4]. El proceso de diseño incluye la selección de materiales, determinación de los espesores de capas dependiendo del volumen de tráfico, condiciones ambientales y diseño de drenaje. Estos componentes deben ser adecuadamente considerados en un diseño de pavimentos para asegurar la vida útil esperada con baja mantención [5].

La calidad de la unión entre capas ha sido un factor investigado por diferentes autores. Algunos estudios recientes han evaluado el efecto de la unión sobre el desempeño del pavimento usando modelos mecanicistas. En el 2004 King y May [6] presentaron un análisis del efecto de la adherencia entre capas asfálticas utilizando el programa BISAR. Analizaron una estructura de pavimento con dos capas asfálticas de 100 mm sobre una base granular de 150 mm y dos valores de rigidez de la subrasante. Se utilizaron dos niveles de carga 9 kip (40 kN) y 12 kip (53.4 kN). La interfaz entre las capas asfálticas fue modelada variando desde una adherencia perfecta (sin desplazamiento relativo entre capas), hasta la adherencia nula (desplazamiento relativo máximo entre capas). Todos los resultados mostraron un notorio incremento en las tensiones y deformaciones o disminución en la vida útil del pavimento. La Figura 2.3 muestra que la vida útil del pavimento bajo sollicitación por carga cíclica disminuye alrededor de un 50% cuando la unión se reduce en un 10% para cada condición de carga y rigidez de subrasante.

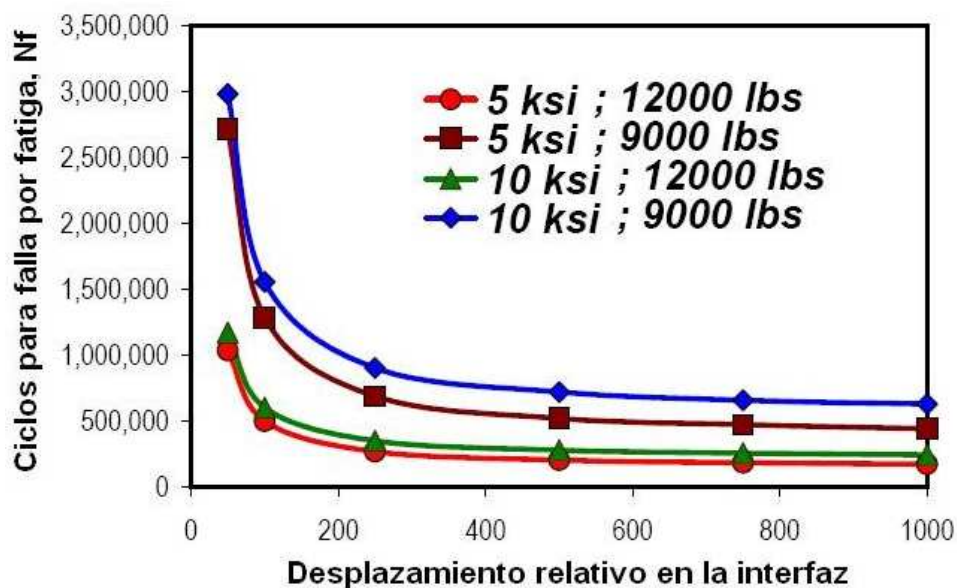


Figura 2.3: Efecto de la unión entre capas asfálticas sobre la fatiga.

Roffe y Chaignon [7] realizaron un estudio usando el programa de diseños de pavimentos francés ALIZE. Analizaron una estructura de pavimento que consistía en 6 cm de capa superficial, 13 cm de capa intermedia y 20 cm de base granular. Los análisis mostraron que la vida de servicio se reducía de 20 años a entre 7 y 8 debido a la falta de unión entre capas asfálticas.

En el diseño de pavimentos existen dos corrientes: los que se basan en métodos empíricos y los mecanicistas. En los primeros, la relación entre las variables de diseño (espesor de capas, propiedades de los materiales, tráfico y condiciones ambientales) con el desempeño del pavimento es determinada por la experiencia acumulada o por experimentación. Los métodos mecanicistas, por su parte determinan las deformaciones, tensiones y deflexiones a partir de las propiedades de los materiales y las leyes de la física. Los métodos más avanzados unen ambos criterios. [8]

Los diseños mecanicistas se basan en el análisis de medios elásticos multicapas. En que las interfaces entre capas se consideran rugosas y perfectamente adheridas. Sin embargo, esto no ocurre en la práctica. El estado de adhesión entre las capas afecta el desempeño del pavimento flexible debido a su influencia en la distribución de tensiones generadas por las cargas de tráfico y térmicas.

Las fallas por deslizamiento ocurren preferentemente en zonas en que el tráfico acelera, desacelera o en zonas de intersecciones y curvas, están generalmente asociadas a deficiencias constructivas. En estas zonas, el nivel de tensiones crítico se localiza en la interfaz de las capas superiores. Como se muestra en la figura 2.4.

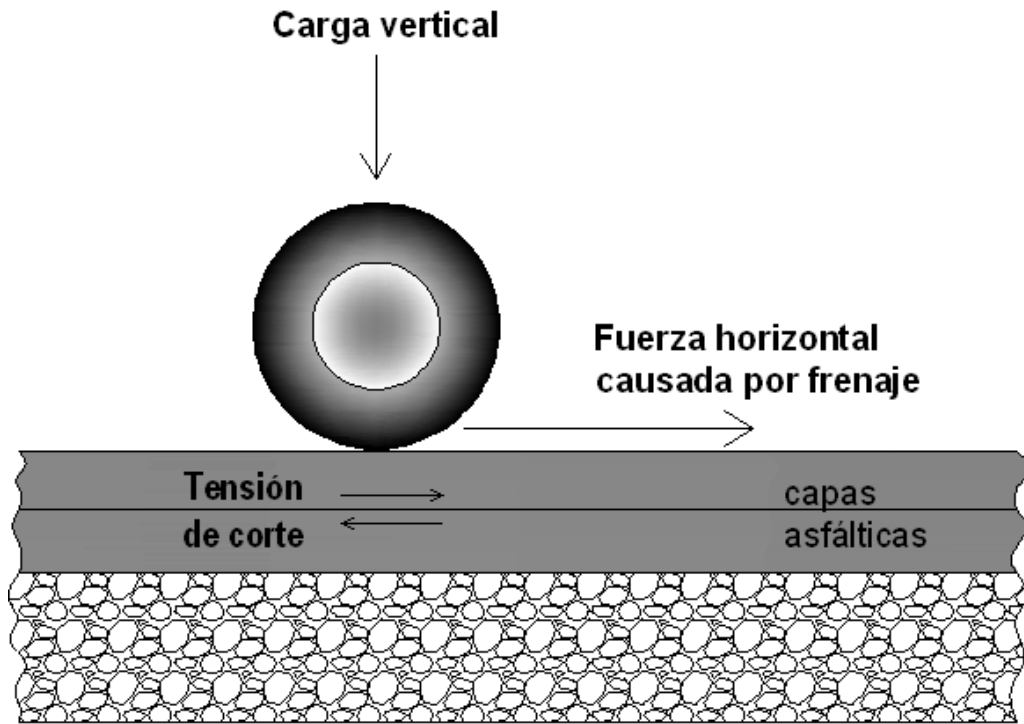


Figura 2.4: Esquema de esfuerzo horizontal sobre superficie del pavimento.

De este modo el conocimiento de la condición de adherencia en la interfaz entre las capas asfálticas es muy importante. La propagación de la falla de deslizamiento es un proceso que requiere menor energía que la inicial y se manifiesta como agrietamiento en forma de medialuna de la capa superficial (Figura 2.2).

El análisis de tensiones muestra claramente el efecto del no cumplimiento de la hipótesis de unión perfecta entre capas. En el caso de dos capas totalmente unidas, el esfuerzo de tracción máximo se ubica en la parte inferior de la capa subyacente, como se muestra en la Figura 2.5 (a). Sin embargo, cuando las tensiones sobrepasan el nivel de resistencia al corte de la unión entre capas, la falla de esa unión origina una redistribución de las tensiones como se muestra en la Figura 2.5 (b), donde se observa que el sistema de pavimento empieza a actuar como dos sistemas separados [3].

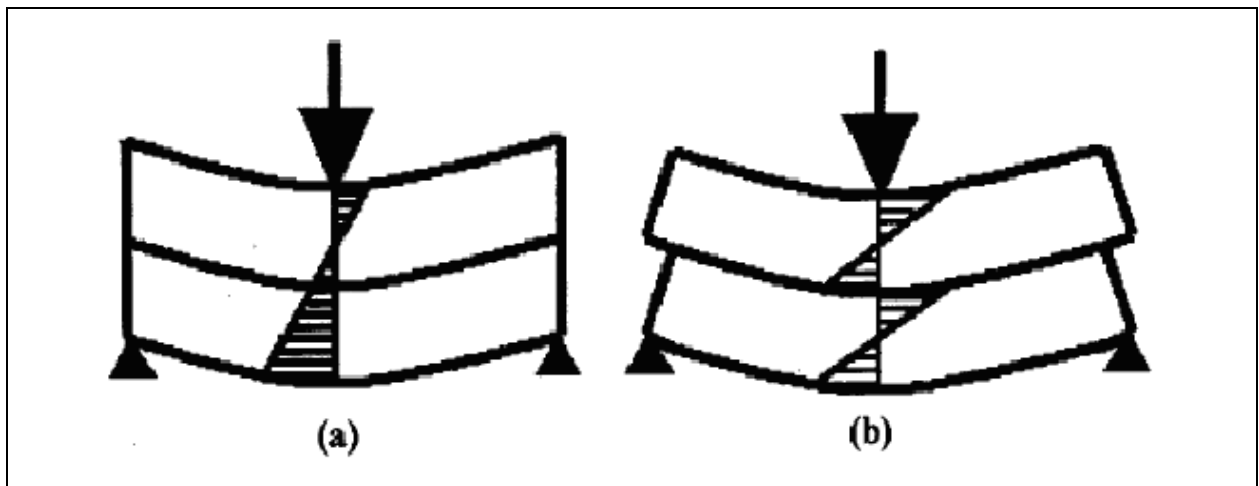


Figura 2.5: (a) Pavimento monolítico. (b) Capas despegadas

Si la unión se rompe completamente, la estructura de pavimento deja de ser un sistema completo y comienza a actuar como dos sistemas. La capa superior despegada deberá ser capaz de tomar todas las cargas por sí sola o de otro modo ocurrirán fallas. Esto indica que la capa superior debe ser suficientemente rígida o gruesa o debe proveerse la adecuada adherencia con la capa inmediatamente en contacto [2].

2.3 Factores que intervienen en la falta de unión entre capas asfálticas.

En general se acepta que el desempeño de la unión entre capas asfálticas depende de factores tales como el tipo de riego de liga, la tasa de aplicación, el tiempo de curado y las condiciones de textura y limpieza de la superficie. A continuación se presenta un resumen de la revisión bibliográfica sobre la influencia de estos factores en la resistencia al corte de la unión entre capas asfálticas.

2.3.1 Calidad del riego de liga.

Distintos materiales asfálticos, generalmente diluidos o emulsionados, son empleados como riegos de liga. En la actualidad se utilizan principalmente emulsiones asfálticas de quiebre lento.

Las emulsiones asfálticas son reconocidas como el material más usado para riego de liga [2]. Éstas se clasifican de acuerdo a su velocidad de quiebre, que es controlada por el tipo y cantidad del agente emulsionante utilizado en su fabricación y por la carga de las partículas. Así, las

emulsiones pueden ser aniónicas o catiónicas y en cada una de estas se incluyen las de quiebre lento, rápido y medio.

De los materiales mencionados, las emulsiones de curado lento son las más usadas, porque fluye fácilmente a temperaturas ambiente lográndose una aplicación más uniforme [1]. Se recomienda no usarlas en clima frío o a temperaturas bajas. La velocidad de quiebre depende del tipo de emulsión, la cantidad de agua agregada, el tipo y concentración del agente emulsionante, y de las condiciones atmosféricas durante la aplicación.

Las emulsiones catiónicas son usadas en pavimentos para clima húmedo, por ejemplo en zonas costeras, ya que son menos susceptibles a la humedad y los cambios de temperatura. Las emulsiones de curado rápido son usadas en colocaciones nocturnas o en clima frío porque su tiempo de quiebre es menor que el de las emulsiones de curado lento [9].

Los asfaltos cortados son usados como riego de liga y pueden aplicarse en climas más fríos que las emulsiones. Sin embargo, por motivos ambientales se limita su uso en algunos lugares.

2.3.2 Tasa de aplicación del riego de liga.

La tasa de aplicación del riego de liga debe ser ajustada dentro de límites acotados. Una excesiva cantidad de riego de liga puede causar deslizamiento, mientras que una aplicación insuficiente puede ocasionar delaminación. Por lo tanto es importante estimar la cantidad de residuo asfáltico que producirá el resultado óptimo. La tasa de aplicación del riego de liga puede variar con la condición de la superficie (textura o rugosidad) tratada.

En general una superficie compacta o densa, requiere una menor aplicación que una textura abierta, una superficie que presenta exudación generalmente requerirá de menor tasa de aplicación que las no exudadas. Generalmente las emulsiones de curado lento, requieren mayores tasas de aplicación que las de curado rápido y estas últimas necesitan una tasa de aplicación mayor que los asfaltos cortados. Además, las mezclas densas, de graduación cerrada, requieren tasas de aplicación menores que las mezclas de graduación abierta [9]. En la siguiente tabla se muestran las tasas de aplicación recomendadas en Ohio para riegos de liga de tipo Emulsión. [10]

Tabla 2.1: Tasas de aplicación de emulsiones recomendadas en Ohio, Estados Unidos.

| Condición del pavimento existente | Tasa de Aplicación [l/m²] | | |
|--|---|-------------------|-----------------------------|
| | Residuo | Sin diluir | Diluido 1:1 con agua |
| Capa asfáltica Nueva | 0.14 - 0.18 | 0.23 - 0.32 | 0.45 - 0.59 |
| Capa asfáltica Oxidada | 0.18 - 0.27 | 0.32 - 0.45 | 0.59 - 0.91 |
| Capa asfáltica fresada | 0.27 - 0.36 | 0.45 - 0.59 | 0.91 - 1.22 |
| Hormigón fresado | 0.27 - 0.36 | 0.45 - 0.59 | 0.91 - 1.22 |
| Hormigón | 0.18 - 0.27 | 0.32 - 0.45 | 0.59 - 0.91 |

La aplicación correcta del riego de liga debe asegurar el cubrimiento uniforme de toda la superficie, para ello se requiere que el vehículo regador posea una barra distribuidora en buen estado y a una altura que permita una dotación que produzca una película asfáltica uniforme. La Figuras 2.6 y 2.7 muestran ejemplos de riegos adecuados y deficientes respectivamente.



Figura 2.6: Riego de liga con cubrimiento total de la superficie tratada.



Figura 2.7: Aplicación no uniforme de riego de liga.

2.3.3 Tiempo de curado o quiebre.

No existe acuerdo entre distintos investigadores acerca de la influencia del tiempo de espera para la formación de la película asfáltica en su efectividad como tratamiento promotor de adherencia. Sholar et al [11] evaluaron la importancia de los tiempos de curado, concluyendo que la resistencia al corte aumentaba levemente con el tiempo de curado. En general se recomienda que el riego de liga quiebre antes de colocar la nueva capa de pavimento. Por otro lado, se ha observado que la colocación de una capa de mezcla asfáltica sobre una emulsión que aún no ha quebrado no tendría efectos negativos en el nivel de desempeño del pavimento. [12].

2.3.4 Condición de la superficie.

Las condiciones de la superficie del pavimento existente o de la capa inferior a recubrir, tales como textura, limpieza y humedad, son factores muy importantes que influyen en la resistencia de la unión de la interfaz. En las guías de diseño existe un completo acuerdo acerca de las condiciones del pavimento existente. Se recomienda en general, que el riego de liga sea aplicado sobre superficies limpias y secas. Hachiya y Sato en su estudio [13], ensayaron distintas emulsiones para determinar la que resultaba menos afectada por la contaminación.

En algunos proyectos se recomienda dar una mayor rugosidad a la superficie que recibirá la capa asfáltica para obtener superficies con mayor adherencia. La solución, en algunos casos es el fresado del pavimento existente.

2.4 Análisis de casos de falla de deslizamiento.

2.4.1 Falla en aeropuerto Nagoya de Japón.

En junio del 2000, se produjo la falla de deslizamiento en uno de los extremos de la pista del aeropuerto de Nagoya en Japón debido a la pérdida de adherencia entre las capas asfálticas que integran la carpeta. La falla afectó a un área de aproximadamente cuatro metros de ancho por ocho de largo (Figura 2.8) [14]. La pista había sido construida en 1999 y debió cerrarse por un tiempo. De acuerdo a la investigación realizada, este deslizamiento ocurrió debido a que la capa superior no estaba apropiadamente adherida para soportar la carga horizontal por la desaceleración y frenaje de los aviones al extremo de la pista.



Figura 2.8: Falla de deslizamiento en Aeropuerto de Nagoya, Japón.

En una investigación previa de superficies de aeropuertos en Japón, Hachiya y Sato estudiaron el efecto del riego de liga y limpieza de superficie sobre la unión de las capas asfálticas. Los primeros sectores de la pista de aeropuerto que presentaron problemas fueron las áreas donde el avión frena o dobla a altas velocidades. Ellos modelaron las condiciones de carga de un Boeing 747. La conclusión de este análisis fue que la capa superficial de la pista fallaría cuando se

separara de la subyacente debido a la gran fuerza horizontal entregada por el avión. Propusieron dos opciones para cubrir este problema: incrementar el espesor de la capa superficial o aumentar la resistencia de la unión entre capas [13]. La Figura 2.9 muestra el esquema de ubicación de la falla en el Aeropuerto de Nagoya.

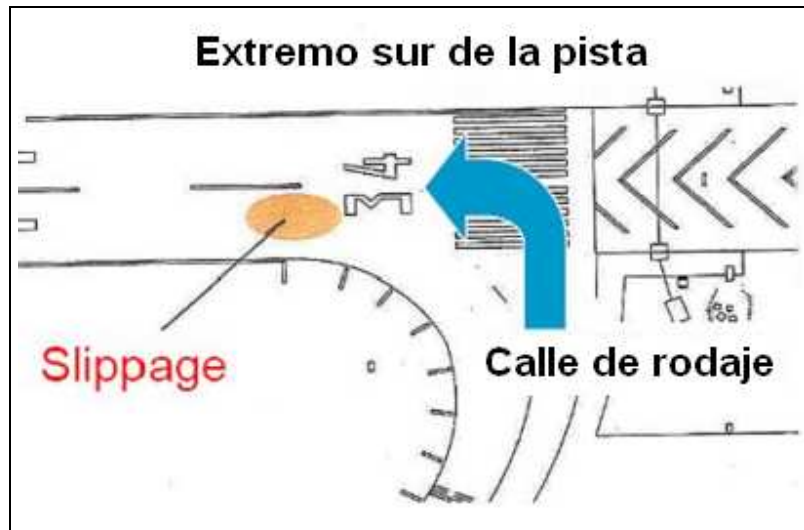


Figura 2.9: Ubicación de zona de falla en aeropuerto de Nagoya

Luego de este incidente, los pavimentos flexibles en los aeropuertos japoneses se han inspeccionado mediante impacto acústico y con método infrarrojo.

2.4.2 Deslizamiento en Aeropuerto Internacional de Newark.

En los Estados Unidos, la Federal Aviation Administration (FAA) ha tenido problemas de deslizamientos en varios aeropuertos. El alto nivel de solicitaciones y las elevadas temperaturas en la temporada de verano han provocado que aeropuertos como el Newark International Airport presenten notorios deslizamientos (Figura 2.10). En este caso se ha realizado un extenso seguimiento para poder desarrollar un plan de mantención óptimo. [15]



Figura 2.10: Aeropuerto de Newark, New Jersey.

2.4.3 Falla de pista en Aeropuerto Arturo Merino Benítez

En Chile, a fines del 2006, se produjo la falla de la segunda pista del Aeropuerto Internacional de Santiago. La prematura deslaminación que presentó la capa superficial de las nuevas calles de rodaje y pista del Aeropuerto Internacional de Santiago, dio origen a una investigación para determinar la extensión y distribución de las zonas afectadas.

2.4.4 Casos de deslizamientos en carreteras.

En los Estados Unidos se han observado fallas por deslizamiento en carreteras de distintos estados tales como Florida, Louisiana, Minnesota, New Jersey y Wisconsin. Estos deslizamientos pueden producir fallas secundarias como agrietamientos, resultando una falla extensiva en la estructura del pavimento [3]. Para prevenir estas fallas, se ha convenido que las faltas de adherencia entre capas deben ser detectadas inmediatamente después de la construcción.

2.5 Ensayos para evaluar la resistencia de la unión en la interfaz entre capas asfálticas.

No existe método unificado para evaluar la resistencia de unión entre capas. Se han desarrollado y propuesto diversos ensayos capaces de evaluar la resistencia de la unión entre las capas. A continuación se describen los que cuentan con mayor aceptación.

2.5.1 Métodos destructivos

Ensayos de corte.

La mayoría de los métodos de evaluación de la resistencia al corte de la unión entre capas de pavimentos asfálticos de dos o más capas consisten en aplicar un esfuerzo de corte en la interfaz de testigos extraídos del pavimento o de probetas confeccionadas durante la construcción. Estos métodos de evaluación entregan resultados cuantitativos de la resistencia al corte en el plano de unión y han sido incorporados como procedimientos normales para calificar la idoneidad técnica de los materiales y de la ejecución.

El propósito de los ensayos de corte es poder calibrar los modelos que describen el comportamiento de capas descrito en la Figura 2.4. En la Figura 2.11 se muestra un esquema con los elementos que intervienen en un ensayo de corte para evaluar la resistencia de la unión entre capas asfálticas.

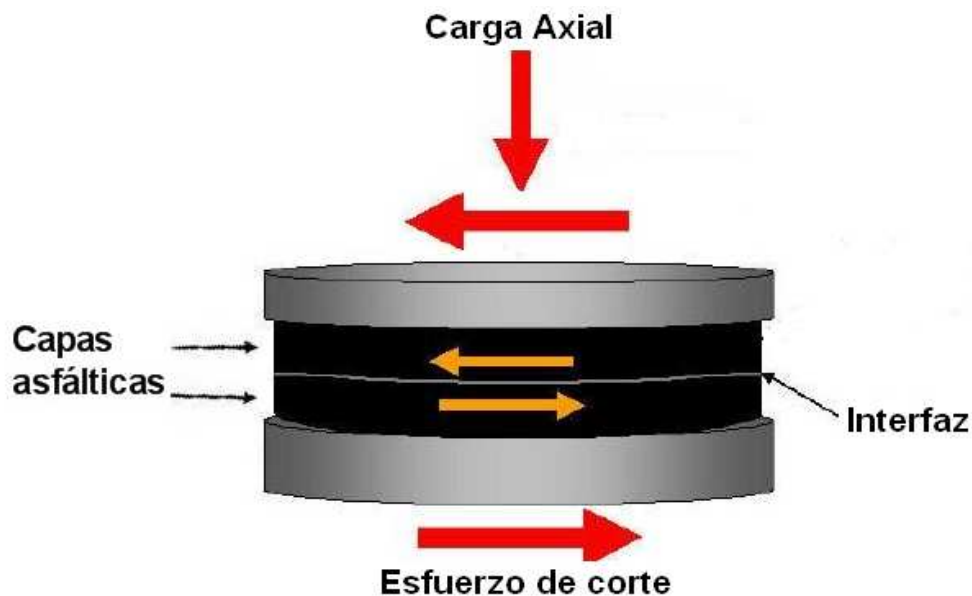


Figura 2.11: Esquema general de ensayos de corte.

En la Figura 2.12 se muestra el equipo para ensayo de corte directo sin carga axial desarrollado por el Florida Department of Transportation. Existen otros ensayos de corte desarrollados por distintos centros de investigación, tales como la National Center of Asphalt Technology en los Estados Unidos, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research en Suiza y la UK Highways Agency en Reino Unido [9].



Figura 2.12: Dispositivo de Corte utilizado en el Florida Department of Transportation (FDOT)

Este y otros ensayos de corte tienen las siguientes características en común.

- La velocidad de deformación es controlada durante el ensayo.
- El ensayo se realiza a diferentes temperaturas.
- El diámetro de las probetas normalmente es de 6 pulgadas.
- Se debe registrar la carga a lo largo del periodo de ensayo hasta la falla.

Ensayo de torque.

Este ensayo fue desarrollado en Suiza para obtener en terreno las condiciones de la unión y ha sido adoptado en Gran Bretaña como parte del sistema de aprobación de la efectividad de la unión para pavimentos con carpetas delgadas [9].

En esta prueba una placa es unida a la superficie del testigo, después se fija una llave de torque a la placa y se aplica un torque manualmente hasta que ocurre la falla (Figura 2.13).

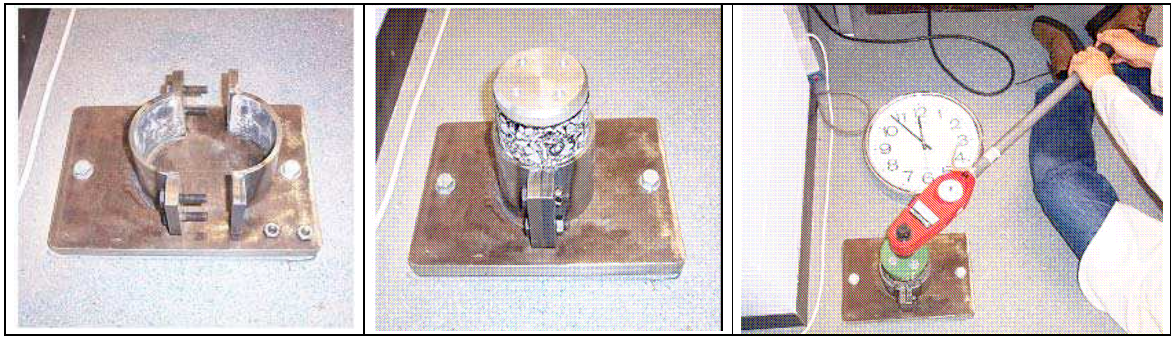


Figura 2.13: Dispositivo, muestra y ensayo de torque.

Ensayo de arranque (UTEP)

Este ensayo fue desarrollado en la Universidad de Texas en El Paso (UTEP). Mide la adherencia que provee el riego de liga al momento de ser cubierto con la capa asfáltica. El procedimiento de ensayo consiste en fijar el dispositivo de ensayo (disco metálico) sobre la superficie del pavimento previamente cubierta con el riego de liga (Figura 2.14) colocar una carga sobre el dispositivo, esperar 10 minutos, retirar la carga y registrar el torque máximo necesario para arrancar la placa de contacto (Figura 2.15) [16].



Figura 2.14: Dispositivo UTEP cargado.



Figura 2.15: Dispositivo UTEP y llave de torque.

Ensayo de capacidad adherente del riego de liga (ATACKER)

Otro método que se ha sido utilizado últimamente en laboratorio para medir la capacidad adherente de riegos de liga es el dispositivo denominado ATACKER (Figura 2.16). En este ensayo el material de liga es aplicado a placas metálicas, una probeta de concreto asfáltico o a la superficie de pavimento para luego fijar un disco a la superficie tratada. La capacidad adherente del riego de liga puede ser determinada como la resistencia al arrancamiento por tracción o torsión del disco adherido a la superficie ensayada.



Figura 2.16: Dispositivo Atacker

2.5.2 Métodos no destructivos para la auscultación del monolitismo de la carpeta en pavimentos asfálticos de dos capas.

Se han propuesto y utilizado distintos métodos de ensayos no destructivos para estimar la condición real de monolitismo o deslaminación del pavimento. A continuación se exponen algunos métodos que se han utilizado en este tipo de evaluaciones.

Método de termografía infrarrojo [14]

Este método se basa en la detección de diferencias de temperatura superficial del pavimento entre las zonas donde existe monolitismo de las capas y las que presentan deslaminación. Cuando las capas de asfalto no están unidas el aire en la interfaz entre capas actúa como aislante y bloquea la transferencia de calor hacia o desde la capa inferior. El asfalto es un material que captura el calor de la radiación solar y lo libera posteriormente en forma más o menos rápida dependiendo de la inercia térmica del pavimento. Durante el día, las superficies en áreas deslaminadas se calientan

más rápido que aquellas donde existe monolitismo. Por la noche son las superficies deslaminadas las que se enfrían más rápido.

El método consiste en la utilización de una cámara fotográfica infrarroja (Figura 2.17), con la cual se toman imágenes del pavimento. Las dimensiones de las imágenes deben ser corregidas según el ángulo de inclinación entre la cámara y la superficie. Sin embargo, este método es afectado por las condiciones climáticas y presencia de humedad en la superficie por lo que no siempre resulta efectivo para la determinación de la ubicación de áreas deslaminadas.



Figura 2.17: Cámara infrarroja

Para un mayor rendimiento es necesario tomar imágenes desde algún punto alto con equipos móviles especiales. En la Figura 2.18 se muestra el uso de una grúa para tomar imágenes a 10 metros de altura durante la inspección del aeropuerto de Nagoya en Japón [14].



Figura 2.18: Grúa utilizada para la auscultación de pavimentos mediante método infrarrojo.

En este caso las diferencias de temperaturas fueron relativamente muy pequeñas, pero permiten la detección de las zonas deslaminadas (Figura 2.19).

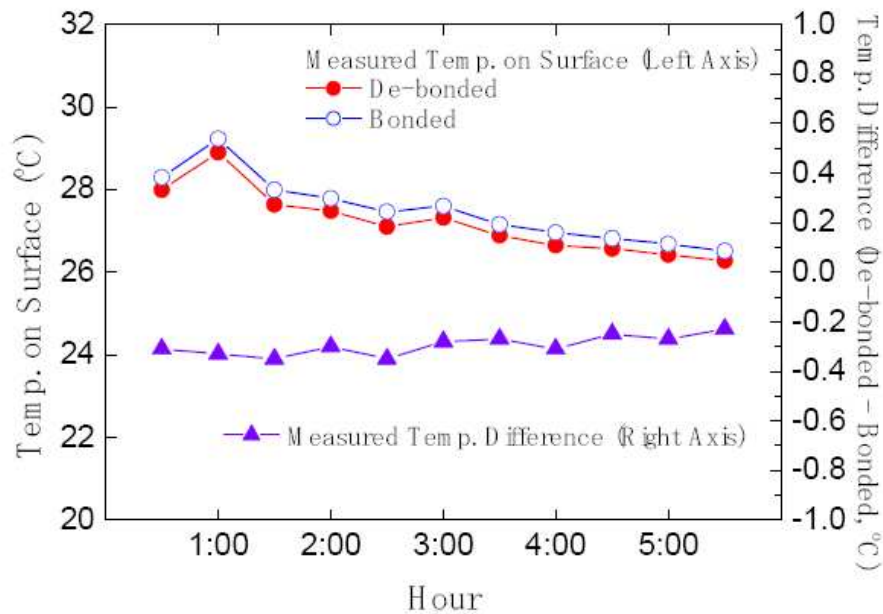


Figura 2.19: Variación de la temperatura y diferencia de temperatura en la superficie

Deflectometría de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD)

Este método es utilizado en la evaluación de las condiciones estructurales del pavimento tanto en proyectos de rehabilitación como para investigación y detección de fallas.

El equipo permite la aplicación de cargas dinámicas sobre la superficie del pavimento con una magnitud y duración similar a la de una rueda de vehículo pesado en movimiento. La fuerza asociada al impacto de la masa es resistida por la estructura del pavimento y la respuesta en deformación (deflexión) es medida por una serie de sensores ubicados a distancias específicas del punto de impacto. En el equipo se registra además la temperatura ambiente y de la superficie del pavimento. En la Figura 2.20 se muestra el equipo montado a un carro de transporte.

Este ensayo ha sido utilizado con éxito para la determinación de parámetros estructurales de los pavimentos tales como la rigidez y espesores de capas. Para obtener estos parámetros, se recurre generalmente a un programa computacional para realizar un análisis inverso (back análisis) que a partir de la respuesta y algunas propiedades de la estructura de capas deduce las propiedades mecánicas de las capas. El mayor uso del FWD es la determinación del módulo de rigidez. Las

variaciones en este módulo indicarían las zonas afectadas con problemas de deslaminación entre capas [3].



Figura 2.20: Transporte de aparato FWD

El FWD es ampliamente usado en la inspección de pavimentos de aeropuertos en los Estados Unidos y ha sido adoptado en los planes de mantención de aeropuertos. Últimamente, se han incorporado equipos de alta carga (Heavy Weight Deflectometer, HWD) mediante los cuales se simula el paso de la rueda de un avión Boeing 747, funciona de manera similar al FWD, pero representa mejor las cargas de trenes de aterrizaje y es más adecuado en la auscultación de pavimentos en capas de gran espesor.

Martillo de impulso

Este método se basa en el principio básico de aplicar una carga de impulso en la superficie del pavimento con un martillo y medir la respuesta dinámica vertical usando un acelerómetro. Se basa en la hipótesis de que la pérdida de adhesión entre las capas se ve reflejada en la respuesta dinámica de la capa superficial del pavimento [17].

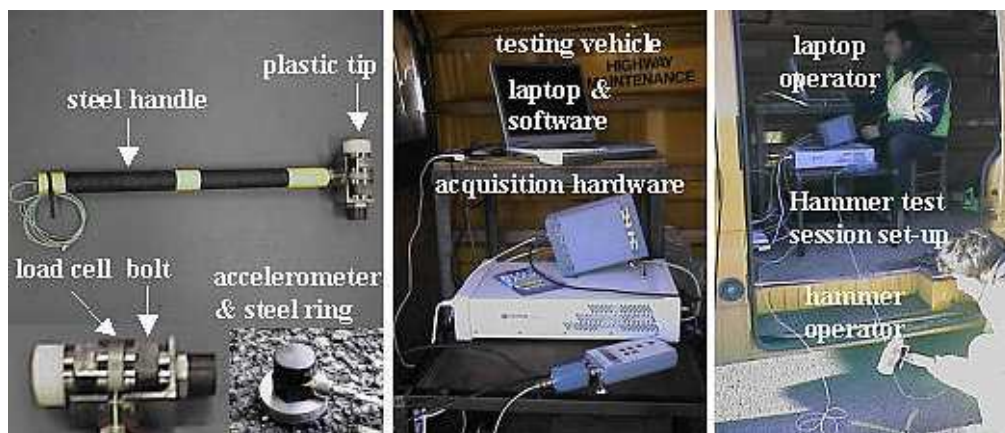


Figura 2.21: Instrumentación Martillo de impulso

Este ensayo debe realizarse bajo condiciones controladas de temperatura ambiente y temperatura en la superficie del pavimento.

En el año 2004 en Nottingham, se evaluó este método en tramos de prueba con diferentes condiciones en la unión de capas empleando cargas de entre 15 y 18 kN. Las diferencias en la aceleración entre las áreas deslaminadas y monolíticas resultaron cuantitativamente discriminables. Los espesores de capa superficial evaluados eran de 20 y 30 mm y los resultados de estos ensayos fueron correlacionados con ensayos de corte [17].

Método de auscultación por martillo

Este método consiste en golpear la superficie del pavimento con un martillo y dependiendo del tono del sonido se estima el estado de la unión entre las capas del pavimento.

Las capas deslaminadas responden con un sonido más seco ante el impacto del martillo. Si bien esto es muy sencillo, se necesita de muchos inspectores y varios días para poder cubrir grandes áreas como un aeropuerto, además la efectividad del método depende de la experiencia y criterio de quienes realizan la inspección. En la Figura 2.22 se muestra la aplicación de este método.



Figura 2.22: Inspección por método de auscultación con martillo en aeropuerto de Nagoya, Japón.

Martillo esclerométrico o de rebote.

Este método está basado en la energía restituida por la estructura del pavimento al ser impactada en su superficie. Este instrumento mide un índice de rebote de la masa que golpea un vástago de acero en contacto con el pavimento y es utilizado normalmente en la determinación de uniformidad y estimación de calidad de materiales. Existen varios tipos de martillo esclerométrico, con diferente energía de impacto. Se deben realizar calibraciones frecuentemente para asegurar la exactitud de este instrumento. La calibración consiste en medir el índice de rebote en un elemento patrón (yunque), la repetitividad del índice de rebote en ese patrón es la condición necesaria para hacer uso correcto de este instrumento.

El martillo esclerométrico es de fácil operación. Se impacta la superficie en análisis siempre con la misma energía. El registro de la distancia del rebote después del impacto se obtiene en una escala calibrada del instrumento. En la Figura 2.23 se muestra un esquema con los componentes principales de un martillo esclerométrico.

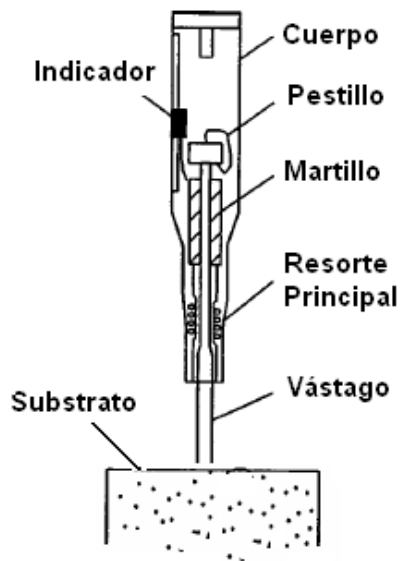


Figura 2.23: Esquema de martillo esclerométrico.

El procedimiento de uso del martillo se describe a continuación:

- El cuerpo del martillo es empujado verticalmente contra la superficie del sustrato a ensayar. Este desplazamiento se realiza deformando el resorte conectado a la masa.
- Cuando se alcanza la máxima elongación del resorte, el pestillo se libera y la masa es impulsada para impactar contra el vástago de acero que se apoya contra la superficie del sustrato.
- La masa golpea contra el vástago y rebota.
- Durante el rebote el indicador es arrastrado por la masa quedando así registrado el desplazamiento máximo.
- Al regresar el vástago a su posición original el indicador vuelve a cero.

En las siguientes imágenes se muestra el procedimiento anterior utilizando un martillo Proceq tipo M. En esta secuencia es posible notar la menor división de la escala de índice de rebote.

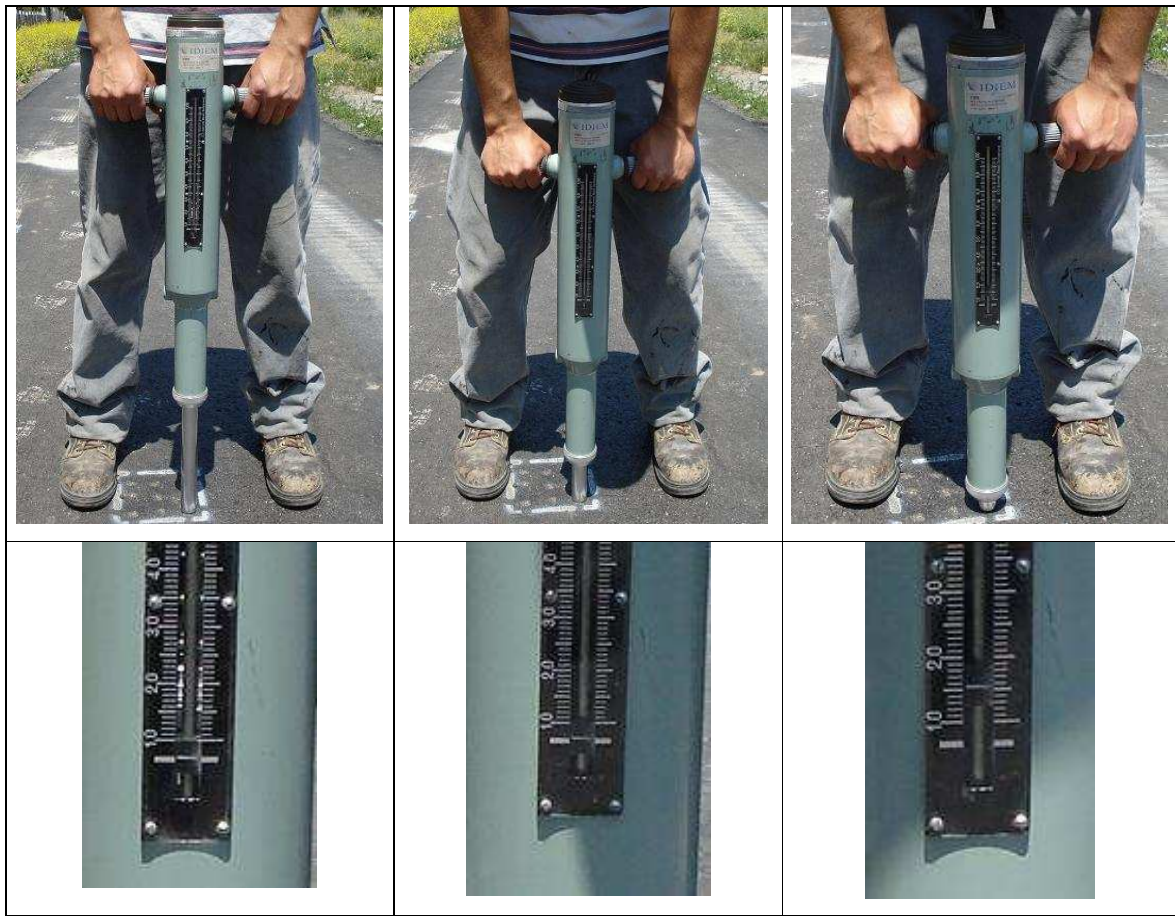


Figura 2.24: Operación del Martillo de Rebote

En este trabajo se estudia la validez del uso de un martillo esclerométrico de alta energía de impacto en la determinación del grado de monolitismo de pavimentos asfálticos de dos capas. Se utiliza un martillo Proceq tipo M, cuya energía nominal es de 30 Nm y el diámetro del vástago es de dos pulgadas.

Para realizar correctamente las mediciones se requiere de dos personas, una encargada de impactar la superficie, la otra debe realizar los registros. Se deben evitar errores de paralaje en las lecturas del indicador.

Esta metodología fue empleada en la pista 2 del Aeropuerto Internacional de Santiago para detectar zonas con falta de unión entre capas asfálticas, falla descrita en la investigación realizada por F. Delfín y C. Díaz [18].

CAPÍTULO 3: ETAPA EXPERIMENTAL

La etapa experimental de este estudio se puede separar en las siguientes tres fases. La primera corresponde a la construcción de Pistas de Prueba bajo condiciones controladas donde se materialicen las diferentes condiciones de adherencia entre las dos capas contempladas. En la segunda etapa se hace una puesta a punto del método y calibración del equipo. Finalmente se realizan las mediciones con el martillo de rebote y se toman muestras (testigos) para ensayos de corte.

3.1 Construcción de Pistas de Prueba

Las variables que se investigan en este estudio son las siguientes:

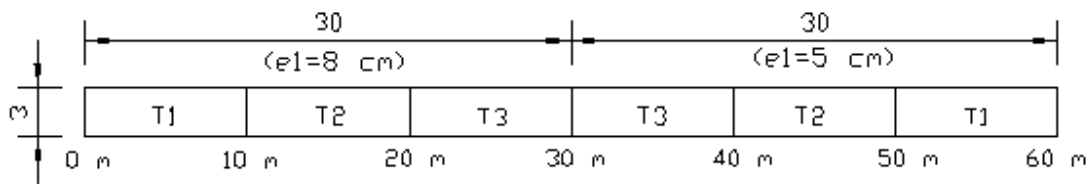
- Tratamiento en la interfaz entre capas:
 - riego de liga limpio
 - riego de liga contaminado
 - sin riego de liga.
- Tipo de base: hormigón compactado con rodillo (HCR) y base granular.
- Espesor de capa asfáltica superficial: 8 cm y 5 cm sobre una primera capa asfáltica de 7 cm.

Estas pistas fueron construidas por la empresa Áridos Quilín en los terrenos del Laboratorio de IDIEM en Cerrillos.

3.1.1 Pistas de Prueba.

Las características de la pista sobre hormigón HCR son 60 metros de largo y 3 metros de ancho. En sus primeros 30 metros el espesor de capa superior es de 8 cm, mientras que en el tramo restante éste es de 5 cm. La Figura 3.1 muestra una vista en planta de la pista sobre base de HCR, con los distintos tramos del estudio.

Vista en Planta Pista sobre HCR.



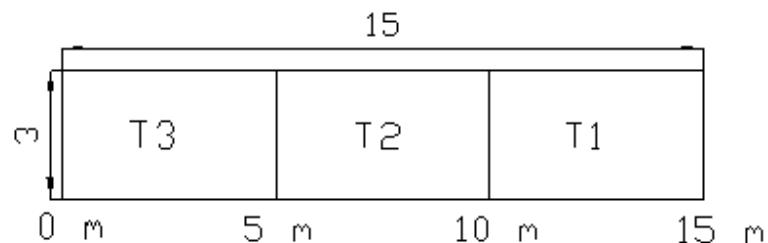
| Simbología | |
|------------|----------------------|
| T1 | Sin Riego de Liga |
| T2 | Riego de Liga Limpio |
| T3 | Riego Contaminado |

Figura 3.1: Vista en planta de la pista sobre base de HCR

La pista sobre base granular, es de 15 metros de largo por 3 de ancho y su capa asfáltica superficial tiene un espesor de 5 cm sobre una primera capa asfáltica de 7 cm de espesor. Los paños de prueba comprenden los mismos tipos de tratamiento entre capas que en la pista sobre HCR. En la Figura 3.2 se muestra una vista en planta de la pista sobre base granular.

Figura 3.2: Diseño pista sobre base granular

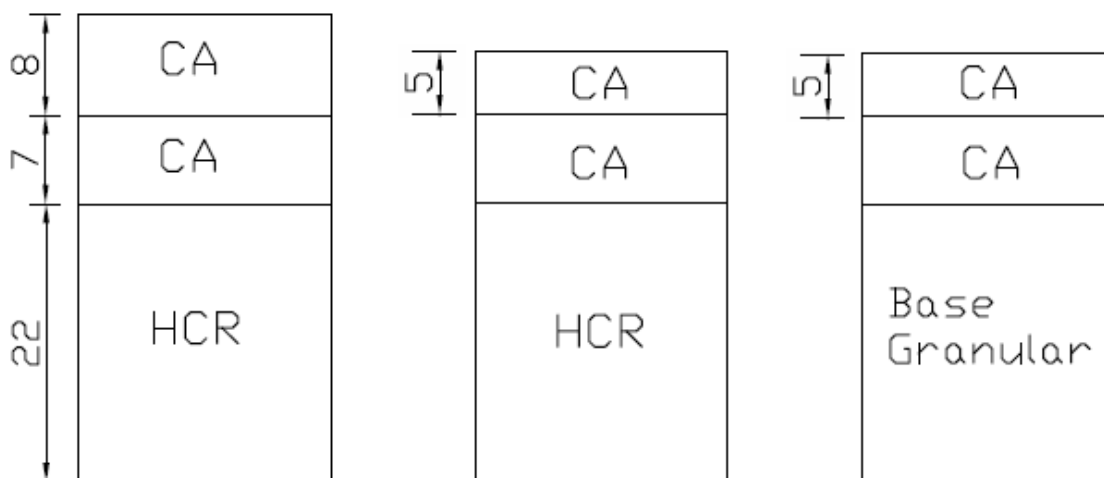
Vista en planta pista
sobre base granular



Nota: Dimensiones en metros

Las estructuras de pavimento a evaluar con martillo de rebote se detallan en la Figura 3.3.

Figura 3.3 Estructuras de pavimento en estudio.



Nota: Dimensiones en centímetros

La construcción de las pistas se ciñó a los procedimientos normales de trabajo, siguiendo las recomendaciones y las prácticas de construcción para pavimentos asfálticos.

3.1.2 Planificación de la construcción.

La construcción de las pistas de prueba contempló las siguientes faenas:

- Riego de liga sobre HCR.
- Riego de imprimación sobre base granular.
- Colocación de primera capa asfáltica de 7cm sobre ambas bases.
- Riego de liga, una semana después de colocación de la primera capa.
- Contaminación del riego, en los paños correspondientes, al día siguiente de la aplicación una vez producido el quiebre de la emulsión.
- Colocación de segunda capa asfáltica, en los espesores contemplados.

3.1.3 Selección de Materiales.

Dadas las condiciones de interfaz entre capas asfálticas que se quiere controlar, se tomaron especiales precauciones en la determinación del tipo de mezcla asfáltica y tipo de riego de liga que se utilizan en la construcción de estas pistas.

La mezcla asfáltica debe cumplir las siguientes características:

- Ser mezclas para carpetas de producción en línea.
- Cumplir especificaciones técnicas para un pavimento de tránsito pesado.

Según este criterio, se elige utilizar en ambas capas una mezcla asfáltica tipo IV-A-12 con asfalto de tipo CA 24 indicada en el Manual de Carreteras del MOP [19]. Este tipo de mezcla es utilizada frecuentemente en pavimentos con nivel de tránsito pesado y en la actualidad es empleada en la construcción de pavimentos urbanos para el transporte público (Transantiago). En la Tabla 3.1 se muestra la banda granulométrica IV-A-12. El diseño de esta mezcla considera un 5.5% de contenido de asfalto. En el Anexo C se muestra el contenido de asfalto y granulometría medida de muestreos de mezcla realizados en la obra de Cerrillos.

Tabla 3.1 Banda granulométrica mezcla IV-A-12

| Banda IV-a-12 | | | |
|----------------------|--------|----------------------------------|-----|
| mm | ASTM | Porcentaje que pasa (en peso) | |
| | | Min | Max |
| 19 | 3/4" | 100 | 100 |
| 12.5 | 1/2" | 80 | 95 |
| 9.5 | 3/8" | 70 | 85 |
| 4.75 | Nº 4 | 43 | 58 |
| 2.36 | Nº 8 | 28 | 42 |
| 1.25 | Nº 16 | 13 | 42 |
| 0.63 | Nº 30 | 13 | 24 |
| 0.315 | Nº 50 | 8 | 17 |
| 0.16 | Nº 100 | 6 | 12 |
| 0.075 | Nº 200 | 4 | 8 |

El criterio para la elección del tipo de riego de liga consideró lo siguiente.

- Corresponder a los materiales actualmente de mayor uso en pavimentación en la región metropolitana.
- Ser compatible con el tipo de mezcla utilizada.

El riego de liga utilizado entre capas corresponde a una emulsión catiónica de quiebre lento y residuo duro (CSS-1h) diluida con agua a razón 1:1. Este tipo emulsión se emplea frecuentemente en riegos de liga y para este tipo de mezcla otorga una resistencia al corte entre capas superior a otras emulsiones [20]. La tasa de aplicación elegida es de 0.7 l/m² para asegurar un residuo asfáltico entre 200 y 250 g/m².

3.1.4 Maquinaria y equipos empleados en la construcción de las pistas.

A continuación se detallan los equipos y maquinarias utilizados en cada ítem de la construcción de las pistas de prueba.

- Base granular: retroexcavadora para excavación y extensión de material base. Placa vibradora para compactación
- Imprimación y riegos de liga: para ambos casos se utilizó un camión regador cuyo equipo de riego permite el control automático de la altura y amplitud de la barra distribuidora, apertura y cierre boquillas junto con tasa de aplicación.
- Transporte de mezclas asfálticas: camiones tolva adecuadamente provistos de carpa para conservar la temperatura del material.
- Colocación de capas asfálticas: máquina pavimentadora.
- Compactación de capas asfálticas: rodillo liso vibratorio y rodillo neumático.
- Controles en terreno: densímetro nuclear para medir densidades de base granular (método de transmisión directa) y capas asfálticas (método de retrodispersión).
- Balanzas calibradas para el control de tasas de riego.

3.1.5 Descripción y registro de información durante la construcción.

Preparación de superficies.

En la pista sobre base granular se realizó una excavación hasta alcanzar el nivel de arena limosa (SM) endurecida (subrasante), luego se colocó luego se colocó una grava arcillo-limosa (GC-GM) como material base, el cual fue compactado en dos capas, alcanzando un espesor total de 22 cm y una densidad relativa alrededor de 80% (Anexo A). Finalmente se aplicó un riego de imprimación a la superficie de la base. La tasa de aplicación medida fue de 1.4 l/m². (Anexo B)

El hormigón compactado con rodillo que sirve de base para una de las pistas corresponde a un pavimento experimental construido anteriormente en un proyecto de investigación sobre HCR, tiene un espesor de 22 cm y está sobre una base granular de 15 cm (Anexo A). Esta superficie fue despejada y barrida. Posteriormente se aplicó un riego de liga con una emulsión de tipo CSS-1h

diluido en agua a razón 1:2. La tasa de aplicación medida fue de 0.44 l/m^2 obteniendo un residuo asfáltico de 140 g/m^2 . La Figura 3.4 muestra la superficie de base imprimada y HCR con riego de liga.



a. Base granular imprimada

b. HCR con riego de liga curado

Figura 3.4 Superficies de Base Granular y HCR aptas para recibir la primera capa asfáltica

Colocación de primera capa asfáltica.

La primera capa fue colocada con pavimentadora. La compactación se realizó con rodillos liso vibratorio y neumático haciendo tantas pasadas como fue necesario para obtener una densidad superior al 95% de la densidad Marshall de diseño 2323 kg/m^3 . Las Figuras 3.5 y 3.6 muestran la colocación y compactación de la primera capa en las pistas sobre base granular y HCR respectivamente.



Figura 3.5: a) Colocación de mezcla asfáltica en pista sobre base. b) compactación con rodillo liso



Figura 3.6: a) Colocación de mezcla asfáltica sobre HCR. B) Compactación con rodillo neumático.

Riego de liga.

Previo a la aplicación del riego de liga sobre la primera capa asfáltica, se realizó un riego de prueba para comprobar el correcto funcionamiento del equipo, observando el riego uniforme con adecuado traslape y altura de la barra espaciadora. Las tasas de aplicación medidas fueron de 0.73 l/m^2 en la superficie de la primera capa sobre HCR y 0.75 l/m^2 en la pista sobre base granular, los residuos de asfalto útil fueron de 230 y 240 g/m^2 respectivamente. La Figura 3.7 muestra la aplicación de riego de liga con camión regador. Las tasas de aplicación medidas en cada pista se encuentran en la Tabla 3.2.



Figura 3.7 Aplicación de riego de liga sobre pista HCR

Tabla 3.2 Tasas de Aplicación de riego de liga en ambas pistas

| Pista | Base Granular | | Base HCR | | |
|-------------------------------------|---------------|-------|----------|-------|-------|
| | 3 | 7 | 20 | 30 | 40 |
| Ubicación de Bandeja [m] | | | | | |
| Masa Bandeja [kg] | 0,680 | 0,684 | 0,680 | 0,684 | 0,685 |
| Área Bandeja [m ²] | 0,063 | 0,063 | 0,063 | 0,063 | 0,063 |
| Masa Bandeja más riego[kg] | 0,727 | 0,728 | 0,724 | 0,728 | 0,730 |
| Diferencia [kg] | 0,047 | 0,044 | 0,044 | 0,044 | 0,045 |
| Dosis Aplicada [kg/m ²] | 0,752 | 0,704 | 0,704 | 0,704 | 0,720 |
| Dosis Aplicada [l/m ²] | 0,776 | 0,727 | 0,727 | 0,727 | 0,743 |

En las áreas correspondientes a riego contaminado se empleó una arena limosa SM (pumicita), que es muy liviana y abundante en el sector. Se eligió este tipo de material como posible contaminación dados los resultados de la investigación de la falla en la Pista 2 del Aeropuerto Internacional de Santiago que atribuyen a este tipo de contaminación la condición de poca adherencia que se presentó entre las capas de la carpeta asfáltica [18]. Esta contaminación se realizó “al voleo” procurando esparcir la pumicita de manera uniforme, evitando excesos. La contaminación se realizó al día siguiente de la aplicación del riego de liga. Las Figuras 3.8 y 3.9 muestran los sectores contaminados de ambas pistas.



Figura 3.8 Superficie de primera capa asfáltica sobre base granular y tramos con diferente tratamiento. Arriba riego contaminado (RC), riego limpio al centro (RL) y sin riego en la parte inferior (SR).



Figura 3.9: Superficie de primera capa asfáltica sobre HCR. Diferentes tratamientos en superficie: riego contaminado (RC), riego limpio (RL), sin riego (SR).

En las zonas sin riego de liga de la pista sobre HCR se colocó láminas de papel para generar zonas libres de adherencia entre esa primera capa y la capa superficial. La Figura 3.10 muestra la utilización de papel para tener áreas deslaminadas. Las franjas de papel están ubicadas en la parte central, tienen un metro de ancho y 3.6 metros de largo. La ubicación exacta de ellas medidas en distancia al origen se encuentra en la Tabla 3.3.



Figura 3.10: Ubicación de franjas de papel para materializar zonas sin adherencia.

Tabla 3.3 Ubicación de franjas de papel

| Espesor capa Superficial [cm] | Inicio [m] | Fin [m] |
|-------------------------------|------------|---------|
| 8 | 4,6 | 8,2 |
| 5 | 51,1 | 54,7 |

Colocación segunda capa

La segunda capa fue construida, en condiciones similares a la capa anterior. Al igual que para la primera capa la colocación de la mezcla se realizó con máquina pavimentadora. La compactación se realizó con rodillos liso vibratorio y neumático, dando las pasadas por punto necesarias para lograr una densidad superior al 95% de la densidad de diseño Marshall, 2323 kg/m³.

En la pista sobre HCR a partir del PK 30 m se varía el espesor colocado, logrando un espesor de 5 cm en el PK 32 m (la longitud del espesor variable corresponde a un 7 % del tramo con 5 cm de capa superficial sobre HCR).

Durante la colocación de la mezcla asfáltica se produjo una cierta contaminación debido al tráfico de la obra. Las Figuras 3.11 y 3.12 muestran la suciedad en la superficie debida al paso del camión con mezcla. Como el riego había quebrado un par de días antes, el material asfáltico no sufrió deterioro o pérdida por arrancamiento, que es lo que normalmente ocurre cuando se le somete a tráfico antes del quiebre de la emulsión.



Figura 3.11: Contaminación causada por camión al cargar mezcla en máquina terminadora.



Figura 3.12: Huellas de polvo dejadas por camión en pista sobre HCR

A continuación, en la Tabla 3.4 se muestran las densidades medidas en terreno una vez finalizada la compactación de cada capa.

Tabla 3.4: Registro de densidades medidas en terreno.

| Fecha | Etapa de Construcción | Base Granular | | Base HCR | |
|-----------|-----------------------|---------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|
| | | PK [m] | Densidad [% de compactación] | PK [m] | Densidad [% de compactación] |
| 17-Sep-08 | 1ª capa | 3 | 96 | 5 | 95 |
| 17-Sep-08 | 1ª capa | 5 | 95 | 15 | 96 |
| 17-Sep-08 | 1ª capa | 8 | 97 | 25 | 97 |
| 17-Sep-08 | 1ª capa | 10 | 98 | 35 | 98 |
| 17-Sep-08 | 1ª capa | | | 45 | 97 |
| 17-Sep-08 | 1ª capa | | | 55 | 95 |
| 10-Oct-08 | 2ª capa | 4 | 94 | 5 | 94 |
| 10-Oct-08 | 2ª capa | 8 | 97 | 15 | 96 |
| 10-Oct-08 | 2ª capa | 12 | 95 | 25 | 97 |
| 10-Oct-08 | 2ª capa | | | 35 | 96 |
| 10-Oct-08 | 2ª capa | | | 45 | 96 |
| 10-Oct-08 | 2ª capa | | | 55 | 94 |

También se midió la densidad en laboratorio a partir de testigos en los que también se controló el espesor de las capas. La Tabla 3.5 muestra las densidades y espesores obtenidos de testigos extraídos en la pista sobre HCR..

Tabla 3.5: Espesores y densidades medidos en testigos.

| Muestra | Capa | PK [m] | Espesor [mm] | Densidad [% de compactación] |
|---------|---------|-----------|-----------------|---------------------------------|
| T2A | 1ª capa | 2,1 | 79,4 | 93,7 |
| T4A | 1ª capa | 11 | 87,4 | 99,5 |
| T5A | 1ª capa | 21 | 69,5 | 100,7 |
| T7A | 1ª capa | 33 | 69,4 | 101,1 |
| T9A | 1ª capa | 41 | 70,1 | 99,6 |
| T12A | 1ª capa | 51 | 73,4 | 95,8 |
| T2 | 2ª capa | 2,2 | 88,2 | 95,6 |
| T4 | 2ª capa | 11 | 73,9 | 99,7 |
| T5 | 2ª capa | 21 | 80,4 | 98,1 |
| T7 | 2ª capa | 33 | 49,9 | 96,8 |
| T9 | 2ª capa | 41 | 50,7 | 95,7 |
| T12 | 2ª capa | 51 | 43,3 | 95,8 |

3.2 Puesta a punto del método y calibración del martillo de rebote.

La puesta a punto de la auscultación con martillo de rebote consiste en el registro de la temperatura en la superficie del pavimento en varios días consecutivos y determinación de las mejores condiciones para realizar los ensayos. Además se realiza la calibración del equipo de martillo de rebote en un elemento patrón.

La etapa de ensayos se inicia con una auscultación general de las pistas en condiciones controladas de temperatura en la superficie de estas. Luego se analiza la variabilidad del método según la temperatura superficial del pavimento. Finalmente se hacen ensayos de corte a testigos representativos de cada zona y se analiza su correlación con los valores de índice de rebote.

3.2.1 Calibraciones

Las características viscoelásticas del asfalto requieren la determinación de condiciones aptas para realizar un ensayo de impacto que entregue resultados adecuados para evaluar el grado de monolitismo en el plano de unión de las capas asfálticas. Esto lleva a realizar un seguimiento en terreno de las condiciones atmosféricas y la temperatura superficial del pavimento en las pistas durante los días posteriores a la construcción.

Durante la mañana gran parte de la superficie de las pistas se encuentra bajo la sombra de los árboles del terreno vecino, registrándose puntos con temperatura mínima de 10°C. Sin embargo, al mismo tiempo parte de la superficie de las pistas se encuentra a más de 17°C. Se observa que la diferencia entre un punto a la sombra y otro al sol puede superar los 15°C. Aún en días con nubosidad la temperatura superficial del pavimento supera los 40°C al mediodía. Durante la tarde la temperatura es más uniforme y supera los 50°C.

Al anochecer la temperatura superficial decae, pero la pérdida de calor es lenta. Por todo lo anterior, se decide realizar una campaña de medición nocturna pasada la medianoche para asegurar la estabilidad térmica de la estructura de pavimento y de esta manera determinar la uniformidad de las pistas utilizando el martillo de rebote. En las mediciones, se debe controlar la temperatura superficial del pavimento. Durante la noche la temperatura de la superficie del

pavimento depende de la cantidad de radiación solar recibida y la diferencia entre la temperatura máxima y mínima en el día [14].

El martillo de rebote es un instrumento para determinar dureza y utilizado para ver la uniformidad de un elemento estructural, generalmente de hormigón. Su sistema de resortes y piezas especiales puede sufrir desgastes menores y debe ser chequeado cada vez que se utiliza. La calibración del martillo requiere de un elemento patrón de masa y dureza superior a la del elemento a auscultar para que sirva como patrón al realizar las mediciones. Si el instrumento está calibrado, la determinación del índice de rebote sobre la superficie patrón no variará, de lo contrario deberá calibrarse nuevamente. Se tomó como indicador de referencia a la medición de índice de rebote sobre la superficie de un pavimento de hormigón cuyo espesor es 22 cm y su edad es 20 años. La superficie de este hormigón es lisa, pero no pulida. Se midió el índice patrón al iniciar la medición en cada tipo de estructura.

3.3 Planificación de ensayos.

3.3.1 Puntos de medición.

Una vez construidas las pistas se genera una malla de puntos en la superficie de cada pista de prueba. Para la pista sobre HCR se trazan 4 ejes longitudinales y 4 o 5 transversales en cada uno de los tramos de prueba con distintos tratamientos entre capas. En la pista sobre base granular se trazan 3 ejes longitudinales centrales y 3 ejes transversales por tramo de prueba. Las Figuras 3.13 y 3.14 muestran los esquemas generales de puntos a medir en cada pista. Las distancias (PKs) son medidas de Norte a Sur y la posición de los ejes está en dirección Este - Oeste.

Figura 3.13: Malla de puntos para medición en pista sobre base granular

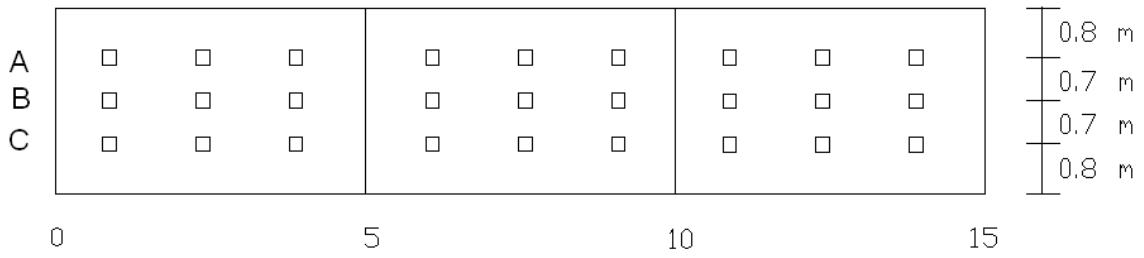
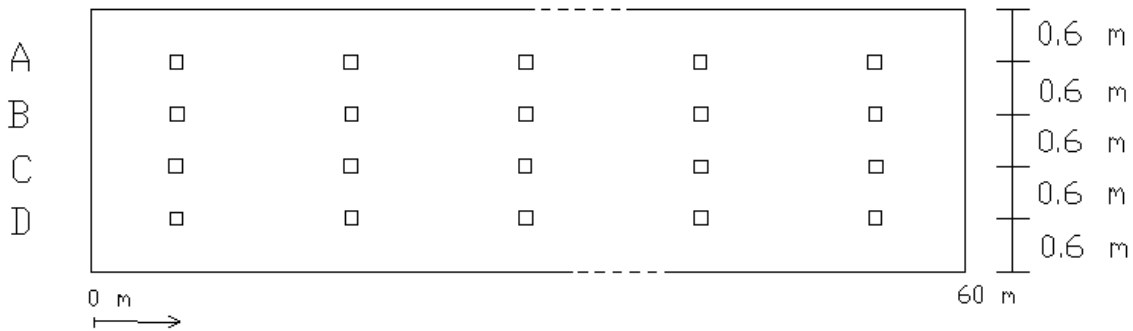


Figura 3.14: Malla de puntos para medición para un tramo en pista sobre HCR



En la determinación de estos puntos, se evitó considerar puntos ubicados a menos de un metro de los extremos o de los cambios de tratamiento entre capas. También se descarta realizar mediciones entre los PK 8,8 y PK 10 de la pista sobre HCR por no ser un área bien controlada durante la construcción y entre los PK 30 y PK 32 de la pista sobre HCR por tener espesor variable. En la pista sobre base granular sólo se trazan 3 ejes longitudinales para evitar irregularidades de bordes.

3.3.2 Procedimiento de ensayo para la determinación del índice de rebote.

Cada punto de la malla es replanteado en terreno por un cuadrado de 15 cm de lado. El ensayo consiste en efectuar 9 impactos de martillo dentro de esta área, procurando una correcta distribución de los golpes espaciándolos entre sí una distancia mínima de una pulgada. El índice de rebote para cada punto se obtiene como la media aritmética de los valores de altura de rebote obtenidos en dicha área. En la Figura 3.15 se muestra la implementación de la malla de puntos de medición y en la Figura 3.16 el tipo de huella que dejan los impactos de martillo luego de efectuar la medición correspondiente.



Figura 3.15: Implementación de malla de puntos



Figura 3.16: Área de impacto luego de ensayo de índice de rebote

3.3.3 Análisis de la sensibilidad del método: efecto de la temperatura superficial de la carpeta.

Las mediciones descritas realizadas a lo largo de la malla, bajo condiciones de estabilidad de la temperatura superficial del pavimento, según las hipótesis del método, permitirían obtener valores representativos para cada zona según la estructura y condiciones de adherencia existente entre las capas.

Para analizar la sensibilidad del método esclerométrico en estudio a las variaciones de temperatura de la carpeta asfáltica se toman áreas representativas de cada tipo de tratamiento y se determina en ellas el índice de rebote a diferentes temperaturas. Esto se realiza a lo largo de un día soleado, partiendo a primeras horas de la mañana para aprovechar el aumento de la temperatura superficial. Esta evaluación se realiza registrando la temperatura superficial en cada punto de medición al momento del ensayo.

3.3.4 Inspección mediante testigos.

Se extraen testigos de 4 pulgadas de diámetro en puntos representativos de cada zona para verificar en forma directa la correcta caracterización de la carpeta y en particular la unión entre sus capas. Posteriormente estos testigos se ensayan a corte según el método del Laboratorio de Caminos de Barcelona (LCB). [21]

El procedimiento de ensayo se puede resumir en los siguientes puntos:

- La velocidad de carga durante el ensayo es controlada en torno a la media de 1.27 mm/min.
- Se lleva un registro de carga y deformación a intervalos de 10 segundos hasta la carga máxima.
- Temperatura de la probeta durante el ensayo es de $20 \pm 1^\circ C$.

En la Figura 3.17 se muestra un esquema del ensayo de corte LCB. La Figura 3.18 muestra el dispositivo de corte utilizado.

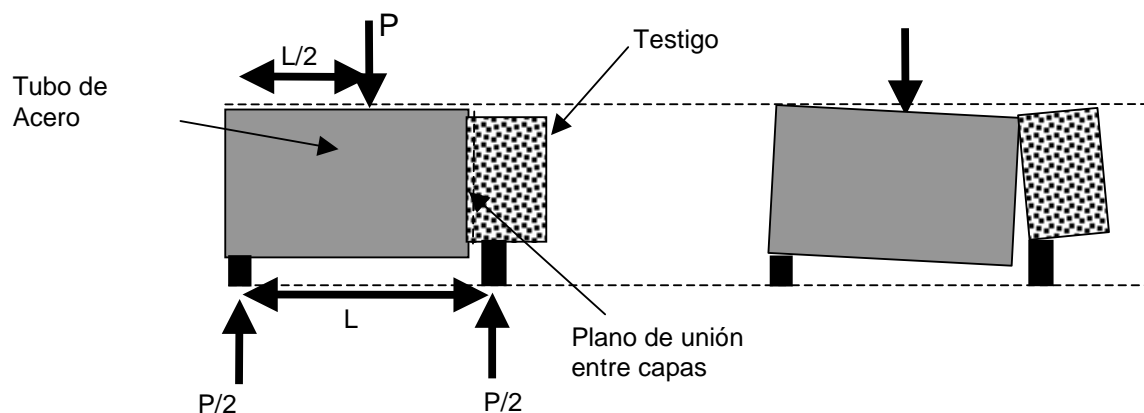


Figura 3.17: Esquema de ensayo de corte LCB



Figura 3.18: Dispositivo de corte LCB y testigo

CAPÍTULO 4: RESULTADOS.

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos de impacto realizados en las pistas de prueba y los ensayos de corte correspondiente a los testigos representativos de cada zona. También se muestran las variaciones de estos resultados en función de las condiciones evaluadas en cada uno de los tramos.

4.1 Ensayos de impacto.

Los valores de índice de rebote se agrupan según el tipo de tratamiento impuesto a la interfaz entre capas, el espesor de la capa superficial, el tipo de base y la temperatura superficial del pavimento. En las Tablas 4.1 y 4.2 se muestran los valores de índice de rebote medido en la pista de prueba sobre HCR a una temperatura superficial de 18 °C en condiciones climáticas estables, durante la madrugada.

Tabla 4.1: Índices de rebote en pista sobre HCR, $e_1=8$ cm.

| Tratamiento entre capas | PK [m] | Índice de Rebote | | | |
|-------------------------|--------|------------------|-----|-----|----|
| | | A | B | C | D |
| Sin Riego | 2,1 | 16 | 18 | 18 | 16 |
| Sin Riego | 3,8 | 16 | 18 | 18 | 13 |
| Sin Riego | 5,6 | 16 | 16 | 16 | 15 |
| Sin Riego | 7,4 | 18 | 20* | 21* | 18 |
| Riego Limpio | 11 | 17 | 22 | 22 | 18 |
| Riego Limpio | 13 | 19 | 23 | 21 | 18 |
| Riego Limpio | 15 | 18 | 22 | 21 | 17 |
| Riego Limpio | 17 | 19 | 21 | 22 | 19 |
| Riego Limpio | 19 | 18 | 21 | 22 | 17 |
| R. Contaminado | 21 | 18 | 21 | 20 | 18 |
| R. Contaminado | 23 | 17 | 21 | 21 | 17 |
| R. Contaminado | 25 | 19 | 21 | 21 | 18 |
| R. Contaminado | 27 | 17 | 20 | 20 | 18 |
| R. Contaminado | 29 | 18 | 20 | 20 | 18 |

* Puntos en zona delaminada con papel, no se consideran en el valor promedio del tramo.

En donde:

- los PK indican la distancia al origen,
- A, B, C y D representan los ejes definidos en la metodología (Figura 3.14)

Tabla 4.2: Índice de rebote en pista sobre HCR, $e_1=5$ cm.

| Tratamiento entre capas | PK [m] | Índice de Rebote | | | |
|-------------------------|--------|------------------|----|----|----|
| | | A | B | C | D |
| R. Contaminado | 33 | 16 | 18 | 18 | 17 |
| R. Contaminado | 35 | 17 | 19 | 19 | 17 |
| R. Contaminado | 37 | 15 | 19 | 19 | 17 |
| R. Contaminado | 39 | 15 | 18 | 19 | 16 |
| Riego Limpio | 41 | 17 | 21 | 20 | 18 |
| Riego Limpio | 43 | 18 | 21 | 24 | 17 |
| Riego Limpio | 45 | 18 | 20 | 19 | 18 |
| Riego Limpio | 47 | 18 | 19 | 20 | 18 |
| Riego Limpio | 49 | 17 | 20 | 19 | 17 |
| Sin Riego | 51 | 16 | 17 | 15 | 15 |
| Sin Riego | 53 | 14 | 17 | 17 | 14 |
| Sin Riego | 55 | 16 | 17 | 17 | 16 |
| Sin Riego | 57 | 16 | 17 | 15 | 17 |

Es posible apreciar que el índice de rebote es siempre mayor en el centro de la pista (ejes B y C), lo que sería atribuible a las mejores condiciones de compactación que se logró en esa zona. A partir de estos valores, se calcula el índice promedio para cada tratamiento diferenciando la zona de la pista, Tablas 4.3 y 4.4.

Tabla 4.3: Índice de rebote promedio por áreas. Pista sobre HCR, $e_1=8$ cm.

| Tratamiento entre capas | Zona | Índice de Rebote | Desviación Estándar |
|-------------------------|--------|------------------|---------------------|
| Sin Riego | Tramo | 16 | 1,6 |
| Sin Riego | Centro | 18 | 1,1 |
| Sin Riego | Bordes | 15 | 1,3 |
| R Contaminado | Tramo | 19 | 1,5 |
| R Contaminado | Centro | 21 | 0,5 |
| R Contaminado | Bordes | 18 | 0,7 |
| Riego Limpio | Tramo | 20 | 2,1 |
| Riego Limpio | Centro | 22 | 0,7 |
| Riego Limpio | Bordes | 18 | 0,9 |

Tabla 4.4: Índice de rebote promedio por áreas. Pista sobre HCR, $e_1=5$ cm.

| Tratamiento entre capas | Zona | Índice de Rebote | Desviación Estándar |
|-------------------------|---------|------------------|---------------------|
| Sin Riego | General | 16 | 1,2 |
| Sin Riego | Centro | 17 | 1,1 |
| Sin Riego | Bordes | 16 | 1,1 |
| R Contaminado | General | 18 | 1,4 |
| R Contaminado | Centro | 19 | 0,5 |
| R Contaminado | Bordes | 16 | 0,8 |
| Riego Limpio | General | 19 | 1,9 |
| Riego Limpio | Centro | 20 | 1,6 |
| Riego Limpio | Bordes | 17 | 0,6 |

El gráfico de la Figura 4.1 muestra la variación del índice de rebote según el tipo de tratamiento entre capas asfálticas considerando los valores promedio en la franja central de la pista sobre HCR.

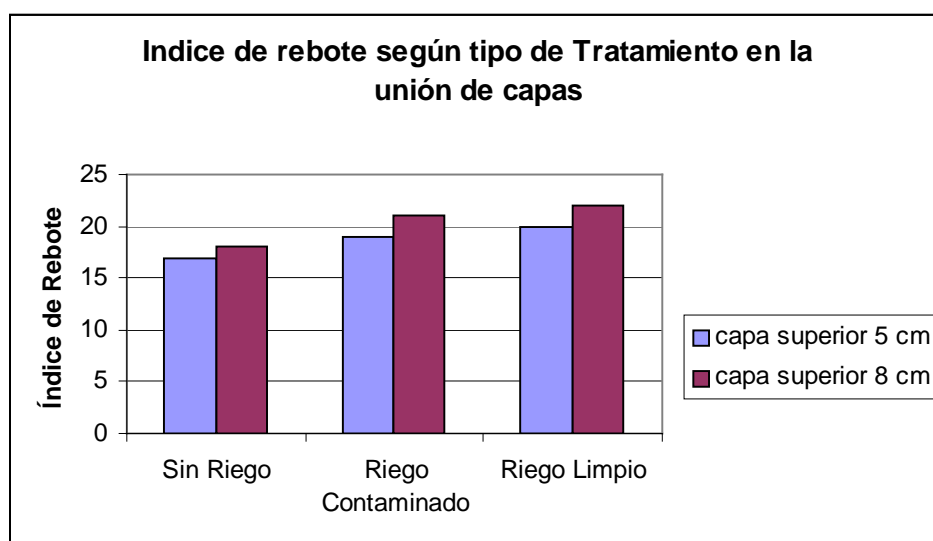


Figura 4.1: Gráfico de variación del índice de rebote en pista sobre HCR

Si se considera como valor de índice de rebote de referencia para cada espesor de capa superficial al valor promedio en las zonas con riego de liga limpio, se tiene un 95% del rebote de referencia en zonas con riego contaminado y un 85% en zonas sin riego de liga.

Los valores de índice de rebote medidos en la pista sobre base granular con 18°C de temperatura en la superficie se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 4.5: Índice de rebote en pista sobre Base granular, $e_1=5$ cm.

| Tratamiento entre capas | PK [m] | Índice de Rebote | | |
|----------------------------|-----------|------------------|----|----|
| | | A | B | C |
| R. Contaminado | 1 | 19 | 18 | 19 |
| R. Contaminado | 2,5 | 19 | 19 | 19 |
| R. Contaminado | 4 | 18 | 19 | 18 |
| Riego Limpio | 6 | 19 | 19 | 21 |
| Riego Limpio | 7,5 | 19 | 21 | 20 |
| Riego Limpio | 9 | 21 | 20 | 20 |
| Sin Riego | 11 | 14 | 14 | 14 |
| Sin Riego | 12,5 | 14 | 15 | 13 |
| Sin Riego | 14 | 14 | 14 | 14 |

No es necesario discriminar por zona de la pista ya que los ejes de medición están en el centro de esta pista y tienen valores similares en cada tratamiento.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de ensayo de impacto en la pista sobre base granular con temperatura superficial de $28 \pm 1^\circ\text{C}$.

Tabla 4.6: Índices de rebote medido a 28°C en pista sobre base granular

| Tratamiento entre capas | PK [m] | Índice de rebote | |
|----------------------------|-----------|------------------|-------------|
| | | Entre A y B | Entre B y C |
| R Contaminado | 2 | 14 | 16 |
| R Contaminado | 3 | 16 | 16 |
| Riego Limpio | 3 | 18 | 19 |
| Riego Limpio | 3 | 17 | 19 |
| Sin Riego | 7 | 12 | 12 |
| Sin Riego | 7 | 11 | 12 |

El resumen de los resultados de ensayos de impacto en la pista sobre base granular se muestra en la Tabla 4.7 y es graficado en la Figura 4.2.

Tabla 4.7: Índice de rebote a 18 y 28 °C en pista sobre base granular.

| Tratamiento entre capas | Temperatura superficial | Índice de Rebote | Desviación Estándar |
|-------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|
| Sin Riego | 18°C | 14 | 1 |
| R Contaminado | 18°C | 19 | 0,6 |
| Riego Limpio | 18°C | 20 | 0,8 |
| Sin Riego | 28°C | 12 | 0,5 |
| R Contaminado | 28°C | 16 | 0,8 |
| Riego Limpio | 28°C | 18 | 1,2 |

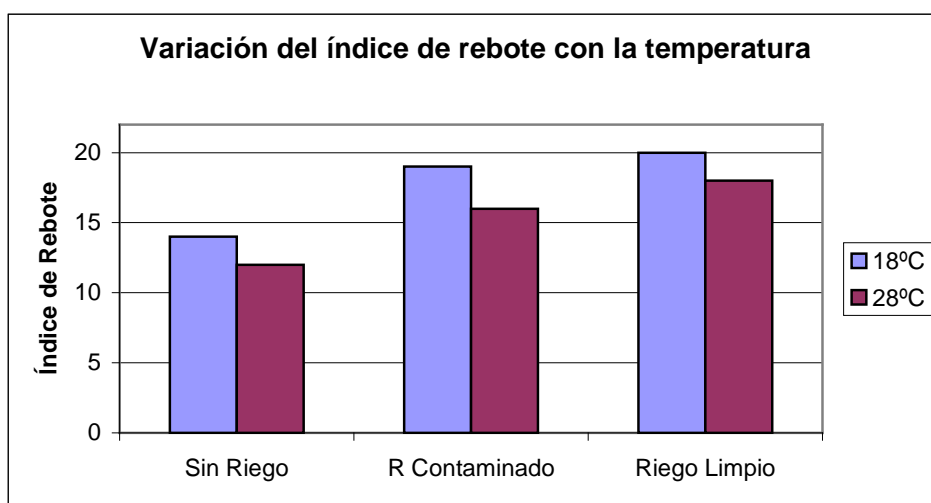


Figura 4.2: Gráfico variación de índice de rebote según temperatura en pista sobre base granular.

En la Figura 4.3 se muestra la influencia del tipo de base sobre el índice de rebote comparando los resultados para igual espesor de capa superficial a igual temperatura.

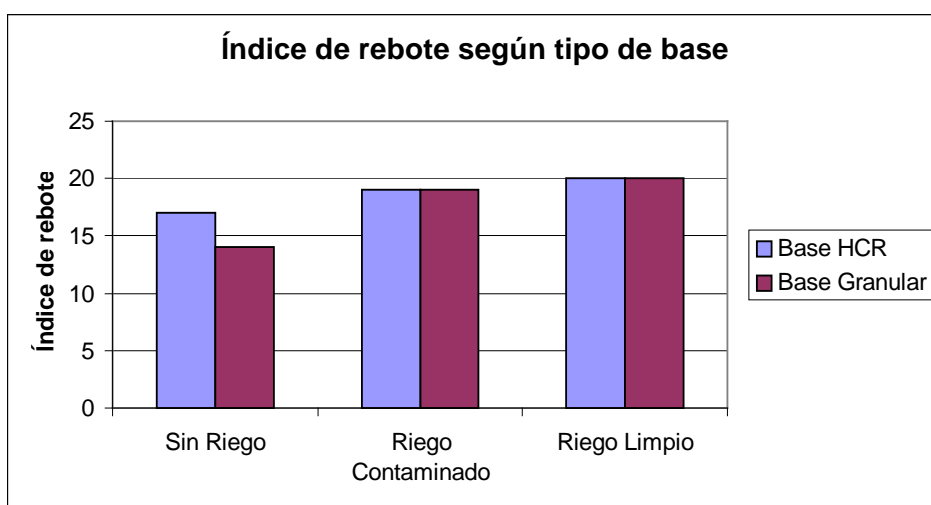


Figura 4.3: Índice de rebote según tipo de base para capa superior de 5 cm de espesor.

Existe una coincidencia en los valores de índice de rebote en las zonas de riego limpio y riego contaminado.

Se buscó la temperatura superficial del pavimento en que el indicador de rebote no supere las 10 unidades en el ensayo de impacto. Sobre 40°C no es posible medir el índice de rebote en la superficie de zonas sin riego ya que las mediciones por golpe son menores a 10. A 50°C sólo los impactos sobre áreas con riego de liga limpio indican valores superiores a 10.

Los siguientes resultados corresponden a ensayos de impacto realizados a puntos aislados a diferentes temperaturas en la superficie del pavimento de la pista sobre HCR.

Tabla 4.8: Índices de rebote a diferentes temperaturas en pista sobre HCR, $e_1=8$ cm

| Tratamiento entre capas | Espesor capa superior [cm] | Temperatura [°C] | Índice de Rebote |
|-------------------------|----------------------------|------------------|------------------|
| Sin Riego | 8 | 38 | 13 |
| Sin Riego | 8 | 38 | 13 |
| Riego Limpio | 8 | 18 | 22* |
| Riego Limpio | 8 | 37 | 15 |
| Riego Limpio | 8 | 37 | 14 |
| Riego Limpio | 8 | 39 | 14 |
| Riego Limpio | 8 | 39 | 14 |
| Riego Limpio | 8 | 40 | 14 |
| Riego Limpio | 8 | 40 | 13 |
| Riego Sucio | 8 | 35 | 15 |
| Riego Sucio | 8 | 35 | 17 |
| Riego Sucio | 8 | 35 | 14 |
| Riego Sucio | 8 | 35 | 16 |
| Riego Sucio | 8 | 47 | 11 |
| Riego Sucio | 8 | 47 | 13 |

* Punto en condición de sombra durante la mañana.

En la Figura 4.4 se muestra los valores promedios de los índices de rebote para rangos de temperatura similares.

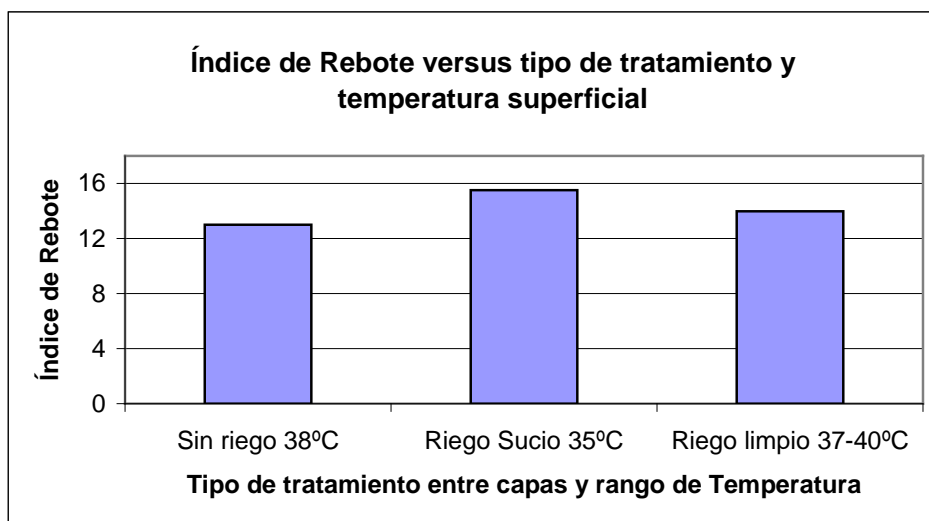


Figura 4.4: Índice de rebote a temperaturas superiores a 30°C en pista sobre HCR, $e_1=8$ cm

Del mismo modo se tienen los resultados para el tramo con 5 cm de espesor de capa superficial.

Tabla 4.9: Índices de rebote a diferentes temperaturas en pista sobre HCR, $e_1=5$ cm

| Tratamiento entre capas | Espesor capa superior [cm] | Temperatura [°C] | Índice de Rebote |
|-------------------------|----------------------------|------------------|------------------|
| Ruego Limpio | 5 | 17 | 21* |
| Ruego Limpio | 5 | 20 | 20* |
| Ruego Limpio | 5 | 33 | 17 |
| Ruego Limpio | 5 | 33 | 16 |
| Ruego Limpio | 5 | 37 | 18 |
| Ruego Limpio | 5 | 37 | 17 |
| Ruego Limpio | 5 | 45 | 13 |
| Ruego Limpio | 5 | 45 | 12 |
| Ruego Limpio | 5 | 47 | 11 |
| Ruego Limpio | 5 | 47 | 12 |
| Sin Riego | 5 | 34 | 14 |
| Sin Riego | 5 | 34 | 13 |
| Sin Riego | 5 | 34 | 15 |
| Sin Riego | 5 | 34 | 14 |
| Riego Sucio | 5 | 39 | 13 |
| Riego Sucio | 5 | 39 | 13 |
| Riego Sucio | 5 | 39 | 14 |
| Riego Sucio | 5 | 39 | 13 |
| Riego Sucio | 5 | 35 | 14 |
| Riego Sucio | 5 | 35 | 13 |

* Puntos en condición de sombra durante la mañana.

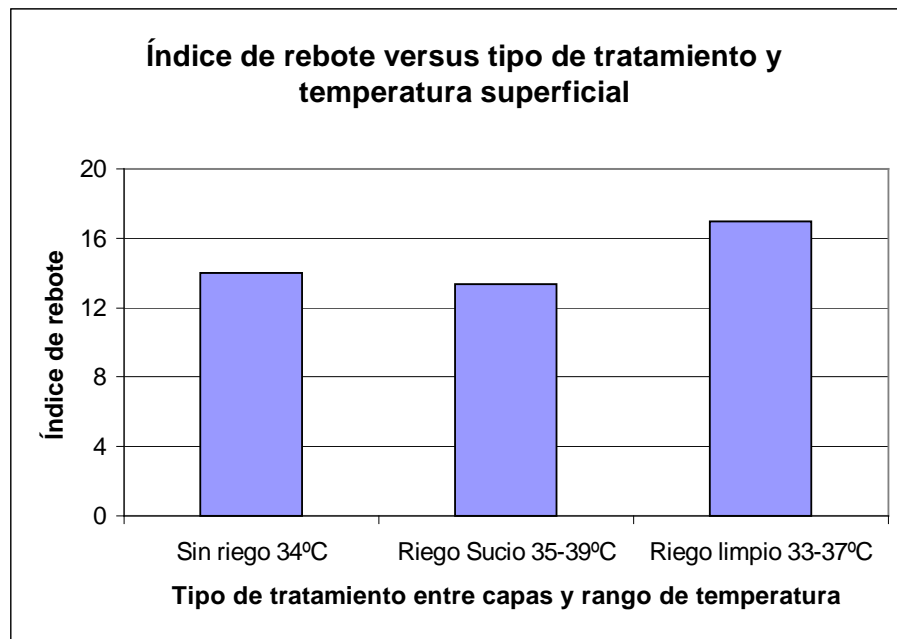


Figura 4.5: Índice de rebote a temperaturas superiores a 30°C en pista sobre HCR, $e_1=5$ cm

En los últimos dos gráficos es posible notar que los valores de índice de rebote no se relacionan con la condición en la unión entre capas.

4.2 Ensayos de corte.

De cada zona de la pista sobre HCR se extrajeron 2 testigos para ensayarlos a corte a una temperatura de 20 ± 1 °C mediante el método de corte LCB. En la siguiente tabla se muestran los resultados de estos ensayos de corte y el índice de rebote promedio clasificados por espesor de capa superior y tipo de tratamiento entre capas.

Tabla 4.10: Resistencias al corte en testigos.

| Identificación de Testigo | Espesor capa superior [cm] | Tratamiento entre capas | Índice de Rebote | Resistencia al corte [MPa] |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|
| T1 | 8 | Sin Riego de liga | 18 | * |
| T2 | 8 | Sin Riego de liga | 18 | * |
| T3 | 8 | Riego de liga limpio | 22 | 0,42 |
| T4 | 8 | Riego de liga limpio | 22 | 0,40 |
| T5 | 8 | Riego contaminado | 21 | 0,38 |
| T6 | 8 | Riego contaminado | 21 | 0,30 |
| T7 | 5 | Riego contaminado | 19 | 0,22 |
| T8 | 5 | Riego contaminado | 19 | 0,32 |
| T9 | 5 | Riego de liga limpio | 20 | 0,40 |
| T10 | 5 | Riego de liga limpio | 20 | 0,40 |
| T11 | 5 | Sin Riego de liga | 17 | 0,04 |
| T12 | 5 | Sin Riego de liga | 17 | 0,03 |

* Testigos desadheridos durante extracción.

En la Figura 4.6 se correlacionan los resultados de ensayos de corte con los valores de índice de rebote para cada tramo.

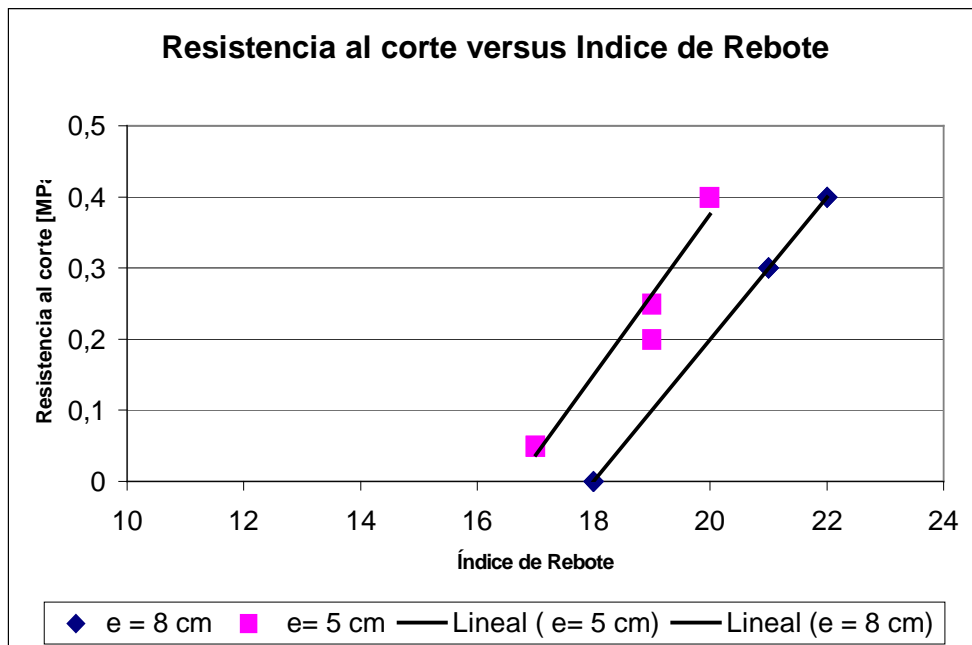


Figura 4.6: Gráfico de resistencia al corte versus índice de rebote.

En el gráfico anterior se puede apreciar una correspondencia lineal entre el índice de rebote y la resistencia al corte. Además esta correlación depende del espesor de la capa superficial.

Las ecuaciones que caracterizan dicha correlación son las siguientes:

$$R_{5cm} = 0.113 \cdot I_{REBOTE} - 1.875$$

$$R_{8cm} = 0.100 \cdot I_{REBOTE} - 1.8$$

Donde R es la resistencia al corte e I es el índice de rebote.

Finalmente se analiza visualmente las superficies de contacto entre capas luego del ensayo de corte. En las figuras que siguen se muestran las superficies de contacto de las ambas capas. A la izquierda la capa inferior y a la derecha la superior. En la Figura 4.7 un testigo desadherido al momento de la extracción.



Figura 4.7: Testigo de zona sin riego y espesor de capa superficial 8 cm.



Figura 4.8: Testigo de zona sin riego y 5 cm de espesor de capa superficial.

Las dos figuras anteriores corresponden a testigos de zonas sin riego, se aprecia una superficie de capa inferior (izquierda) lisa y de color más claro.



Figura 4.9: Testigo de zona con riego limpio y 8 cm de espesor de capa superficial

Las superficies de contacto de los testigos con riego limpio se ven rugosas y oscuras, además se aprecia que la falla compromete a ambas capas.



Figura 4.10: Testigo de zona con riego contaminado y 5 cm de espesor de capa superficial

En el testigo N°8, ambas superficies están rugosas y de color negro, que es un poco más opaco que en los testigos de zonas con riego limpio. Aparentemente la falla compromete menos a la capa inferior que en los casos de riego limpio.

4.3 Análisis de resultados.

En cuanto a la influencia del tipo de tratamiento en los valores de índice de rebote se puede destacar que para las mediciones realizadas a 18°C en las tres estructuras de pavimento estudiadas el valor de índice de rebote es máximo en zonas de riego limpio considerándose esta situación como 100% de rebote y mínimo en las zonas sin riego (85% en la pista sobre HCR y 75% sobre base granular), mientras que las áreas con riego contaminado tienen valores de índice levemente menores a las con riego limpio correspondiendo al 95% del rebote.

El espesor de la capa superficial influye directamente en el valor de índice de rebote medido. En el gráfico de la Figura 4.1 los valores de índice de rebote a 18°C en zonas con riego limpio y contaminado sobre la pista de HCR con 8 cm de espesor de capa superficial, son dos unidades mayores a los valores del tramo con 5 cm de espesor y los mismos tratamientos. El espesor de una capa asfáltica está directamente relacionado a la rigidez de ésta, por lo que el resultado indica la relación directa entre rigidez y el índice de rebote para zonas con algún grado de unión.

La temperatura afecta significativamente al índice de rebote, en la Figura 4.2 se muestra los índices de rebote medidos a 18°C y 28°C en la pista sobre base granular, los cuales son coherentes con la hipótesis de este estudio. Sin embargo, a mayores temperaturas las mediciones de índice de rebote pierden dicha coherencia.

En la Figura 4.3 en que se compara los índices de rebote medidos para una capa superficial de 5 cm sobre distinta base, se aprecia que los valores para los casos de riego limpio y contaminado coinciden, por lo que en estos casos el tipo de base no influye en los resultados. La diferencia en el índice de rebote en tramos sin riego de liga se debería a diferencias en el grado de adherencia.

CAPITULO 5: DISCUSIÓN.

El estudio parte del supuesto que es posible detectar discontinuidades al interior de la carpeta asfáltica, particularmente en la interfaz entre capas, mediante auscultación con martillo de impacto. Este tipo de instrumento evalúa la energía restituida después del impacto de una masa impulsada por medio de un resorte calibrado sobre un elemento rígido (vástago) aplicado sobre un punto de la superficie.

En esta investigación se busca determinar la sensibilidad de la respuesta del sistema evaluado frente a diferentes condiciones de la unión entre capas asfálticas, y sobre esta base establecer un método de ensayo no destructivo para fines de control de recepción de obras.

5.1 Acerca de la metodología.

En este trabajo se evalúa la capacidad de un martillo de impacto como instrumento de auscultación de pavimentos asfálticos destinado a calificar el grado de monolitismo de su estructura de capas entre zonas con diferentes condiciones inducidas de manera controlada a la interfaz entre capas asfálticas durante su construcción.

La metodología del estudio contempló la construcción de pistas de prueba donde se materializan distintas condiciones para la unión entre las capas de una carpeta asfáltica típica. El diseño de las pistas considera las situaciones extremas de unión entre capas (riego de liga limpio y sin riego de liga) y una condición intermedia dada por la contaminación del riego simulando situaciones comunes observadas en las obras como la contaminación por material fino trasladado por el viento.

La mezcla utilizada corresponde a una de uso frecuente en pavimentos asfálticos. Sin embargo, a diferencia de lo usual en obras de este tipo en que se varía el tipo de mezcla en las capas intermedia (binder) y de rodadura, en este caso se utilizó sólo la mezcla IV-A-12 especificada en el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas [19] en ambas capas. De esta forma se simplifica el problema constructivo que significa la inclusión de mezclas diferentes para un volumen reducido de obra y esto no alteraría la validez de los resultados del estudio.

La adherencia entre las capas normalmente se asegura mediante el tratamiento conocido como riego de liga. En este caso, el riego de liga es el de uso habitual y consiste en una emulsión que entrega buena adherencia entre capas para este tipo de mezcla. [20]

Las maquinarias y métodos empleados se ciñeron a lo que establecen las prácticas constructivas, adecuándose a lo planificado en cuanto a la materialización de los paños de prueba, permitiendo un apropiado control y ejecución de la construcción.

En este trabajo se definió una malla de puntos a medir, pero en un caso de pavimento real se debe hacer hincapié en las zonas que potencialmente podrían sufrir deterioros como deslizamiento y deslaminación. Esto corresponde a las zonas en que el pavimento soporta mayores esfuerzos horizontales, tales como zonas de frenaje, de aceleración y de tráfico pesado (cuestas).

En cuanto a los ensayos de impacto con el martillo de rebote, fue necesario contar con una base de calibración. Se decidió utilizar como base una losa de hormigón construida contigua a las pistas en estudio.

En la determinación del valor índice de cada tramo de la grilla predefinida incluye 16 o 20 zonas de medición para cada sector de la pista sobre HCR con diferente condición de adherencia entre capas y 9 zonas de medición en cada tramo de la pista sobre base granular.

En cuanto a la obtención del índice de rebote para cada punto de la grilla, existen varios criterios enfocados a cuántos datos considerar. En algunas guías de metodologías no destructivas se sugiere eliminar aquellos datos que se alejen en más de 6 unidades del promedio, permitiendo un máximo de 2 eliminaciones al calcular el índice de rebote en base a 10 mediciones sobre superficies lisas [22]. Por otra parte, el criterio de rechazo de Chauvenet propone la eliminación de datos de acuerdo al número de mediciones realizadas y la desviación estándar de éstas. Este criterio supone que una vez calculada la media, han de rechazarse aquellos datos cuya desviación de la media sea mayor al producto de la constante de rechazo por la desviación estándar. En la Tabla 5.1 se muestran los factores de rechazo según el criterio de Chauvenet, se acepta sólo un rechazo cuando el número de mediciones es menor o igual a 10.

Tabla 5.1: Constantes de rechazo de Chauvenet.

| Número de mediciones | Constante de Rechazo | Número de mediciones | Constante de Rechazo |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| N | Kc | n | Kc |
| 2 | 1.15 | 15 | 2.13 |
| 3 | 1.38 | 20 | 2.24 |
| 4 | 1.54 | 25 | 2.33 |
| 5 | 1.65 | 30 | 2.4 |
| 6 | 1.73 | 50 | 2.57 |
| 7 | 1.80 | 100 | 2.81 |
| 8 | 1.86 | 300 | 3.14 |
| 9 | 1.92 | 500 | 3.29 |
| 10 | 1.96 | 1000 | 3.48 |

Según el primer criterio mencionado, el método de medición adoptado es válido, ya que los valores medidos están dentro del rango esperado.

Según el criterio de rechazo de Chauvenet habría eliminación de datos para el cálculo del valor de rebote por punto. Los puntos eliminados por tener más de un rechazo no superan el 10% en cada tipo de tratamiento.

Al considerar los 9 valores de cada punto se da una mayor representatividad del muestreo ya que en una superficie rugosa es muy probable tener datos dispersos.

En cuanto a la operatoria del ensayo cabe destacar que las mediciones de índice de rebote a 18°C en la pista sobre HCR muestran una diferencia en los valores dependiendo si los puntos se encuentran en los ejes centrales o de borde. Durante la compactación, los rodillos no pueden acercarse demasiado al borde del pavimento, ya que se encuentra sobre el nivel de terreno y no está confinado. Esta diferencia en la compactación sería la causa de los mayores valores de índice de rebote en las zonas de material más denso.

En cuanto a la extracción de testigos para ensayos de corte, los dos testigos correspondientes al tramo sin riego con 8 cm de espesor de capa superficial se desprendieron al momento de la extracción. Mientras que en el tramo con 5 cm de espesor de capa superficial los testigos no se despegan al extraerlos, pero su resistencia al corte es muy pequeña. Lo anterior se explica porque en ambos tramos se hizo el mismo número de pasadas de rodillo durante la compactación, pero en el tramo de menor espesor de capa superficial la intensidad de carga es mayor en la interfaz de

capas, logrando una mayor presión sobre los áridos de la mezcla que se está compactando los que se acomodan mejor en la capa anterior.

5.2 Influencia de las variables en estudio

Se analiza la variabilidad del índice de rebote según los siguientes factores:

- Tratamiento entre capas
- Espesor de capa superficial
- Tipo de base
- Temperatura.

5.2.1 Tratamiento entre capas asfálticas.

Las mediciones realizadas a 18°C en las tres estructuras de pavimento estudiadas muestran que el índice de rebote en las zonas sin riego de liga es entre un 70 y un 85% del alcanzado en zonas con riego de liga limpio. En las zonas con riego contaminado el valor del índice de rebote es un 95% del índice máximo alcanzado para cada tipo de estructura de pavimento.

5.2.2 Tipo de base.

En el gráfico de comparación entre los tramos con 5 cm de espesor en capa superficial mostrado en la Figura 4.3 hay coincidencia en los valores de índices de rebote para las condiciones de riego de liga limpio y contaminado, cuyos valores son 20 y 19 respectivamente. Esto indica que para una misma estructuración de capas asfálticas sobre bases diferentes el valor del índice de rebote debe ser similar. Existen al menos dos explicaciones posibles:

- La intensidad del impacto sólo compromete las capas asfálticas.
- Dada la duración del impacto el rebote medido sólo es afectado por la primera interfaz entre capas.

En el caso sin riego de liga el valor índice es superior en el pavimento sobre HCR, lo que puede ser el resultado de diferentes grados de adherencia entre los tramos sin riego sobre base granular y sobre HCR. Esta diferencia se debería a una mayor contaminación de la superficie de la primera capa sobre base granular producida durante la compactación, ya que los rodillos deben recorrer el

tramo completo y apoyarse en terreno natural para volver a pasar, mientras que en la otra pista los rodillos terminaban las pasadas sobre el pavimento de HCR que fue barrido antes de iniciar los trabajos de colocación de capas.

5.2.3 Espesor de capa superficial

El espesor de capa asfáltica superficial influye de manera significativa en el valor del índice de rebote, por lo que es indispensable conocer la variabilidad de éste para la correcta aplicación de la metodología. De los espesores medidos en testigos (Tabla 3.5) y del gráfico de correlación entre ensayos de corte e índice de rebote (Figura 4.6) se puede inferir que ante variaciones de 1 cm del espesor nominal el método no es sensible, mientras que si lo es en diferencias mayores a una pulgada.

5.2.4 Temperatura.

Dadas las características viscoelásticas del asfalto, fuertemente dependiente de la temperatura, lo ideal es realizar este tipo de ensayos a temperaturas bajas (no mayores a 25°C a nivel de la superficie) para evitar que la absorción o pérdida de energía por aplastamiento en el punto de contacto impida el trabajo de la carpeta en su conjunto. De esta manera se obtienen resultados que reflejan el comportamiento del conjunto de capas al ser sometido a impacto.

- Densidad: a mayor densidad se logra índices de rebote más altos.
- Rigidez: un mayor espesor de capa superficial tiene mayor índice de rebote.

Estas relaciones se cumplen comparando mediciones a una misma temperatura en la capa superficial de un pavimento de dos capas construidas con un mismo tipo de mezcla entre las cuales existe unión.

Adicionalmente, fue posible medir el índice de rebote a temperaturas hasta 28°C sin que los resultados perdieran coherencia. Del mismo modo se midió el índice de rebote en áreas sobre todos los tipos de tratamiento a temperaturas entre 30°C y 40°C. Sin embargo, los resultados no son aptos para discriminar entre los diferentes grados de unión entre capas.

5.3 Acerca del método

El asfalto es un material termoplástico cuya viscosidad disminuye al aumentar la temperatura. La relación entre temperatura y viscosidad no es la misma para diferentes tipos de asfalto. Por lo que los resultados expuestos son aplicables sólo a situaciones similares.

Este tipo de ensayo entrega resultados cualitativos del estado de una estructura de pavimento, por lo que no se puede relacionar directamente un valor de índice de rebote con otro parámetro.

Este tipo de ensayos permite determinar con éxito la uniformidad de la construcción mediante impactos en la superficie (Tablas 4.1, 4.2 y 4.5). La poca diferencia entre los valores de índice de rebote entre zonas con riego de liga contaminado y limpio (5%) no permiten asegurar la discriminación entre áreas según el grado de monolitismo y asegurar la no presencia de falta de unión entre capas. Es posible que después de un periodo con tránsito la diferencia de adherencia entre capas sea más notoria frente al ensayo de impacto debido a la falla por deslaminación inducida por las cargas.

Este método permite detectar con alta confiabilidad zonas con falta de unión entre las capas de un pavimento asfáltico, que potencialmente tendrían falla por deslizamiento (slippage) o deslaminación de su capa superficial. Ante esta situación la extracción de testigos y ensayos de corte determinarían el estado real de dichas áreas.

La variabilidad de densidades en la capa asfáltica superficial podría conducir a errores en esta detección de áreas deslaminadas. De igual manera es indispensable conocer la variabilidad del espesor de la capa superior del pavimento, ya que ambas variables influyen directamente en el índice de rebote.

El valor del rebote mostró ser un buen indicador para localizar áreas con posibles problemas de falta de adherencia, pero el método depende también de la capacidad de percepción de quienes realizan la inspección, ya que fue posible constatar en terreno que existen casos en que el valor de índice de rebote medido es menos relevante que el tono del sonido al impactar la superficie. Esto ocurre en los puntos del PK 7.4 de la pista sobre HCR que en condiciones de deslaminación

registran un alto índice de rebote a 18 °C, pero cada impacto es acompañado de un sonido seco (hueco). Este alto valor de rebote podría deberse a que la presencia de aire en la interfaz de capas provocaría un efecto de arco en la capa superficial, teniendo ésta buena resistencia a la compresión y así un índice de rebote mayor.

La extracción de testigos y los ensayos de corte fueron un aspecto importante que permitió comprobar la correcta implementación de la pista sobre HCR, ya que los ensayos de corte concuerdan con las condiciones de tratamiento entre capas. Mostrando además una relación lineal entre la resistencia al corte en el plano de unión de capas y el índice de rebote. Esta relación depende también del espesor de la capa superficial.

Al comparar este método con los otros ensayos de impacto expuestos en el Capítulo 2. La prospección con martillo esclerométrico es muy similar a la auscultación con martillo, ya que se recorre y golpea la superficie para determinar los puntos sin unión. Sin embargo, la metodología tratada en este trabajo tiene como ventaja que el valor de medición no depende de quien realice la inspección. El impacto acústico es mucho más simple, porque el instrumento de medición lo es. Ambos métodos son efectivos, pero son muy lentos en comparación a la termografía infrarrojo.

De la experiencia adquirida durante este trabajo y la investigación previa es posible afirmar que los métodos de impacto son efectivos en la detección de áreas sin unión entre capas asfálticas, aunque su efectividad no es absoluta, constituyen una herramienta importante. La diferencia entre los métodos de impacto está en la forma de medir la respuesta del pavimento, mientras más exacta sea ésta mejor serán los resultados.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

La auscultación mediante ensayos de impacto representa una de las técnicas no destructivas más efectivas en la detección de áreas con un grado de unión deficiente o deslaminación entre las capas de una carpeta asfáltica. Este tipo de ensayos permite determinar las zonas que presentan singularidades en el plano de la unión por deficiencias de construcción o por deterioros en la etapa de servicio.

En el presente estudio se ha evaluado la efectividad del método de evaluación del grado de monolitismo de una carpeta asfáltica de dos capas que utiliza un martillo que registra la energía restituida después del impacto. Las conclusiones que se derivan del estudio se resumen en los siguientes puntos.

- El ensayo de impacto con el martillo de rebote bajo las condiciones controladas, permite discriminar entre zonas adheridas y zonas deslaminadas de una carpeta asfáltica, con una alta confiabilidad. Los índices de rebote registrados en zonas no adheridas (sin tratamiento de riego de liga) resultaron significativamente menores a los correspondientes a zonas monolíticas (con tratamiento de riego de liga).
- Existe correlación lineal entre resistencia al corte de la unión entre capas y el índice de rebote. Se observa que la contaminación del riego de liga corresponde a puntos intermedios de la recta entre los valores correspondientes a zonas sin tratamiento y valores de zonas perfectamente adheridas.
- Se observa que la correlación resistencia al corte versus índice de rebote es dependiente del espesor de la capa de rodadura.
- Los valores de índice de rebote no están afectados por las propiedades (rigidez) de las capas inferiores (carpeta sobre base granular o sobre pavimento de hormigón).

- La temperatura en la superficie de la carpeta es una variable que afecta significativamente a los valores del índice de rebote. Temperaturas mayores de 25°C, no serían adecuadas para este tipo de auscultación.

Recomendaciones para estudios posteriores.

- Evaluar la validez de esta metodología con distintos martillos de impacto.
- Implementar un martillo que permita realizar de mejor manera la auscultación.
- Analizar la variación del índice de rebote según temperatura para obtener factores de conversión que permitan comparar mediciones realizadas a diferentes temperaturas.
- Analizar la evolución del índice de rebote en tramos de prueba considerando las solicitaciones climáticas y de tráfico. Se espera que para los tramos evaluados en esta investigación, no expuestos a tráfico, mediciones después de un año por efecto de los ciclos térmicos diarios y estacionales permitan diferenciar en forma más notoria el efecto de las distintas condiciones de adherencia entre las capas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. The Asphalt Institute. 1982. "Manual Del Asfalto". The Asphalt Handbook. Manual Series 1982.
2. West, R; Zhang, J; Moore, J. 2005. "Evaluation of bond strength between pavement layers". National Centre of Asphalt Technology. Alabama. NCAT Report 05-08.
3. Gomba, S. 2004. "Evaluation of interlayer bonding in hot mix asphalt pavements". Thesis of Master of Science Degree, the Graduate School, Rowan University.
4. Kulkarni, M. 2004. "Effect of tack and prime coats, and baghouse fines on composite asphalt pavements". A dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy, North Carolina State University.
5. Romanoschi, S. 1999. Characterization of Pavement Layer Interfaces. Ph.D.Dissertation, Louisiana State University, Baton Rouge.
6. King, G, and R. May. "New Approaches to Tack Application", presentation made to the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2003.
7. Roffe, J.C; Chaignon, F. "Characterisation Tests on Bond Coast: Worldwide Study, Impact, Tests, and Recommendations". 3rd International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, Thessaloniki, 2002.
8. Wheat, M. 2006. "Evaluation of bond strength at asphalt interfaces" Report for the degree of Master of Science. Kansas State University.
9. Tashman, L; Nam, K; Papagiannakis, T. 2006. "Evaluation of the influence of tack coat construction factors on the bond strength between pavement layers". Report for the WCAT.

10. Proper Tack Coat Application, Technical Bulletin, Flexible Pavements of Ohio, Columbus, OH, May 21, 2001.
11. Sholar, G; Page, G; Musselman, J; Moseley, H. 2004. "Preliminary Investigation of a Test Method to Evaluate Bond Strength of Bituminous Tack Coats" Association of Asphalt Technologists. Vol 73, pp771-801.
12. U.S. Army Corps of Engineers. "The Hot Mix Asphalt Paving Handbook 2000"., Washington D.C. 2001.
13. Hachiya, Y; Sato, K. 1997. "Effect of Tack Coat on Bonding Characteristics at Interface between Asphalt Concrete Layers". Eighth International Conference on Asphalt Pavements, Vol. 1, pp 349-362.
14. Tsubokawa, Y; Mizukami, J; Esaki, T. 2007. "Study on infrared thermography inspection of de-bonded layer of airport flexible pavement". FAA world wide airport technology transfer conference, Atlantic City, New Jersey, USA
15. Bognaki, C; Frisvold, A. 2007. "Investigation of asphalt pavement slippage failures on runway 4R-22L, Newark International Airport". FAA world wide airport technology transfer conference, Atlantic City, New Jersey, USA
16. Claros, G; Rand, D. 2006 "Tack coat field acceptance criterion". Center For Transportation Infrastructure Systems The University of Texas at El Paso. Texas. Project Sumary Report.
17. Sargiorgi, C; Collop, A; Thom, N. 2003. "A non-destructive impulse hammer for evaluating the bond between asphalt layer in a road pavement". International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003.
18. Delfín, F; Díaz, C. 2007. "Prospección de falla de pavimento asfáltico Aeropuerto Internacional de Santiago". XIV Congreso CILA, La Habana, Cuba.

19. Manual de carreteras, Vol N° 5: Especificaciones técnicas generales de construcción, Ministerio de Obras Públicas, Chile. Diciembre 2003
20. Vargas, P. 2008. “Estudio experimental de soluciones de construcción para asegurar la adherencia entre capas asfálticas”. Memoria para optar al título de ingeniero Civil. Universidad de Chile.
21. Fernández C. Milagros, Soto Sánchez José. “Riegos de Adherencia, diferentes métodos de control”, 2005.
22. U.S Department of Transportation Federal Highway Administration. 1997. “Guide to Nondestructive Testing of Concrete”

ANEXO A: MATERIALES DE BASE

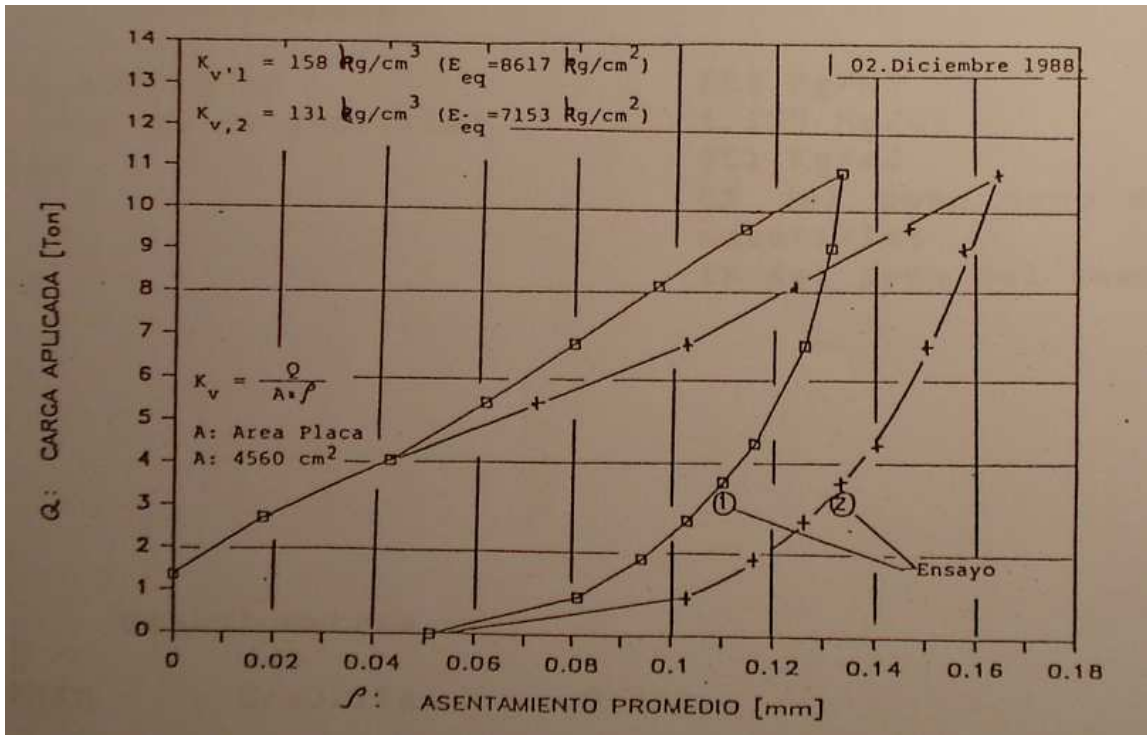
Base Hormigón Compactado con Rodillo (HCR)

- Fecha de construcción: 4 de Diciembre 1988
- Longitud: 100 metros
- Ancho: 4 metros
- Base estabilizada: 15 cm
- Espesor H.C.R.: 22 cm
- Mecánica de suelos correspondiente a la subrasante y material de base granular en pavimento HCR.

Tabla A.1: Estratigrafía y material base granular

| Muestra N° | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | Base Granular |
|------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|---------------|
| Horizonte | | | | | | | | |
| Cota (m) | | 0,2 | 0,4 | 0,53 | 0,6 | 0,21 | 0,44 | |
| Granulometría (% en peso que pasa) | | | | | | | | |
| Tamaño | 3" | | | | | | | |
| | 2 1/2" | | | | | | | |
| | 2" | | | | | | | |
| | 1 1/2" | | | | 100 | 100 | | 100 |
| | 1" | 100 | | | 97,9 | 98,7 | | 84,2 |
| | 3/4" | 99,4 | | 100 | | | 100 | 69,9 |
| | 3/8" | 98,7 | 100 | 97,9 | 91,5 | 98,2 | 97 | 51,5 |
| Malla ASTM N° | 4 | 97,4 | 99,6 | 97,7 | 87,6 | 97,9 | 92,6 | 41,5 |
| | 10 | 96,9 | 99 | 96 | 82,1 | 96,4 | 87,8 | 34,6 |
| | 20 | 95,1 | 97,5 | 93,2 | 76,3 | 94,6 | 82,1 | 28,6 |
| | 40 | 92,2 | 94,9 | 90,2 | 72,8 | 92,1 | 78,9 | 20,3 |
| | 60 | 89,7 | 92,5 | 87,7 | 70,2 | 89,3 | 76,5 | 14,2 |
| | 200 | 78,7 | 82,7 | 76,9 | 61,6 | 75,8 | 67,4 | 9 |
| | | | | | | | | |
| Lilite líquido | (%) | 32 | 42 | 41 | 39 | 27 | 49 | 18 |
| Límite plástico | (%) | 17 | 18 | 18 | 21 | 18 | 21 | - |
| Índice de Plasticidad | (%) | 15 | 25 | 21 | 18 | 9 | 28 | NP |
| | | | | | | | | |
| Clasificación AASTHO | | A-6 | A-7 | A-7 | A-6 | A-4 | A-7 | A-1-a |
| Clasificación USCS | | CL | CL | CL | CL | CL | CL | GP-GM |

Ensayo Placa de carga



- Composición del hormigón HCR:

| Dosificación | |
|-------------------------|------------------------------------|
| Cemento Corriente | 260 kg/m ³ |
| Arena (con 9% gravilla) | 1159 kg/m ³ |
| Gravilla | 951 kg/m ³ |
| Agua | 6% del peso seco de los materiales |
| Aditivo | 1% del peso del cemento |

| Granulometría | | |
|---------------|----------|-------|
| ASTM | Gravilla | Arena |
| 1 1/2" | | |
| 1" | 100 | |
| 3/4" | 99 | |
| 1/2" | 66 | |
| 3/8" | 32 | 100 |
| Nº4 | 2 | 88 |
| 8 | | 76 |
| 16 | | 52 |
| 30 | | 21 |
| 50 | | 8 |
| 100 | | 2 |

- Producción del hormigón: Planta dosificadora y mezcladora.
- Transporte: Camiones tolva.
- Distribución y colocación: distribuido en una sola capa con motoniveladora.
- Curado: membrana química.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



SISTEMA NACIONAL
DE ACREDITACIÓN
INN - CHILE
Acreditación LE 304

Idiem
UN SIGLO DE CONFIANZA Y RESPALDO

Inscripción MINVU
Res. Ex. N° 6414
del 17 de Septiembre de 2008

INFORME N°530.220

INFORME DE ENSAYO N° 530.220

| | | | |
|---|--|-------------------------------|-----|
| FECHA DE EMISIÓN | 19 de Noviembre del 2008 | CONTROL N° | 1 |
| EMITIDO/ELABORADO POR | Sección Laboratorio de Geotecnia / Alejandra Sápchez | | |
| REFERENCIA | Toma de muestras y ensayos físico-mecánicos de suelos. | | |
| SOLICITANTE | SECCION PAVIMENTACION IDIEM | | |
| DESTINATARIO | Sr. Juan Carlos Verdugo | | |
| OBRA | Pistas de Prueba Cerrillos / Salomón Sack 840, Santiago. | | |
| METODOLOGÍA | | | |
| NCh 164. Eof.1976 Áridos para morteros y hormigones - Extracción y preparación de muestras | | | |
| MOP, Dirección de Vialidad, Manual de Carreteras (LNV 105). Determinación de la granulometría de suelos. | | | |
| NCh 1515. Of.1979 Mecánica de suelos - Determinación de la humedad. | | | |
| NCh 1532. Of.1980 Mecánica de suelos - Determinación de la densidad de partículas sólidas. | | | |
| NCh 1517/1. Of.1979 Mecánica de suelos - Límites de consistencia Parte 1: Determinación del límite líquido. (Método mecánico con acanalador ASTM). | | | |
| NCh 1517/2. Of.1979 Mecánica de suelos - Límites de consistencia Parte 2: Determinación del límite plástico. | | | |
| ASTM D 2487-06. Standard Classification of soils for engineering purposes (USCS).* | | | |
| NCh 1534/2. Of.1979 Mecánica de suelos - Relaciones humedad/Densidad Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 460 mm de caída. Próctor modificado | | | |
| ASTM D 4254-00. Minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density. | | | |
| ASTM D 4253-00. Maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table. | | | |
| NCh 1852. Of.1981 Mecánica de suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio. | | | |
| NCh 1369. Of.1978 Áridos - Determinación del desgaste de las gravas - Método de la máquina de Los Angeles.* | | | |
| MOP, Dirección de Vialidad, Manual de Carreteras (LNV 3) Determinación de la cubicidad de partículas.* | | | |
| (*): Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 304 | | | |
| N° BOLETA | 34713 | N° DE OT DE LA MUESTRA | 318 |
| FECHA DE MUESTREO Y/O RECEPCIÓN | 05 de Septiembre del 2008 (Inspector: César Coliqueo) | | |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA 1 | Material Existente | | |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA 2 | Material Base | | |

| ENSAYOS | | MUESTRA 1 | MUESTRA 2 | MUESTRA 3 |
|-----------------------------|------|--------------------------------|-----------|-----------|
| GRANULOMETRÍA | | | | |
| Fecha inicio | | 30-Sep-08 | 26-Sep-08 | - |
| Fecha término | | 30-Sep-08 | 26-Sep-08 | - |
| Sobretamaño (%) | | - | - | - |
| Tamaño máximo (mm) | | 40 | 40 | - |
| ASTM (mm) | | PORCENTAJE QUE PASA (%) | | |
| 2 " | 50 | 100 | 100 | - |
| 1 1/2 " | 40 | 95 | 99 | - |
| 1 " | 25 | 94 | 89 | - |
| 3/4 " | 20 | 92 | 79 | - |
| 3/8 " | 10 | 88 | 66 | - |
| N°4 | 5 | 78 | 51 | - |
| N°10 | 2 | 74 | 45 | - |
| N°20 | 0,84 | 66 | 35 | - |
| N°40 | 0,5 | 60 | 27 | - |
| N°60 | 0,25 | 54 | 21 | - |
| N°140 | 0,11 | 37 | 16 | - |
| N°200 | 0,08 | 32 | 15 | - |
| LIMITES DE ATTERBERG | | | | |
| Fecha inicio | | 23-Sep-08 | 22-Sep-08 | - |
| Fecha término | | 24-Sep-08 | 24-Sep-08 | - |
| Límite líquido (%) | | - | 22 | - |
| Acanalador | | ASTM | ASTM | - |
| Método | | Mecánico | Mecánico | - |
| Límite plástico (%) | | - | 16 | - |
| Índice de plasticidad | | NP | 6 | - |

Versión: 03 SLG-FOR-96

PLAZA ERCILLA 883 - Casilla 1420 - Santiago Fonos: (56-2) 9780646 - 9784798
Fax: (56-2) 9784797 e-mail: geotecnia@idiem.cl



Página 1 de 3

Arica
Calama
Antofagasta
Viña del Mar



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



SISTEMA NACIONAL
DE ACREDITACION
INN - CHILE
Acreditación LE 304

Idiem

UN SIGLO DE CONFIANZA Y RESPALDO

Inscripción MINVU
Res. Ex. Nº 6414
del 17 de Septiembre de 2008

INFORME Nº530.220

| PESO ESPECÍFICO | | | |
|--|----------------------|-------------------|-----------|
| Fecha inicio | | 22-Sep-08 | 22-Sep-08 |
| Fecha término | | 23-Sep-08 | 23-Sep-08 |
| Peso Específico | | 2,369 | 2,748 |
| CLASIFICACIÓN USCS | | | |
| | | SM | GC-GM |
| PROCTOR MODIFICADO | | | |
| Fecha inicio | | 01-Oct-08 | - |
| Fecha término | | 01-Oct-08 | - |
| Método | | C | - |
| Humedad óptima | (%) | 17,5 | - |
| Densidad máxima seca | (g/cm ³) | 1,568 | - |
| Material retenido en 20 mm | (%) | 7,7 | - |
| Reemplazo | (%) | - | - |
| DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA | | | |
| Fecha inicio | | - | 25-Sep-08 |
| Fecha término | | - | 26-Sep-08 |
| Tamaño Molde Utilizado | (cm ³) | - | 14230 |
| Método densidad mínima | | - | A |
| Densidad seca mínima | (g/cm ³) | - | 1,590 |
| Método densidad máxima | | - | 2B |
| Frecuencia Utilizada | (Hz) | - | 60 |
| Densidad seca máxima | (g/cm ³) | - | 2,356 |
| CBR | | | |
| Fecha inicio | | 02-Oct-08 | 26-Sep-08 |
| Fecha término | | 06-Oct-08 | 03-Oct-08 |
| Inmersión | | Sí | Sí |
| Número de Golpes | | 10 25 56 | - |
| Humedad antes de la compactación | (%) | 18,2 16,4 17,4 | 6,5 |
| Densidad seca antes de la inmersión | (g/cm ³) | 1,422 1,536 1,564 | 2,141 |
| Humedad después de la inmersión | (%) | 22,1 16,8 19,3 | 8,2 |
| Densidad seca después de la inmersión | (g/cm ³) | 1,421 1,539 1,567 | 2,147 |
| Humedad a 25 mm | (%) | 22,7 19,9 20,0 | 8,7 |
| Sobrecarga | (kg) | 5,140 5,048 5,097 | 5,109 |
| Hinchamiento | (%) | -0,22 -0,20 0,09 | -0,29 |
| Porcentaje de CBR al 95% de Densidad Seca para 0,1" de Penetración | (%) | 28 | - |
| Porcentaje de CBR al 95% de Densidad Seca para 0,2" de Penetración | (%) | 38 | - |
| Porcentaje de CBR al 80% de Densidad Relativa para 0,1" de Penetración | | - | 96 |
| Porcentaje de CBR al 80% de Densidad Relativa para 0,2" de Penetración | | - | 97 |

Versión: 03 SLG-FOR-96

PLAZA ERCILLA 883 - Casilla 1420 - Santiago Fonos: (56-2) 9780646 - 9784798
Fax: (56-2) 9784797 e-mail: geotecnia@idiem.cl



Página 2 de 3



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



SISTEMA NACIONAL
DE ACREDITACION
INN - CHILE
Acreditación LE 304

Idiem

UN SIGLO DE CONFIANZA Y RESPALDO

Inscripción MINVU
Res. Ex. N° 6414
del 17 de Septiembre de 2008

INFORME N°530.220

| DESGASTE DE LOS ANGELES | | | |
|-------------------------|---|-----------|---|
| Fecha inicio | - | 30-Sep-08 | - |
| Fecha término | - | 01-Oct-08 | - |
| Grado | - | 4 | - |
| Pérdida (%) | - | 18,87 | - |
| CUBICIDAD DE PARTÍCULAS | | | |
| Fecha inicio | - | 30-Sep-08 | - |
| Fecha término | - | 30-Sep-08 | - |
| Chancado Total (%) | - | 71,1 | - |
| Rodadura Total (%) | - | 28,9 | - |
| Laja Total (%) | - | 1,3 | - |

Observaciones: CBR Muestra 2 Determinado al 80% Densidad Relativa de Acuerdo a Especificaciones Técnicas del SERVIU Metropolitano.

Alejandra Sánchez T.
Alejandra Sánchez T.
Jefe Sección Laboratorio



Iván Bejarano B.
Iván Bejarano B.
Jefe Area Geotecnia y Pavimentación



Inscripción MINVU
Res. Ex. N° 6414
del 17 de Septiembre de 2008

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



SISTEMA NACIONAL
DE ACREDITACIÓN

Acreditación LE 523



UN SIGLO DE CONFIANZA Y RESPALDO

INFORME N° 530.220-1

INFORME DE ENSAYO N° 530.220-1

| | | | |
|------------------------------|---|-------------------|---------------|
| FECHA DE EMISIÓN | 19 de Diciembre de 2008 | CONTROL N° | 2 |
| EMITIDO/ELABORADO POR | Sección Pavimentación / César Coliqueo C. | | |
| REFERENCIA | Densidad in situ con densímetro nuclear | | |
| SOLICITANTE | SECCION PAVIMENTACION IDIEM | | |
| DESTINATARIO | Sr. Juan Carlos Verdugo | | |
| OBRA | Pistas de Prueba Cerrillos / Salomón Sack 840, Santiago | | |
| METODOLOGÍA | ASTM D 6938-08a. Standard test methods for density of soil and soil aggregate in place by nuclear methods (Shallow Depth) | | |
| N° BOLETA | 65665 | OPERADOR: | Mauricio Meza |
| FECHA DE MUESTREO | 11 de Agosto de 2008 | EQUIPO: | TROXLER 3430 |

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL

| | |
|-----|---------------|
| D1 | Base, PK 0003 |
| D2 | Base, PK 0015 |
| D3 | --- |
| D4 | --- |
| D5 | --- |
| D6 | --- |
| D7 | --- |
| D8 | --- |
| D9 | --- |
| D10 | --- |

ANÁLISIS DE SUELOS

| MUESTRA | INFORME | DENSIDAD MIN (g/cm ³) | DENSIDAD MAX (g/cm ³) | DESCRIPCIÓN |
|---------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| M1 | 530.220 | 1,590 | 2,356 | Material Base |

DENSIDAD RELATIVA

| | Espesor Medición (cm) | Densidad Húmeda (g/cm ³) | Humedad (%) | Densidad Seca (g/cm ³) | Densidad | | DENSIDAD RELATIVA (%) |
|----------------------------|-----------------------------|--|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| | | | | | Mínima (g/cm ³) | Máxima (g/cm ³) | |
| D1 | 20 | 2,353 | 5,8 | 2,224 | 1,590 | 2,356 | 87,7 |
| D2 | 20 | 2,242 | 7,8 | 2,080 | 1,590 | 2,356 | 72,5 |
| D3 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| D4 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| D5 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| D6 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| D7 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| D8 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| D9 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| D10 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DENSÍMETRO N° SERIE | | 35490 | CONTEO DENSIDAD | 2388 | CONTEO HUMEDAD | | 642 |

César Coliqueo Catalán
Coordinador Unidad de Suelos



Cristián Díaz Montecino
Jefe Sección Pavimentación

NVV

Arica
Catama
Antofagasta
Viña del Mar

ANEXO B: RIEGOS DE LIGA E IMPRIMACIÓN

FORMULARIO DE REGISTRO PARA EL CONTROL DE DOSIS DE IMPRIMACION O DOSIS DE RIEGO DE LIGA

| INFORMACION GENERAL | | | |
|---|--------------|--------------|---------------|
| Fecha del Control: 17-9-2008 | | | |
| Laboratista: Aldo Figueroa | | | |
| Tipo de Control: Control dosis de riego de liga | | | |
| Obra: Proyecto Cerrillos Pista de prueba sobre hormigón rodillado | | | |
| Descripción: riego de liga sobre HCR | | | |
| Hora de entrada: 9:30 | | | salida: 10:00 |
| INFORMACION DEL CONTROL | | | |
| Ubicación Bandeja N° 1: 15 metros | | | |
| Ubicación Bandeja N° 8: 30 metros | | | |
| Ubicación Bandeja N° 3: 45 metros | | | |
| Tipo de Emulsión o Ligante: CSS- 1H Dilución 1:2 | | | |
| Bandeja N° | 1 | 8 | 3 |
| Masa de Bandeja MB (KG) | 0,682 | 0,684 | 0,685 |
| Área Bandeja AB (m2) | 0,0625 | 0,0625 | 0,0625 |
| Masa de Bandeja mas Riego MR (Kg) | 0,710 | 0,710 | 0,711 |
| Diferencia (Kg) | 0,028 | 0,026 | 0,026 |
| Dosis Aplicada (kg/m2) | 0,448 | 0,416 | 0,416 |
| Dosis Aplicada (Lt/m2) | 0,462 | 0,429 | 0,429 |

Residuo asfáltico útil: 100 g/m² aproximadamente.

**FORMULARIO DE REGISTRO PARA EL CONTROL
DE DOSIS DE IMPRIMACION O DOSIS DE RIEGO DE LIGA**

| INFORMACION GENERAL | | | |
|---|-------------|--------------|---------------|
| Fecha del Control: 12-9-2008 | | | |
| Laboratista: Aldo Figueroa | | | |
| Tipo de Control: Control dosis de imprimación | | | |
| Obra: Proyecto Cerrillo Pista de prueba sobre base granular | | | |
| Descripción: Riego de imprimación sobre base granular | | | |
| Hora de entrada: 16:00 | | | Salida: 16:20 |
| INFORMACION DEL CONTROL | | | |
| Ubicación Bandeja N° 1: 4 metros | | | |
| Ubicación Bandeja N° 8: 8 metros | | | |
| Ubicación Bandeja N° 3: 12 metros | | | |
| Tipo de Emulsión o Ligante: Imprimante | | | |
| Bandeja N° | 1 | 8 | 3 |
| Masa de Bandeja MB (Kg) | 0,68 | 0,685 | 0,686 |
| Área Bandeja AB (m2) | 0,0625 | 0,0625 | 0,0625 |
| Masa de Bandeja mas Riego MR (Kg) | 0,760 | 0,774 | 0,777 |
| Diferencia (Kg) | 0,080 | 0,089 | 0,091 |
| Dosis Aplicada (kg/m2) | 1,28 | 1,424 | 1,456 |

INFORME DE ENSAYO N° INT.2008/907

| | |
|-------------------------|---|
| FECHA DE EMISION | 30 de Octubre de 2008 |
| EMITIDO / ELABORADO POR | Sección Pavimentación / Juan Carlos Verdugo |
| REFERENCIA | Ensayo Físico/Químico. Emulsiones asfálticas de quiebre lento. CSS-1h |
| SOLICITANTE | SECCION PAVIMENTACION |
| DESTINATARIO | Sr. Juan Carlos Verdugo |
| CLIENTE | SECCION PAVIMENTACION |
| OBRA | Proyecto Cerrillos |
| DIRECCION OBRA | Av. Salomón Sack N° 840, Cerrillos |

| | |
|--------------------|--|
| METODOLOGIA | |
| NCh 2331. Of 1998. | Asfaltos - Vocabulario |
| NCh 2440. Of 1998. | Asfaltos para pavimentos - Clasificación y requisitos. |
| NCh 2332. Of 1998. | Asfaltos - Muestreo. |
| NCh 2334. Of 1998. | Asfaltos - Determinación de la viscosidad Saybolt. |
| NCh 2340. Of 1999. | Asfaltos - Ensayo de penetración. |
| NCh 2342. Of 1999. | Asfaltos - Ensayo de ductilidad. |
| NCh 2341. Of 1999. | Asfaltos - Determinación de la solubilidad en solventes orgánicos. |
| NCh 2343. Of 1999. | Asfaltos - Ensayo de la mancha. |
| NCh 2348. Of 1998. | Emulsiones asfálticas - Métodos de ensayo. |

| | | | |
|------------------------|-----------------|------------------------|----------------------------|
| MUESTREADO POR | Personal Idiem | FECHA DE MUESTREO | 7 de Octubre de 2008 |
| N° DE BOLETA | 2 | FECHA DE RECEPCION | 7 de Octubre de 2008 |
| PLANTA DE PROCEDENCIA | Petresos Quilín | | |
| N° DE PARTIDA | — | N° DE GUIA DE DESPACHO | — |
| N° DE OT DE LA MUESTRA | 907 | FECHA DE ENSAYO | 15 a 23 de Octubre de 2008 |

| ENSAYOS | UNIDAD | RESULTADOS | REQUISITO |
|---------------------------------------|---------|-------------------|--------------------|
| VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL A 25 °C | sFu | 34 ⁽¹⁾ | Min. 20 - Máx. 100 |
| ESTABILIDAD EN ALMACENAMIENTO, 1 DIA. | % | — | Máx. 1 |
| CARGA DE PARTICULA | - | — | Positiva |
| TAMIZADO | % | — | Máx. 0,10 |
| MEZCLA CON CEMENTO | % | — | Máx. 2,0 |
| DESTILACION | | | |
| RESIDUO POR DESTILACION | % | 22 ⁽²⁾ | Min. 57 |
| ENSAYES EN EL RESIDUO | | | |
| PENETRACION (25 °C, 100g, 5s) | 0,1mm | 76 | Min. 40 - Máx. 90 |
| DUCTILIDAD (25 °C, 5 cm/min) | cm | — | Min. 40 |
| SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO | % | — | Min. 97,5 |
| MANCHA HEPTANO - XILOL | % xilol | — | 25% Máx. de xilol |

Nota N° 1: Producto se encuentra diluido con agua, por este motivo se mide con orificio universal.

Nota N° 2: Producto no cumple con requisito de Residuo por Destilación, por estar diluido con agua.



Juan Carlos Verdugo
Laboratorio de Ligantes





Cristian Diaz Montecino
Jefe Sección Pavimentación

NOTA: Documento firmado digitalmente, conforme a Ley N° 19.799

JCF

INFORME DE ENSAYO N° INT.2008/907-1

| FECHA DE EMISION | 30 de Octubre de 2008 | | |
|--------------------------------------|--|------------------------|-----------------------|
| EMITIDO / ELABORADO POR | Sección Pavimentación / Juan Carlos Verdugo | | |
| REFERENCIA | Ensayo Físico/Químico. Emulsiones asfálticas de quiebre lento. CSS-1h | | |
| SOLICITANTE | SECCION PAVIMENTACION | | |
| DESTINATARIO | Sr. Juan Carlos Verdugo | | |
| CLIENTE | SECCION PAVIMENTACION | | |
| OBRA | Proyecto Cerrillos | | |
| DIRECCION OBRA | Av. Salomón Sack N° 840, Cerrillos | | |
| METODOLOGIA | <p>NCh 2331. Of 1998. Asfaltos - Vocabulario</p> <p>NCh 2440. Of 1998. Asfaltos para pavimentos - Clasificación y requisitos.</p> <p>NCh 2332. Of 1998. Asfaltos - Muestras.</p> <p>NCh 2334. Of 1998. Asfaltos - Determinación de la viscosidad Saybolt.</p> <p>NCh 2340. Of 1999. Asfaltos - Ensayo de penetración.</p> <p>NCh 2342. Of 1999. Asfaltos - Ensayo de ductilidad.</p> <p>NCh 2341. Of 1999. Asfaltos - Determinación de la solubilidad en solventes orgánicos.</p> <p>NCh 2343. Of 1999. Asfaltos - Ensayo de la mancha.</p> <p>NCh 2348. Of 1998. Emulsiones asfálticas - Métodos de ensayo.</p> | | |
| MUESTREADO POR | Personal Idiem | FECHA DE MUESTREO | 7 de Octubre de 2008 |
| N° DE BOLETA | 3 | FECHA DE RECEPCION | 7 de Octubre de 2008 |
| PLANTA DE PROCEDENCIA | Petresos Quilín | N° DE GUIA DE DESPACHO | — |
| N° DE PARTIDA | — | FECHA DE ENSAYO | 23 de Octubre de 2008 |
| N° DE OT DE LA MUESTRA | 907 | | |
| ENSAYOS | UNIDAD | RESULTADOS | REQUISITO |
| VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL A 25 °C | sFu | 31 ⁽¹⁾ | Min. 20 - Máx. 100 |
| ESTABILIDAD EN ALMACENAMIENTO, 1 DIA | % | — | Máx. 1 |
| CARGA DE PARTICULA | - | — | Positiva |
| TAMIZADO | % | — | Máx. 0,10 |
| MEZCLA CON CEMENTO | % | — | Máx. 2,0 |
| EVAPORACION | | | |
| RESIDUO POR EVAPORACION | % | 21 ⁽²⁾ | Min. 57 |
| ENSAYES EN EL RESIDUO | | | |
| PENETRACION (25 °C, 100g, 5s) | 0,1mm | 77 | Min. 40 - Máx. 90 |
| DUCTILIDAD (25 °C, 5 cm/min) | cm | — | Min. 40 |
| SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO | % | — | Min. 97,5 |
| MANCHA HEPTANO - XILOL | % xilol | — | 20% Máx. de xilol |

Nota N° 1: Producto se encuentra diluido con agua, por este motivo se mide con orificio universal.

Nota N° 2: Producto no cumple con requisito de Residuo por Evaporación, por estar diluido con agua.



Juan Carlos Verdugo
Laboratorio de Ligantes




Cristián Díaz Montecino
Jefe Sección Pavimentación

NOTA: Documento firmado digitalmente, conforme a Ley N° 19.799

JCF

ANEXO C: MEZCLA ASFALTICA Y MUESTREOS

LACEM S.A.

Laboratorio Control y Ensayes de Materiales
Institución Oficial de Control Técnico, Resolución MINVU N° 1695 del 30 de Mayo del 2006.

| | |
|------------------|--------------|
| Informe N° | 75513 |
| Fecha de emisión | 01.02.08 |
| Página | 4 de 4 |

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

RESULTADOS

| IV.- PARAMETROS MARSHALL (75 golpes) | | | | | | exigencias |
|--|----------|--------------------|------------------|--------|--------|----------------|
| C.A. 24 (% ref. ag.) | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | |
| Densidad (kg/m ³) | 2,307 | 2,320 | 2,323 | 2,318 | 2,312 | |
| Huecos en la mezcla | 6,4 | 5,2 | 4,5 | 4,1 | 3,7 | 3 - 5 |
| V.A.M (%) | 15,8 | 15,7 | 16,0 | 16,6 | 17,2 | mín. 13 |
| Huecos Llenos (%) | 59,3 | 66,6 | 72,0 | 75,5 | 78,6 | |
| Fluencia (0,01") | 9,8 | 11,9 | 12,5 | 13,8 | 15,3 | 8 - 14 |
| Estabilidad (N) | 10,944 | 12,607 | 12,975 | 12,481 | 11,792 | 9.000 - 14.000 |
| Relac. Estab/Fluencia (kg/cm) | 4,553 | 4,320 | 4,232 | 3,688 | 3,143 | 2.400 - 4.300 |
| Según L.N.V. - 46: | | | | | | |
| Optimo por estabilidad | : | 5,5 | | | | |
| Optimo por densidad | : | 5,5 | | | | |
| Optimo para 4,5% de huecos | : | 5,5 | | | | |
| Optimo a usar | : | 5,5 +/- 0,3 | | | | |
| V.- MEZCLA DE TRABAJO | | | | | | |
| Granulometría (% en peso que pasa) | | | Banda de Trabajo | | | |
| tamiz de 25 mm (1") | | | 100 | | | |
| tamiz de 20 mm (3/4") | | | 95 | 100 | | |
| tamiz de 12.5 mm (1/2") | | | 88 | 98 | | |
| tamiz de 10 mm (3/8") | | | 75 | 85 | | |
| tamiz de 5 mm (N° 4) | | | 55 | 65 | | |
| tamiz de 2.5 mm (N° 8) | | | 34 | 42 | | |
| tamiz de 1.25 mm (N° 16) | | | 24 | 32 | | |
| tamiz de 0.63 mm (N° 30) | | | 16 | 22 | | |
| tamiz de 0.315 mm (N° 50) | | | 10 | 16 | | |
| tamiz de 0.16 mm (N° 100) | | | 7 | 11 | | |
| tamiz de 0.08 mm (N° 200) | | | 5 | 9 | | |
| Optimo C.A. 24 (% ref. ag.) | | | 5,5 +/- 0,3 | | | |
| Densidad Marshall (kg/m ³) | | | 2,323 | | | |
| Temp. de mezclado (°C) | | | 165 | | | |
| Temp. de compactación inicial (°C) | | | 145 | | | |

OBSERVACIONES:

La dosificación de los áridos para efectos de la alimentación en frío debe variar de acuerdo a la dispersión de las granulometrias

LACEM S.A.
Laboratorio Control y
Ensayes de Materiales

CRISTIAN ALARCON BRAVO
Ingeniero Civil U.C.
Jefe de Area Asfaltos

EXTRACCIONES ASFÁLTICAS Y GRANULOMETRÍAS

FORMULARIO DE REGISTRO PARA LA EXTRACCION ASFALTICA

| INFORMACION GENERAL | |
|---------------------|---------------------|
| Fecha de ensayo: | 28-10-2008 |
| Laboratista: | Aldo Figueroa Reyes |

| IDENTIFICACION DE LA MUESTRA | |
|------------------------------|------------------------|
| Tipo de muestra: | Mezcla asfaltica IV-20 |
| Nº muestra: | 1ª capa sobre HCR |
| Muestrado por: | Aldo Figueroa Reyes |

| INFORMACION DEL ENSAYO | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|--------|
| Tamaño maximo nominal | TMn | 20 | (mm) |
| Masa inicial (Muestra c/asfalto) | M1 | 1516,34 | (g) |
| Masa material petreo sin asfalto | M2 | 1438,24 | (g) |
| Masa final filtro | Mff | 16,69 | (g) |
| Masa inicial filtro | Mfi | 15,48 | (g) |
| Masa fino retenido | M4 =Mff-Mfi | 1,21 | (g) |
| Temperatura calcinacion | Tc | | (°C) |
| Masa crisol con cenizas | Mcf | 62,16 | (g) |
| Masa crisol | Mci | 62,13 | (g) |
| Contenido de cenizas en el crisol | C= Mcf-Mci | 0,03 | (g) |
| Solvente recuperado | V1 | 7188 | (ml) |
| Volumen alicutoa | V2 | 100 | (ml) |
| Masa total de cenizas | M3= CxV1/V2 | 2,16 | (g) |
| | A= | | |
| Total petreos | M2+M3+M4 | 1441,61 | (g) |
| Total asfalto | B= M1-A | 74,73 | (g) |
| % Asfalto referido al agregado | 100 B/A | 5,2 | (g) |

**FORMULARIO DE REGISTRO
PARA LA EXTRACCION ASFALTICA**

| INFORMACION GENERAL | |
|---------------------|---------------------|
| Fecha de ensayo: | 11-11-2008 |
| Laboratista: | Aldo Figueroa Reyes |

| IDENTIFICACION DE LA MUESTRA | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Tipo de muestra: | Mezcla asfaltica IV-20 |
| Nº muestra: | 1ª Capa sobre base granular |
| Muestrado por: | Aldo Figueroa Reyes |

| INFORMACION DEL ENSAYO | | |
|-----------------------------------|----------------|-------------|
| Tamaño maximo nominal | TMn | 20 (mm) |
| Masa inicial (Muestra c/asfalto) | M1 | 2233,07 (g) |
| Masa material petreo sin asfalto | M2 | 2111,65 (g) |
| Masa final filtro | Mff | 16,73 (g) |
| Masa inicial filtro | Mfi | 16,09 (g) |
| Masa fino retenido | M4 =Mff-Mfi | 0,64 (g) |
| Temperatura calcinación | Tc | (°C) |
| Masa crisol con cenizas | Mcf | 62,58 (g) |
| Masa crisol | Mci | 62,51 (g) |
| Contenido de cenizas en el crisol | C= Mcf-Mci | 0,07 (g) |
| Solvente recuperado | V1 | 8500 (ml) |
| Volumen alícuota | V2 | 100 (ml) |
| Masa total de cenizas | M3= CxV1/V2 | 5,95 (g) |
| Total petreos | A= M2+M3+M4 | 2118,24 (g) |
| Total asfalto | B= M1-A | 114,83 (g) |
| % Asfalto referido al agregado | 100 B/A | 5,42 (g) |

**FORMULARIO DE REGISTRO
PARA LA EXTRACCION ASFALTICA**

| INFORMACION GENERAL | |
|---------------------|--------------------|
| Fecha de ensayo: | 05-11-2008 |
| Laboratista: | Cristian Aravena C |

| IDENTIFICACION DE LA MUESTRA | |
|------------------------------|------------------------|
| Tipo de muestra: | Mezcla asfaltica IV-20 |
| Nº muestra: | 2ª capa sobre HCR |
| Muestrado por: | Aldo Figueroa Reyes |

| INFORMACION DEL ENSAYO | | |
|-----------------------------------|-------------|-------------|
| Tamaño maximo nominal | TMn | 20 (mm) |
| Masa inicial (Muestra c/asfalto) | M1 | 1986,45 (g) |
| Masa material petreo sin asfalto | M2 | 1861,41 (g) |
| Masa final filtro | Mff | 14,27 (g) |
| Masa inicial filtro | Mfi | 13,7 (g) |
| Masa fino retenido | M4 =Mff-Mfi | 0,57 (g) |
| Temperatura calcinación | Tc | (°C) |
| Masa crisol con cenizas | Mcf | 53,58 (g) |
| Masa crisol | Mci | 53,32 (g) |
| Contenido de cenizas en el crisol | C= Mcf-Mci | 0,26 (g) |
| Solvente recuperado | V1 | 9361 (ml) |
| Volumen alícuota | V2 | 100 (ml) |
| Masa total de cenizas | M3= CxV1/V2 | 24,34 (g) |
| Total petreos | A= M2+M3+M4 | 1886,32 (g) |
| Total asfalto | B= M1-A | 100,13 (g) |
| % Asfalto referido al agregado | 100 B/A | 5,31 (g) |

**FORMULARIOS DE REGISTRO PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO
PARA AGREGADOS PROVENIENTES DE EXTRACCION**

| INFORMACION GENERAL | |
|---------------------|-----------------------------|
| Fecha de ensayo: | 28-10-2008 |
| Laboratorista: | Aldo Figueroa Reyes |
| Nº Muestra: | 1ª capa asfáltica sobre HCR |
| Tipo de Muestra: | Mezcla Asfáltica IV-A-12 |

| GRANULOMETRIA | | | | | |
|---------------------------|---------|-----------|--------|-----------------------|---------|
| MASA SECA TOTAL PETREOS | | M1 = | 1439,2 | (g) | |
| MASA SECA LAVADOS PETREOS | | M2 = | 1368,6 | (g) | |
| TAMIZ | | RETENIDOS | | INFORME GRANULOMETRIA | |
| (mm) | | Peso (g) | % (*) | TAMIZ | |
| | | | | % PASA (*) | |
| 25 | (1") | | | 25 | (1") |
| 20 | (3/4") | | | 20 | (3/4") |
| 12,5 | (1/2") | 205,8 | 14,30 | 12,5 | (1/2") |
| 10 | (3/8") | 126,8 | 8,81 | 10 | (3/8") |
| 6,3 | (1/4") | 263,6 | 18,32 | 6,3 | (1/4") |
| 5 | (Nº4) | 123,6 | 8,59 | 5 | (Nº4) |
| 2,5 | (Nº8) | 210,8 | 14,65 | 2,5 | (Nº8) |
| 2 | (Nº10) | 39,1 | 2,72 | 2 | (Nº10) |
| 1,8 | (Nº16) | 100,0 | 6,95 | 1,8 | (Nº16) |
| 0,63 | (Nº30) | 94,8 | 6,59 | 0,63 | (Nº30) |
| 0,315 | (Nº50) | 76,5 | 5,32 | 0,315 | (Nº50) |
| 0,16 | (Nº100) | 71,8 | 4,99 | 0,16 | (Nº100) |
| 0,08 | (Nº200) | 37,6 | 2,61 | 0,08 | (Nº200) |
| Residuo Parcial | | 16,0 | 1,11 | | |

(*) Los porcentajes están referidos a la masa total de la muestra seca (M1)

| | | |
|--|--------|---------|
| M2* = sumatoria(peso retenido) + residuo parcial = | 1366,4 | (g) |
| $((M2-M2^*)/M2)*100$ (%) = | 0,16 | < 0,2 % |
| Residuo Total = M1 + Residuo Parcial - M2 | 86,6 | (g) |
| % Total Pasa Malla Nº 200 = (Residuo total/M1)*100 | 6,02 | (g) |

**FORMULARIOS DE REGISTRO PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO
PARA AGREGADOS PROVENIENTES DE EXTRACCION**

| INFORMACION GENERAL | |
|---------------------|-----------------------------|
| Fecha de esnayo: | 12-11-2008 |
| Laboratorista: | Aldo Figueroa Reyes |
| Nº Muestra: | 1ª capa sobre base granular |
| Tipo de Muestra: | Mezcla Asfáltica IV-A-12 |

| GRANULOMETRIA | | | | | |
|---------------------------|---------|-----------|--------|-----------------------|------------|
| MASA SECA TOTAL PETREOS | | M1 = | 2091,8 | (g) | |
| MASA SECA LAVADOS PETREOS | | M2 = | 1959,6 | (g) | |
| TAMIZ | | RETENIDOS | | INFORME GRANULOMETRIA | |
| (mm) | | Peso (g) | % (*) | TAMIZ | % PASA (*) |
| 25 | (1") | | | 25 (1") | |
| 20 | (3/4") | | | 20 (3/4") | 100 |
| 12,5 | (1/2") | 202,6 | 9,69 | 12,5 (1/2") | 90 |
| 10 | (3/8") | 120,7 | 5,77 | 10 (3/8") | 85 |
| 6,3 | (1/4") | 353,1 | 16,88 | 6,3 (1/4") | 68 |
| 5 | (Nº4) | 231,2 | 11,05 | 5 (Nº4) | 57 |
| 2,5 | (Nº8) | 387,1 | 18,51 | 2,5 (Nº8) | 38 |
| 2 | (Nº10) | 68,9 | 3,29 | 2 (Nº10) | 35 |
| 1,8 | (Nº16) | 163,0 | 7,79 | 1,8 (Nº16) | 27 |
| 0,63 | (Nº30) | 157,0 | 7,51 | 0,63 (Nº30) | 20 |
| 0,315 | (Nº50) | 115,3 | 5,51 | 0,315 (Nº50) | 14 |
| 0,16 | (Nº100) | 96,1 | 4,59 | 0,16 (Nº100) | 9 |
| 0,08 | (Nº200) | 54,1 | 2,59 | 0,08 (Nº200) | 7 |
| Residuo Parcial | | 7,0 | 0,33 | | |

(*) Los porcentajes estan referidos a la masa total de la muestra seca (M1)

| | | |
|--|--------|---------|
| M2* = sumatoria(peso retenido) + residuo parcial = | 1956,1 | (g) |
| $((M2-M2^*)/M2)*100$ (%) = | 0,18 | < 0,2 % |
| Residuo Total = M1 + Residuo Parcial - M2 | 139,2 | (g) |
| % Total Pasa Malla Nº 200 = (Residuo total/M1)*100 | 6,65 | (g) |

**FORMULARIOS DE REGISTRO PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO
PARA AGREGADOS PROVENIENTES DE EXTRACCION**

| INFORMACION GENERAL | |
|---------------------|------------------------|
| Fecha de esnayo: | 12-11-2008 |
| Laboratorista: | Cristian Aravena C |
| Nº Muestra: | 2ª capa sobre HCR |
| Tipo de Muestra: | Mezcla Asfaltica IV-20 |

| GRANULOMETRIA | | | | | |
|---------------------------|---------|-----------|---------|-----------------------|------------|
| MASA SECA TOTAL PETREOS | | M1 = | 1886,32 | (g) | |
| MASA SECA LAVADOS PETREOS | | M2 = | 1758,65 | (g) | |
| TAMIZ | | RETENIDOS | | INFORME GRANULOMETRIA | |
| (mm) | | Peso (g) | % (*) | TAMIZ | % PASA (*) |
| 25 | (1") | | | 25 (1") | |
| 20 | (3/4") | | | 20 (3/4") | 100 |
| 12,5 | (1/2") | 196,1 | 10,40 | 12,5 (1/2") | 90 |
| 10 | (3/8") | 84,2 | 4,46 | 10 (3/8") | 85 |
| 6,3 | (1/4") | 248,8 | 13,19 | 6,3 (1/4") | 72 |
| 5 | (Nº4) | 255,4 | 13,54 | 5 (Nº4) | 58 |
| 2,5 | (Nº8) | 345,6 | 18,32 | 2,5 (Nº8) | 40 |
| 2 | (Nº10) | 68,9 | 3,65 | 2 (Nº10) | 36 |
| 1,8 | (Nº16) | 124,3 | 6,59 | 1,8 (Nº16) | 30 |
| 0,63 | (Nº30) | 157,0 | 8,32 | 0,63 (Nº30) | 22 |
| 0,315 | (Nº50) | 115,3 | 6,11 | 0,315 (Nº50) | 15 |
| 0,16 | (Nº100) | 96,1 | 5,09 | 0,16 (Nº100) | 10 |
| 0,08 | (Nº200) | 59,1 | 3,13 | 0,08 (Nº200) | 7 |
| Residuo Parcial | | 5,0 | 0,27 | | |

(*) Los porcentajes estan referidos a la masa total de la muestra seca (M1)

| | | |
|--|--------|---------|
| M2* = sumatoria(peso retenido) + residuo parcial = | 1755,8 | (g) |
| $((M2-M2^*)/M2)*100$ (%) = | 0,16 | < 0,2 % |
| Residuo Total = M1 + Residuo Parcial - M2 | 132,7 | (g) |
| % Total Pasa Malla Nº 200 = (Residuo total/M1)*100 | 7,03 | (g) |

INSPECCIÓN DE TESTIGOS

| Identificación | Capa | Espesor 1 | Espesor 2 | Espesor 3 | Espesor 4 | Promedio |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Testigo | Asfáltica | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| T1 | 1ª capa | 94 | 93,8 | 94,1 | 93,9 | 94,0 |
| T2 | 1ª capa | 88,3 | 88,2 | 88 | 88,4 | 88,2 |
| T3 | 1ª capa | 81,6 | 81,6 | 82,2 | 82,3 | 81,9 |
| T4 | 1ª capa | 87,6 | 87,4 | 86,6 | 88 | 87,4 |
| T5 | 1ª capa | 81,2 | 80,2 | 79,9 | 80,4 | 80,4 |
| T6 | 1ª capa | 77,5 | 77,1 | 77,7 | 77,8 | 77,5 |
| T7 | 1ª capa | 50 | 49,9 | 49,8 | 50 | 49,9 |
| T8 | 1ª capa | 52,8 | 52,8 | 51,7 | 52,1 | 52,4 |
| T9 | 1ª capa | 51,1 | 50,4 | 50,6 | 50,5 | 50,7 |
| T10 | 1ª capa | 51,2 | 51,6 | 52,2 | 51,7 | 51,7 |
| T11 | 1ª capa | 40 | 40,7 | 40,8 | 40,8 | 40,6 |
| T12 | 1ª capa | 43,2 | 43,7 | 43,1 | 43,3 | 43,3 |
| T1A | 2ª capa | 73,5 | 73,6 | 74,5 | 74,1 | 73,9 |
| T2A | 2ª capa | 79,2 | 79 | 79,7 | 79,5 | 79,4 |
| T3A | 2ª capa | 65,3 | 65,6 | 67,1 | 66,5 | 66,1 |
| T4A | 2ª capa | 74 | 73,4 | 73,4 | 74,7 | 73,9 |
| T5A | 2ª capa | 65,3 | 65,6 | 67,1 | 66,5 | 66,1 |
| T6A | 2ª capa | 73 | 73,1 | 72,6 | 72,3 | 72,8 |
| T7A | 2ª capa | 69,9 | 70,2 | 69,2 | 68,1 | 69,4 |
| T8A | 2ª capa | 73,7 | 71,8 | 72,9 | 72,8 | 72,8 |
| T9A | 2ª capa | 69,9 | 70 | 70,8 | 69,6 | 70,1 |
| T10A | 2ª capa | 71 | 70,6 | 69,1 | 69,3 | 70,0 |
| T11A | 2ª capa | 73,4 | 73,9 | 74,4 | 73,6 | 73,8 |
| T12A | 2ª capa | 72,8 | 72,9 | 74,5 | 73,4 | 73,4 |

DENSIDAD DE MEZCLA BITUMINOSAS COMPACTADAS

| Método de Probetas con superficie saturada seca | | | | | |
|---|---|----------------------|--------|--------|--------|
| Identificación de la muestra | | | T2 | T4 | T5 |
| Masa de la probeta seca | A | [g] | 1537,5 | 1569,6 | 1437,9 |
| Masa de la probeta sumergida | C | [g] | 860,3 | 900,4 | 814,4 |
| Masa de la probeta en aire con superficie seca | B | [g] | 1550,8 | 1576,1 | 1443,6 |
| Temperatura del agua | T _w | [°C] | 24,9 | 24,7 | 24,8 |
| Densidad del agua | ρ_w | [g/cm ³] | 0,997 | 0,997 | 0,997 |
| Tiempo de inmersión | | [min] | 3 | 3 | 3 |
| Porcentaje de agua absorbida | $A_{ab} = \frac{100(B-A)}{B-C}$ | [%] | 1,9 | 1,0 | 0,9 |
| Densidad de la probeta | | [kg/m ³] | 2220,0 | 2316,0 | 2278,4 |
| | $G = \frac{1000 \cdot A \cdot \rho_w}{B-C}$ | | | | |

| Método de Probetas con superficie saturada seca | | | | | |
|---|---|----------------------|--------|--------|--------|
| Identificación de la muestra | | | T7 | T9 | T12 |
| Masa de la probeta seca | A | [g] | 866,4 | 871,8 | 733,5 |
| Masa de la probeta sumergida | C | [g] | 485,2 | 483,9 | 408,2 |
| Masa de la probeta en aire con superficie seca | B | [g] | 869,5 | 875 | 736,8 |
| Temperatura del agua | T _w | [°C] | 25,2 | 25,4 | 25,4 |
| Densidad del agua | ρ_w | [g/cm ³] | 0,997 | 0,997 | 0,997 |
| Tiempo de inmersión | | [min] | 3 | 3 | 3 |
| Porcentaje de agua absorbida | $A_{ab} = \frac{100(B-A)}{B-C}$ | [%] | 0,8 | 0,8 | 1,0 |
| Densidad de la probeta | | [kg/m ³] | 2247,7 | 2222,4 | 2225,5 |
| | $G = \frac{1000 \cdot A \cdot \rho_w}{B-C}$ | | | | |

| Identificación de la muestra | | | T2A | T4A | T5A |
|--|---|----------------------|--------|--------|--------|
| Masa de la probeta seca | A | [g] | 1320,6 | 1313,3 | 1281,6 |
| Masa de la probeta sumergida | C | [g] | 721,9 | 749,7 | 741,1 |
| Masa de la probeta en aire con superficie seca | B | [g] | 1326,6 | 1316,3 | 1287 |
| Temperatura del agua | T _w | [°C] | 24,8 | 25,2 | 24,8 |
| Densidad del agua | ρ _w | [g/cm ³] | 0,997 | 0,997 | 0,997 |
| Tiempo de inmersión | | [min] | 3 | 3 | 3 |
| Porcentaje de agua absorbida | $A_{ab} = \frac{100(B-A)}{B-C}$ | [%] | 1,0 | 0,5 | 1,0 |
| Densidad de la probeta | $G = \frac{1000 \cdot A \cdot \rho_w}{B-C}$ | [kg/m ³] | 2177,3 | 2310,9 | 2340,6 |

| Identificación de la muestra | | | T7A | T9A | T12A |
|--|---|----------------------|--------|--------|--------|
| Masa de la probeta seca | A | [g] | 1243,6 | 1245,1 | 1233,2 |
| Masa de la probeta sumergida | C | [g] | 718,5 | 712,6 | 696,3 |
| Masa de la probeta en aire con superficie seca | B | [g] | 1246,6 | 1249 | 1248,7 |
| Temperatura del agua | T _w | [°C] | 25,4 | 25,4 | 25,4 |
| Densidad del agua | ρ _w | [g/cm ³] | 0,997 | 0,997 | 0,997 |
| Tiempo de inmersión | | [min] | 3 | 3 | 3 |
| Porcentaje de agua absorbida | $A_{ab} = \frac{100(B-A)}{B-C}$ | [%] | 0,6 | 0,7 | 2,8 |
| Densidad de la probeta | $G = \frac{1000 \cdot A \cdot \rho_w}{B-C}$ | [kg/m ³] | 2347,8 | 2314,3 | 2225,7 |

ENSAYOS DE CORTE

| Testigo | | 3 |
|------------------|-------|------------------|
| Tipo Tratamiento | | Riego Limpio |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,17 |
| 10 | 180 | 0,34 |
| 20 | 250 | 0,52 |
| 30 | 400 | 0,73 |
| 40 | 510 | 0,92 |
| 50 | 620 | 1,1 |
| 60 | 680 | 1,33 |

| Testigo | | 4 |
|------------------|-------|------------------|
| Tipo Tratamiento | | Riego Limpio |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,11 |
| 10 | 130 | 0,34 |
| 20 | 300 | 0,6 |
| 30 | 440 | 0,84 |
| 40 | 550 | 1,06 |
| 50 | 650 | 1,3 |
| 60 | | |

| Testigo | | 5 |
|------------------|-------|------------------|
| Tipo Tratamiento | | Riego Sucio |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,16 |
| 10 | 110 | 0,38 |
| 20 | 200 | 0,63 |
| 30 | 270 | 0,86 |
| 40 | 380 | 1,07 |
| 50 | 530 | 1,35 |
| 60 | 620 | 1,58 |

| Testigo | | 6 |
|------------------|-------|------------------|
| Tipo Tratamiento | | Riego Sucio |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,08 |
| 10 | 70 | 0,46 |
| 20 | 480 | 0,88 |
| 30 | | |
| 40 | | |
| 50 | | |
| 60 | | |

| Testigo | | 7 |
|------------------|-------|------------------|
| Tipo Tratamiento | | Riego Sucio |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,05 |
| 10 | 320 | 0,31 |
| 20 | 380 | 0,62 |
| 30 | 350 | 1,02 |
| 40 | | |
| 50 | | |
| 60 | | |

| Testigo | | 8 |
|------------------|-------|------------------|
| Tipo Tratamiento | | Riego Sucio |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,09 |
| 10 | 60 | 0,38 |
| 20 | 180 | 0,65 |
| 30 | 300 | 0,97 |
| 40 | 380 | 1,30 |
| 50 | 520 | 1,67 |
| 60 | | |

| Testigo | | 9 |
|------------------|-------|---------------------|
| Tipo Tratamiento | | Riego Limpio |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,07 |
| 10 | 60 | 0,28 |
| 20 | 300 | 0,48 |
| 30 | 400 | 0,74 |
| 40 | 550 | 1,09 |
| 50 | 650 | 1,38 |
| 60 | | |

| Testigo | | 10 |
|------------------|-------|---------------------|
| Tipo Tratamiento | | Riego Limpio |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,08 |
| 10 | 70 | 0,35 |
| 20 | 150 | 0,57 |
| 30 | 350 | 0,83 |
| 40 | 500 | 1,10 |
| 50 | 650 | 1,39 |
| 60 | | |

| Testigo | | 11 |
|------------------|-------|---------------------|
| Tipo Tratamiento | | Sin Riego |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,08 |
| 10 | 50 | 0,33 |
| 20 | 70 | 0,75 |
| 30 | | |
| 40 | | |
| 50 | | |
| 60 | | |

| Testigo | | 12 |
|------------------|-------|---------------------|
| Tipo Tratamiento | | Sin Riego |
| Tiempo [s] | Carga | Deformación [mm] |
| 0 | 0 | 0,13 |
| 10 | 50 | 0,46 |
| 20 | | |
| 30 | | |
| 40 | | |
| 50 | | |
| 60 | | |

ANEXO D: MEDICIONES

REGISTRO DE MEDICIONES CON MARTILLOS ESCLEROMÉTRICO

Fecha: 29-10-2008 **Medición Patrón:** 53
Proyecto: Pista sobre HCR
Hora inicio: 4:12
Tipo de Tratamiento: Sin Riego
e capa superficial: 8 cm
Hora fin: 4:25

| | | |
|----|----|----|
| 53 | 54 | 52 |
| 54 | 53 | 52 |
| 51 | 53 | 55 |

| EJE | | A | B | C | D | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|
| PK | 2,1 | 19 | 15 | 16 | 22 | 21 | 18 | 19 | 17 | 17 | 15 | 15 | 15 |
| T° Superficial °C | 18 | 12 | 18 | 16 | 18 | 18 | 16 | 19 | 18 | 22 | 14 | 18 | 19 |
| T° Ambiente °C | 9 | 17 | 16 | 15 | 17 | 16 | 20 | 15 | 15 | 16 | 15 | 18 | 18 |
| Indice de Rebote | | 16 | | | 18 | | | 18 | | | 16 | | |
| PK | 3,8 | 18 | 18 | 15 | 17 | 17 | 17 | 20 | 17 | 16 | 11 | 14 | 13 |
| T° Superficial °C | 18 | 18 | 17 | 17 | 20 | 20 | 18 | 17 | 20 | 16 | 14 | 15 | 11 |
| T° Ambiente °C | 9 | 14 | 12 | 15 | 17 | 20 | 20 | 18 | 22 | 19 | 13 | 12 | 12 |
| Indice de Rebote | | 16 | | | 18 | | | 18 | | | 13 | | |
| PK | 5,6 | 17 | 12 | 13 | 20 | 17 | 12 | 14 | 21 | 12 | 13 | 18 | 15 |
| T° Superficial °C | 18 | 15 | 17 | 18 | 16 | 17 | 14 | 16 | 19 | 17 | 16 | 14 | 15 |
| T° Ambiente °C | 9 | 19 | 15 | 15 | 16 | 17 | 18 | 15 | 15 | 16 | 15 | 16 | 17 |
| Indice de Rebote | | 16 | | | 16 | | | 16 | | | 15 | | |
| PK | 7,4 | 20 | 15 | 19 | 19 | 17 | 18 | 18 | 20 | 20 | 22 | 21 | 21 |
| T° Superficial °C | 18 | 15 | 18 | 17 | 23 | 19 | 19 | 24 | 18 | 22 | 19 | 20 | 16 |
| T° Ambiente °C | 9 | 18 | 21 | 19 | 26 | 19 | 21 | 25 | 23 | 18 | 16 | 16 | 14 |
| Indice de Rebote | | 18 | | | 20 | | | 21 | | | 18 | | |
| PK | 9 | 16 | 16 | 19 | 25 | 20 | 21 | 21 | 26 | 19 | 20 | 18 | 20 |
| T° Superficial °C | 18 | 15 | 18 | 19 | 20 | 18 | 18 | 19 | 18 | 19 | 18 | 18 | 19 |
| T° Ambiente °C | 9 | 18 | 23 | 22 | 20 | 22 | 19 | 20 | 19 | 23 | 20 | 20 | 22 |
| Indice de Rebote | | 18 | | | 20 | | | 20 | | | 19 | | |

Observaciones: PK 7.4 ejes B y C están sobre papel, puntos anómalos se eliminan del promedio
 PK 9 está en zona de riego no controlado, se elimina ya que es otro caso de tratamiento

REGISTRO DE MEDICIONES CON MARTILLOS ESCLEROMÉTRICO

Fecha: 29-10-2008 **Medición**
Pista sobre **Patrón:** 53
Proyecto: HCR
Hora inicio: 3:48
Tipo de Tratamiento: Riego Limpio
e capa superficial: 8 cm
Hora fin: 4:07

| | | |
|----|----|----|
| 53 | 54 | 52 |
| 54 | 53 | 52 |
| 51 | 53 | 55 |

| EJE | | A | | B | | C | | D | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----|---|----|-----------|----|-----------|---|-----------|----|----|--|---|----|----|----|--|---|----|----|----|
| PK | 11 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>14</td><td>17</td></tr></table> | 19 | 14 | 17 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>22</td><td>26</td><td>24</td></tr></table> | 22 | 26 | 24 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>22</td><td>21</td><td>26</td></tr></table> | 22 | 21 | 26 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>17</td><td>19</td></tr></table> | 20 | 17 | 19 |
| 19 | 14 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 26 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 21 | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 17 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>19</td><td>18</td></tr></table> | 17 | 19 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>23</td><td>19</td><td>26</td></tr></table> | 23 | 19 | 26 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>23</td><td>19</td><td>21</td></tr></table> | 23 | 19 | 21 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>17</td><td>20</td></tr></table> | 20 | 17 | 20 |
| 17 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 19 | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 19 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 17 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>15</td><td>14</td></tr></table> | 16 | 15 | 14 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>23</td><td>19</td><td>18</td></tr></table> | 23 | 19 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>22</td><td>24</td><td>21</td></tr></table> | 22 | 24 | 21 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>15</td><td>15</td></tr></table> | 18 | 15 | 15 |
| 16 | 15 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 24 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 15 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 17 | | 22 | | 22 | | 18 | | | | | | | | | | | | |
| PK | 13 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>19</td><td>21</td></tr></table> | 19 | 19 | 21 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>32</td><td>20</td><td>20</td></tr></table> | 32 | 20 | 20 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>25</td><td>18</td></tr></table> | 20 | 25 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>17</td><td>17</td></tr></table> | 20 | 17 | 17 |
| 19 | 19 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 25 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 17 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>21</td><td>18</td><td>17</td></tr></table> | 21 | 18 | 17 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>26</td><td>21</td><td>20</td></tr></table> | 26 | 21 | 20 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>22</td><td>19</td><td>18</td></tr></table> | 22 | 19 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>17</td><td>18</td></tr></table> | 20 | 17 | 18 |
| 21 | 18 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 17 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>21</td><td>19</td><td>19</td></tr></table> | 21 | 19 | 19 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>25</td><td>24</td><td>20</td></tr></table> | 25 | 24 | 20 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>21</td><td>24</td></tr></table> | 19 | 21 | 24 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>14</td><td>17</td><td>19</td></tr></table> | 14 | 17 | 19 |
| 21 | 19 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 24 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 21 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 17 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 19 | | 23 | | 21 | | 18 | | | | | | | | | | | | |
| PK | 15 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>20</td><td>18</td></tr></table> | 16 | 20 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>21</td><td>21</td></tr></table> | 18 | 21 | 21 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>28</td><td>20</td><td>18</td></tr></table> | 28 | 20 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>15</td><td>16</td></tr></table> | 20 | 15 | 16 |
| 16 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 21 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 15 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>18</td><td>18</td></tr></table> | 17 | 18 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>22</td><td>23</td><td>19</td></tr></table> | 22 | 23 | 19 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>27</td><td>18</td></tr></table> | 18 | 27 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>19</td><td>15</td></tr></table> | 20 | 19 | 15 |
| 17 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 23 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 27 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 19 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>15</td><td>18</td><td>20</td></tr></table> | 15 | 18 | 20 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>23</td><td>22</td><td>25</td></tr></table> | 23 | 22 | 25 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>25</td><td>18</td><td>18</td></tr></table> | 25 | 18 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>19</td><td>15</td></tr></table> | 17 | 19 | 15 |
| 15 | 18 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 22 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 19 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 18 | | 22 | | 21 | | 17 | | | | | | | | | | | | |
| PK | 17 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>24</td><td>21</td></tr></table> | 19 | 24 | 21 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>23</td><td>23</td></tr></table> | 20 | 23 | 23 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>25</td><td>22</td><td>18</td></tr></table> | 25 | 22 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>21</td><td>19</td></tr></table> | 19 | 21 | 19 |
| 19 | 24 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 23 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 22 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 21 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>19</td><td>17</td></tr></table> | 17 | 19 | 17 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>23</td><td>20</td><td>18</td></tr></table> | 23 | 20 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>22</td><td>22</td><td>23</td></tr></table> | 22 | 22 | 23 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>21</td><td>18</td><td>19</td></tr></table> | 21 | 18 | 19 |
| 17 | 19 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 22 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>20</td><td>22</td></tr></table> | 16 | 20 | 22 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>22</td><td>20</td><td>24</td></tr></table> | 22 | 20 | 24 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>23</td><td>19</td></tr></table> | 20 | 23 | 19 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>14</td><td>18</td><td>18</td></tr></table> | 14 | 18 | 18 |
| 16 | 20 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 20 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 23 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 19 | | 21 | | 22 | | 19 | | | | | | | | | | | | |
| PK | 19 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>19</td><td>16</td></tr></table> | 19 | 19 | 16 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>18</td><td>27</td></tr></table> | 20 | 18 | 27 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>21</td><td>23</td><td>21</td></tr></table> | 21 | 23 | 21 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>19</td><td>15</td></tr></table> | 19 | 19 | 15 |
| 19 | 19 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 18 | 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 23 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 19 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>17</td><td>20</td></tr></table> | 18 | 17 | 20 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>18</td><td>20</td></tr></table> | 20 | 18 | 20 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>21</td><td>22</td><td>19</td></tr></table> | 21 | 22 | 19 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>12</td><td>16</td><td>18</td></tr></table> | 12 | 16 | 18 |
| 18 | 17 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 18 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 22 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 16 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>16</td><td>18</td></tr></table> | 16 | 16 | 18 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>25</td><td>21</td></tr></table> | 19 | 25 | 21 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>24</td><td>23</td></tr></table> | 20 | 24 | 23 | | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>18</td><td>17</td></tr></table> | 19 | 18 | 17 |
| 16 | 16 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 25 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 24 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 18 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 18 | | 21 | | 22 | | 17 | | | | | | | | | | | | |

Observaciones:

REGISTRO DE MEDICIONES CON MARTILLOS ESCLEROMÉTRICO

Fecha: 29-10-2008
Proyecto: Pista sobre HCR
Hora inicio: 3:25
Tipo de Tratamiento: R. contaminado
e capa superficial: 8 cm
Hora fin: 3:42

Medición
Patrón: 53

| | | |
|----|----|----|
| 53 | 54 | 52 |
| 54 | 53 | 52 |
| 51 | 53 | 55 |

| EJE | | A | B | C | D | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|--|-----------|-----------|-----------|--|----|----|----|--|----|----|----|--|----|----|----|
| PK | 21 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>17</td><td>16</td></tr></table> | 19 | 17 | 16 | <table border="1"><tr><td>23</td><td>15</td><td>23</td></tr></table> | 23 | 15 | 23 | <table border="1"><tr><td>21</td><td>25</td><td>21</td></tr></table> | 21 | 25 | 21 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>23</td><td>16</td></tr></table> | 19 | 23 | 16 |
| 19 | 17 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 15 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 25 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 23 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>15</td><td>16</td></tr></table> | 19 | 15 | 16 | <table border="1"><tr><td>24</td><td>19</td><td>18</td></tr></table> | 24 | 19 | 18 | <table border="1"><tr><td>20</td><td>18</td><td>19</td></tr></table> | 20 | 18 | 19 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>18</td><td>17</td></tr></table> | 18 | 18 | 17 |
| 19 | 15 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 18 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9,5 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>23</td><td>20</td></tr></table> | 18 | 23 | 20 | <table border="1"><tr><td>24</td><td>24</td><td>20</td></tr></table> | 24 | 24 | 20 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>22</td><td>18</td></tr></table> | 19 | 22 | 18 | <table border="1"><tr><td>21</td><td>16</td><td>18</td></tr></table> | 21 | 16 | 18 |
| 18 | 23 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 24 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 22 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 16 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 18 | 21 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 23 | <table border="1"><tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td></tr></table> | 15 | 16 | 17 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>23</td><td>21</td></tr></table> | 19 | 23 | 21 | <table border="1"><tr><td>24</td><td>24</td><td>19</td></tr></table> | 24 | 24 | 19 | <table border="1"><tr><td>20</td><td>17</td><td>17</td></tr></table> | 20 | 17 | 17 |
| 15 | 16 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 23 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 24 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 17 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1"><tr><td>17</td><td>17</td><td>16</td></tr></table> | 17 | 17 | 16 | <table border="1"><tr><td>21</td><td>25</td><td>23</td></tr></table> | 21 | 25 | 23 | <table border="1"><tr><td>20</td><td>17</td><td>26</td></tr></table> | 20 | 17 | 26 | <table border="1"><tr><td>17</td><td>15</td><td>16</td></tr></table> | 17 | 15 | 16 |
| 17 | 17 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 25 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 17 | 26 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 15 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9,5 | <table border="1"><tr><td>17</td><td>15</td><td>20</td></tr></table> | 17 | 15 | 20 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>20</td><td>23</td></tr></table> | 18 | 20 | 23 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>21</td><td>20</td></tr></table> | 19 | 21 | 20 | <table border="1"><tr><td>16</td><td>20</td><td>18</td></tr></table> | 16 | 20 | 18 |
| 17 | 15 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 20 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 17 | 21 | 21 | 17 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 25 | <table border="1"><tr><td>17</td><td>18</td><td>21</td></tr></table> | 17 | 18 | 21 | <table border="1"><tr><td>24</td><td>21</td><td>20</td></tr></table> | 24 | 21 | 20 | <table border="1"><tr><td>20</td><td>21</td><td>20</td></tr></table> | 20 | 21 | 20 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>18</td><td>17</td></tr></table> | 18 | 18 | 17 |
| 17 | 18 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 18 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1"><tr><td>17</td><td>21</td><td>17</td></tr></table> | 17 | 21 | 17 | <table border="1"><tr><td>21</td><td>21</td><td>18</td></tr></table> | 21 | 21 | 18 | <table border="1"><tr><td>24</td><td>20</td><td>19</td></tr></table> | 24 | 20 | 19 | <table border="1"><tr><td>17</td><td>19</td><td>14</td></tr></table> | 17 | 19 | 14 |
| 17 | 21 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 21 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 20 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 19 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9,5 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>19</td><td>18</td></tr></table> | 19 | 19 | 18 | <table border="1"><tr><td>23</td><td>20</td><td>20</td></tr></table> | 23 | 20 | 20 | <table border="1"><tr><td>24</td><td>19</td><td>22</td></tr></table> | 24 | 19 | 22 | <table border="1"><tr><td>17</td><td>24</td><td>17</td></tr></table> | 17 | 24 | 17 |
| 19 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 19 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 24 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 19 | 21 | 21 | 18 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 27 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>18</td><td>18</td></tr></table> | 19 | 18 | 18 | <table border="1"><tr><td>21</td><td>21</td><td>19</td></tr></table> | 21 | 21 | 19 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>21</td><td>19</td></tr></table> | 18 | 21 | 19 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>19</td><td>16</td></tr></table> | 19 | 19 | 16 |
| 19 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 21 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 21 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 19 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>14</td><td>12</td></tr></table> | 18 | 14 | 12 | <table border="1"><tr><td>21</td><td>20</td><td>18</td></tr></table> | 21 | 20 | 18 | <table border="1"><tr><td>26</td><td>18</td><td>18</td></tr></table> | 26 | 18 | 18 | <table border="1"><tr><td>21</td><td>18</td><td>18</td></tr></table> | 21 | 18 | 18 |
| 18 | 14 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9,5 | <table border="1"><tr><td>20</td><td>17</td><td>17</td></tr></table> | 20 | 17 | 17 | <table border="1"><tr><td>19</td><td>24</td><td>20</td></tr></table> | 19 | 24 | 20 | <table border="1"><tr><td>23</td><td>20</td><td>21</td></tr></table> | 23 | 20 | 21 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>17</td><td>20</td></tr></table> | 18 | 17 | 20 |
| 20 | 17 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 24 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 20 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 17 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 17 | 20 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 29 | <table border="1"><tr><td>20</td><td>17</td><td>19</td></tr></table> | 20 | 17 | 19 | <table border="1"><tr><td>23</td><td>19</td><td>19</td></tr></table> | 23 | 19 | 19 | <table border="1"><tr><td>20</td><td>21</td><td>20</td></tr></table> | 20 | 21 | 20 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>19</td><td>21</td></tr></table> | 18 | 19 | 21 |
| 20 | 17 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 19 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 19 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1"><tr><td>23</td><td>17</td><td>18</td></tr></table> | 23 | 17 | 18 | <table border="1"><tr><td>24</td><td>17</td><td>18</td></tr></table> | 24 | 17 | 18 | <table border="1"><tr><td>24</td><td>23</td><td>18</td></tr></table> | 24 | 23 | 18 | <table border="1"><tr><td>17</td><td>20</td><td>17</td></tr></table> | 17 | 20 | 17 |
| 23 | 17 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 17 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 23 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 20 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 9,5 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>18</td><td>16</td></tr></table> | 18 | 18 | 16 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>18</td><td>21</td></tr></table> | 18 | 18 | 21 | <table border="1"><tr><td>18</td><td>18</td><td>21</td></tr></table> | 18 | 18 | 21 | <table border="1"><tr><td>15</td><td>20</td><td>18</td></tr></table> | 15 | 20 | 18 |
| 18 | 18 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 18 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 18 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 18 | 20 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | |

Observaciones:

REGISTRO DE MEDICIONES CON MARTILLOS ESCLEROMÉTRICO

Fecha: 29-10-2008 **Medición**
Proyecto: pista sobre HCR **Patrón:** 53
Hora inicio: 3:00
Tipo de Tratamiento: R. Contaminado
e capa superficial: 5 cm
Hora fin: 3:14

| | | |
|----|----|----|
| 53 | 54 | 53 |
| 53 | 47 | 54 |
| 54 | 53 | 54 |

| EJE | | A | B | C | D | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----|---|-----------|-----------|-----------|---|----|----|----|---|----|----|----|---|----|----|----|
| PK | 33 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>16</td><td>16</td></tr></table> | 17 | 16 | 16 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>22</td><td>18</td><td>18</td></tr></table> | 22 | 18 | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>22</td><td>16</td><td>16</td></tr></table> | 22 | 16 | 16 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>18</td><td>17</td></tr></table> | 17 | 18 | 17 |
| 17 | 16 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 16 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 18 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>14</td><td>20</td><td>14</td></tr></table> | 14 | 20 | 14 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>15</td><td>18</td><td>19</td></tr></table> | 15 | 18 | 19 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>21</td><td>19</td><td>20</td></tr></table> | 21 | 19 | 20 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>18</td><td>18</td></tr></table> | 18 | 18 | 18 |
| 14 | 20 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 19 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 10 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>15</td><td>18</td></tr></table> | 17 | 15 | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>16</td><td>15</td></tr></table> | 19 | 16 | 15 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>17</td><td>16</td></tr></table> | 19 | 17 | 16 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>16</td><td>17</td></tr></table> | 17 | 16 | 17 |
| 17 | 15 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 16 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 17 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 16 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 16 | 18 | 18 | 17 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 35 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>21</td><td>18</td><td>16</td></tr></table> | 21 | 18 | 16 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>15</td><td>20</td></tr></table> | 16 | 15 | 20 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>17</td><td>18</td></tr></table> | 17 | 17 | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>16</td><td>17</td></tr></table> | 17 | 16 | 17 |
| 21 | 18 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 15 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 17 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 16 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>15</td><td>18</td><td>19</td></tr></table> | 15 | 18 | 19 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>22</td><td>26</td></tr></table> | 18 | 22 | 26 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>18</td><td>19</td></tr></table> | 19 | 18 | 19 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>13</td><td>17</td><td>16</td></tr></table> | 13 | 17 | 16 |
| 15 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 22 | 26 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 17 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 10 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>16</td><td>15</td></tr></table> | 19 | 16 | 15 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr></table> | 18 | 19 | 20 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>20</td><td>22</td></tr></table> | 18 | 20 | 22 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>15</td><td>20</td><td>18</td></tr></table> | 15 | 20 | 18 |
| 19 | 16 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 19 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 20 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 17 | 19 | 19 | 17 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 37 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>15</td><td>13</td></tr></table> | 16 | 15 | 13 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>16</td><td>19</td></tr></table> | 18 | 16 | 19 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>14</td><td>18</td><td>17</td></tr></table> | 14 | 18 | 17 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>15</td><td>16</td></tr></table> | 16 | 15 | 16 |
| 16 | 15 | 13 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 16 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 18 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 15 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>14</td><td>15</td><td>18</td></tr></table> | 14 | 15 | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr></table> | 18 | 19 | 20 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>21</td><td>20</td></tr></table> | 20 | 21 | 20 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td><td>15</td><td>18</td></tr></table> | 19 | 15 | 18 |
| 14 | 15 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 19 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 15 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 10 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>15</td><td>16</td><td>15</td></tr></table> | 15 | 16 | 15 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>19</td><td>18</td></tr></table> | 20 | 19 | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>21</td><td>20</td><td>17</td></tr></table> | 21 | 20 | 17 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>16</td><td>18</td></tr></table> | 16 | 16 | 18 |
| 15 | 16 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 20 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 16 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 15 | 19 | 19 | 17 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 39 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>15</td><td>16</td></tr></table> | 16 | 15 | 16 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>21</td><td>17</td></tr></table> | 16 | 21 | 17 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>20</td><td>20</td></tr></table> | 18 | 20 | 20 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>16</td><td>15</td></tr></table> | 16 | 16 | 15 |
| 16 | 15 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 21 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 16 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>15</td><td>12</td></tr></table> | 16 | 15 | 12 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>18</td><td>19</td></tr></table> | 20 | 18 | 19 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>20</td><td>20</td></tr></table> | 17 | 20 | 20 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>16</td><td>17</td></tr></table> | 18 | 16 | 17 |
| 16 | 15 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 16 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 10 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>18</td><td>14</td><td>14</td></tr></table> | 18 | 14 | 14 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>20</td><td>17</td><td>16</td></tr></table> | 20 | 17 | 16 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>17</td><td>25</td><td>18</td></tr></table> | 17 | 25 | 18 | <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>16</td><td>15</td><td>18</td></tr></table> | 16 | 15 | 18 |
| 18 | 14 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 17 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 25 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 15 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | 15 | 18 | 19 | 16 | | | | | | | | | | | | |

Observaciones:

REGISTRO DE MEDICIONES CON MARTILLOS ESCLEROMÉTRICO

Fecha: 29-10-2008
Proyecto: Pista sobre HCR
Hora inicio: 2:40
Tipo de Tratamiento: Riego Limpio
e capa superficial: 5 cm
Hora fin: 2:57

Medición Patrón: 53

| | | |
|----|----|----|
| 53 | 54 | 53 |
| 53 | 47 | 54 |
| 54 | 53 | 54 |

| EJE | A | B | C | D | | | | | | | | | |
|-------------------|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|
| PK | 41 | 19 | 16 | 17 | 22 | 20 | 20 | 20 | 30 | 22 | 22 | 17 | 17 |
| T° Superficial °C | 18 | 15 | 16 | 19 | 22 | 20 | 25 | 17 | 18 | 20 | 15 | 22 | 21 |
| T° Ambiente °C | 11 | 15 | 16 | 16 | 21 | 21 | 19 | 18 | 18 | 21 | 15 | 18 | 18 |
| Indice de Rebote | | 17 | | | 21 | | | 20 | | | 18 | | |
| PK | 43 | 20 | 16 | 20 | 21 | 20 | 21 | 30 | 20 | 20 | 18 | 16 | 17 |
| T° Superficial °C | 18 | 16 | 20 | 19 | 22 | 21 | 21 | 25 | 30 | 23 | 17 | 14 | 18 |
| T° Ambiente °C | 11 | 17 | 17 | 18 | 21 | 20 | 19 | 28 | 26 | 18 | 17 | 19 | 16 |
| Indice de Rebote | | 18 | | | 21 | | | 24 | | | 17 | | |
| PK | 45 | 18 | 19 | 14 | 18 | 21 | 25 | 22 | 20 | 22 | 16 | 19 | 17 |
| T° Superficial °C | 18 | 19 | 15 | 15 | 20 | 17 | 20 | 20 | 16 | 18 | 17 | 20 | 18 |
| T° Ambiente °C | 11 | 19 | 21 | 22 | 19 | 20 | 22 | 20 | 18 | 18 | 20 | 16 | 16 |
| Indice de Rebote | | 18 | | | 20 | | | 19 | | | 18 | | |
| PK | 47 | 17 | 17 | 22 | 24 | 20 | 17 | 22 | 19 | 16 | 18 | 19 | 19 |
| T° Superficial °C | 18 | 15 | 15 | 16 | 16 | 18 | 21 | 18 | 20 | 19 | 18 | 14 | 20 |
| T° Ambiente °C | 11 | 16 | 18 | 22 | 16 | 18 | 22 | 24 | 20 | 18 | 17 | 15 | 18 |
| Indice de Rebote | | 18 | | | 19 | | | 20 | | | 18 | | |
| PK | 49 | 18 | 14 | 17 | 19 | 18 | 20 | 17 | 18 | 18 | 15 | 17 | 17 |
| T° Superficial °C | 18 | 18 | 17 | 16 | 20 | 18 | 19 | 19 | 18 | 19 | 18 | 16 | 15 |
| T° Ambiente °C | 11 | 15 | 18 | 16 | 18 | 22 | 22 | 21 | 19 | 18 | 20 | 18 | 17 |
| Indice de Rebote | | 17 | | | 20 | | | 19 | | | 17 | | |

Observaciones:

REGISTRO DE MEDICIONES CON MARTILLO ESCLEROMÉTRICO

Fecha: 29-10-2008 **Medición**
Proyecto: **Patrón:** 53
Hora inicio: 2:20
Tipo de Tratamiento: Sin Riego
e capa superficial: 5 cm
Hora fin: 2:35

| | | |
|----|----|----|
| 53 | 54 | 53 |
| 53 | 47 | 54 |
| 54 | 53 | 54 |

| EJE | | A | B | C | D | | | | | | | | |
|-------------------|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|
| PK | 51 | 22 | 15 | 18 | 17 | 20 | 18 | 13 | 14 | 16 | 13 | 15 | 16 |
| T° Superficial °C | 18 | 15 | 17 | 13 | 15 | 16 | 15 | 13 | 14 | 15 | 12 | 14 | 17 |
| T° Ambiente °C | 11 | 13 | 13 | 16 | 15 | 16 | 18 | 14 | 18 | 17 | 13 | 14 | 20 |
| Indice de Rebote | | 16 | | | 17 | | | 15 | | | 15 | | |
| PK | 53 | 15 | 13 | 13 | 13 | 17 | 17 | 18 | 18 | 18 | 15 | 13 | 15 |
| T° Superficial °C | 18 | 13 | 13 | 13 | 18 | 20 | 17 | 16 | 18 | 20 | 13 | 13 | 13 |
| T° Ambiente °C | 11 | 15 | 15 | 13 | 17 | 16 | 19 | 17 | 13 | 16 | 15 | 19 | 14 |
| Indice de Rebote | | 14 | | | 17 | | | 17 | | | 14 | | |
| PK | 55 | 14 | 15 | 18 | 18 | 18 | 17 | 20 | 18 | 17 | 15 | 18 | 17 |
| T° Superficial °C | 18 | 15 | 16 | 17 | 19 | 18 | 15 | 16 | 17 | 16 | 15 | 18 | 18 |
| T° Ambiente °C | 11 | 12 | 18 | 16 | 17 | 16 | 18 | 17 | 20 | 16 | 16 | 16 | 15 |
| Indice de Rebote | | 16 | | | 17 | | | 17 | | | 16 | | |
| PK | 57 | 15 | 16 | 14 | 17 | 17 | 18 | 13 | 14 | 15 | 18 | 19 | 17 |
| T° Superficial °C | 18 | 22 | 15 | 18 | 17 | 18 | 16 | 15 | 17 | 15 | 17 | 16 | 16 |
| T° Ambiente °C | 12 | 15 | 15 | 15 | 17 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 16 | 17 | 17 |
| Indice de Rebote | | 16 | | | 17 | | | 15 | | | 17 | | |

Observaciones: PK 51 y 53 ejes B y C sobre papel

REGISTRO DE MEDICIONES CON MARTILLOS ESCLEROMÉTRICO

| | | | |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|
| Fecha: | 29-10-2008 | Medición | |
| Proyecto: | Pista sobre base granular | Patrón: | 53 |
| Hora inicio: | 4:35 | | |
| Tipo de Tratamiento: | R cont. y limpio | | |
| e capa superficial: | 5 cm | | |
| Hora fin: | 4:50 | | |

| | | |
|----|----|----|
| 49 | 53 | 54 |
| 54 | 54 | 52 |
| 50 | 54 | 54 |

| EJE | A | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|-----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| PK | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>20</td><td>16</td><td>23</td></tr> <tr><td>17</td><td>19</td><td>16</td></tr> <tr><td>21</td><td>19</td><td>17</td></tr> </table> | 20 | 16 | 23 | 17 | 19 | 16 | 21 | 19 | 17 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>16</td><td>21</td><td>18</td></tr> <tr><td>18</td><td>16</td><td>16</td></tr> <tr><td>16</td><td>20</td><td>19</td></tr> </table> | 16 | 21 | 18 | 18 | 16 | 16 | 16 | 20 | 19 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>19</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>22</td><td>17</td><td>20</td></tr> <tr><td>18</td><td>20</td><td>18</td></tr> </table> | 19 | 18 | 18 | 22 | 17 | 20 | 18 | 20 | 18 |
| 20 | 16 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 19 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 19 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 21 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 16 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 20 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 17 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 19 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 2,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>16</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>19</td><td>17</td><td>19</td></tr> <tr><td>17</td><td>19</td><td>20</td></tr> </table> | 16 | 20 | 20 | 19 | 17 | 19 | 17 | 19 | 20 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>24</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>22</td><td>20</td><td>18</td></tr> <tr><td>17</td><td>17</td><td>17</td></tr> </table> | 24 | 19 | 20 | 22 | 20 | 18 | 17 | 17 | 17 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>20</td><td>23</td><td>18</td></tr> <tr><td>17</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>18</td><td>22</td><td>18</td></tr> </table> | 20 | 23 | 18 | 17 | 18 | 18 | 18 | 22 | 18 |
| 16 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 17 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 19 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 19 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 17 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 23 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 18 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 22 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 19 | 19 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>18</td><td>16</td><td>19</td></tr> <tr><td>18</td><td>20</td><td>18</td></tr> <tr><td>16</td><td>19</td><td>16</td></tr> </table> | 18 | 16 | 19 | 18 | 20 | 18 | 16 | 19 | 16 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>17</td><td>15</td><td>19</td></tr> <tr><td>20</td><td>19</td><td>19</td></tr> <tr><td>20</td><td>19</td><td>19</td></tr> </table> | 17 | 15 | 19 | 20 | 19 | 19 | 20 | 19 | 19 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>20</td><td>18</td><td>19</td></tr> <tr><td>16</td><td>18</td><td>20</td></tr> <tr><td>17</td><td>15</td><td>19</td></tr> </table> | 20 | 18 | 19 | 16 | 18 | 20 | 17 | 15 | 19 |
| 18 | 16 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 19 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 15 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 19 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 19 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 18 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 15 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>20</td><td>17</td><td>23</td></tr> <tr><td>17</td><td>19</td><td>19</td></tr> <tr><td>18</td><td>16</td><td>19</td></tr> </table> | 20 | 17 | 23 | 17 | 19 | 19 | 18 | 16 | 19 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>19</td><td>19</td><td>14</td></tr> <tr><td>19</td><td>23</td><td>19</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td><td>20</td></tr> </table> | 19 | 19 | 14 | 19 | 23 | 19 | 20 | 20 | 20 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>19</td><td>23</td><td>20</td></tr> <tr><td>24</td><td>23</td><td>20</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> </table> | 19 | 23 | 20 | 24 | 23 | 20 | 19 | 20 | 20 |
| 20 | 17 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 19 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 16 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 19 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 23 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 23 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 23 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 19 | 19 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 7,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>21</td><td>19</td><td>21</td></tr> <tr><td>17</td><td>18</td><td>19</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>18</td></tr> </table> | 21 | 19 | 21 | 17 | 18 | 19 | 18 | 19 | 18 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>23</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>22</td><td>22</td><td>18</td></tr> <tr><td>21</td><td>19</td><td>18</td></tr> </table> | 23 | 21 | 22 | 22 | 22 | 18 | 21 | 19 | 18 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>18</td><td>21</td><td>20</td></tr> <tr><td>25</td><td>18</td><td>19</td></tr> <tr><td>18</td><td>20</td><td>18</td></tr> </table> | 18 | 21 | 20 | 25 | 18 | 19 | 18 | 20 | 18 |
| 21 | 19 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 21 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 22 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 18 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 19 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PK | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Superficial °C | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° Ambiente °C | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indice de Rebote | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>21</td><td>23</td><td>22</td></tr> <tr><td>18</td><td>21</td><td>21</td></tr> <tr><td>19</td><td>21</td><td>21</td></tr> </table> | 21 | 23 | 22 | 18 | 21 | 21 | 19 | 21 | 21 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>18</td><td>19</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>18</td><td>20</td></tr> <tr><td>20</td><td>21</td><td>18</td></tr> </table> | 18 | 19 | 21 | 22 | 18 | 20 | 20 | 21 | 18 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>19</td><td>22</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>19</td><td>18</td></tr> <tr><td>22</td><td>21</td><td>20</td></tr> </table> | 19 | 22 | 20 | 21 | 19 | 18 | 22 | 21 | 20 |
| 21 | 23 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 21 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 21 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 19 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 18 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 21 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 22 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 19 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 21 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

REGISTRO DE MEDICIONES CON MARTILLOS ESCLEROMÉTRICO

| | | |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------|
| Fecha: | 29-10-2008 | Medición |
| Proyecto: | Pista sobre base granular | Patrón: 53 |
| Hora inicio: | 4:50 | |
| Tipo de Tratamiento: | Sin Riego | |
| e capa superficial: | 5 cm | |
| Hora fin: | 5:00 | |

| | | |
|----|----|----|
| 49 | 53 | 54 |
| 54 | 54 | 52 |
| 50 | 54 | 54 |

| EJE | | A | B | C |
|-------------------|------|----|----|----|
| PK | 11 | | | |
| T° Superficial °C | 18 | | | |
| T° Ambiente °C | 8 | | | |
| Indice de Rebote | | | | |
| | | 14 | 14 | 14 |
| PK | 12,5 | | | |
| T° Superficial °C | 18 | | | |
| T° Ambiente °C | 8 | | | |
| Indice de Rebote | | | | |
| | | 14 | 15 | 13 |
| PK | 14 | | | |
| T° Superficial °C | 18 | | | |
| T° Ambiente °C | 8 | | | |
| Indice de Rebote | | | | |
| | | 14 | 14 | 14 |