

# “VALORACIÓN DE LA FISURACIÓN REFLEJA ENTRE CAPAS DE MEZCLA ASFÁLTICA ANTE CARGAS DINÁMICAS INTERPONIENDO GEOSINTÉTICO”

**Becario: Lucas Curone** <sup>(1)</sup>

Director: Dr. Ing. Luis Delbono <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia: “Sistema dinámico de valoración para el control de fisuración refleja usando geosintéticos como S.A.M.I. en la rehabilitación de pavimentos” Código UTN: UTI-1617  
Código de Incentivos 25/1054.

---

## 1. Resumen

Las solicitaciones producidas sobre los pavimentos, por cargas repetidas de vehículos y las condiciones ambientales, generan un deterioro continuo sobre la estructura, generando pérdidas de las propiedades mecánicas, ocasionando una pérdida estructural y funcional del camino. Uno de los problemas más comunes y de difícil control actualmente debido a estas solicitaciones es la fisuración refleja, fenómeno por el cual se propagan las fisuras existentes en capas inferiores o en coincidencia con movimiento de juntas de un pavimento envejecido, hacia la nueva capa colocada como refuerzo, calcando la patología de las mismas.

En la presente tesis se busca evaluar el comportamiento de la fisuración refleja variando la colocación de un material geosintético entre capas de mezcla asfáltica, sometiendo el sistema a carga dinámica.

## 2. Abstract

The solicitations produced on the pavements, for loads repeated of vehicles and the environmental conditions; generate a constant deterioration on the structure, generating losses of the mechanical properties, causing a structural and functional loss of the way. One of the most common problems and of difficult control nowadays due to these solicitations it is the fisuración reflects, phenomenon for which the existing fissures propagate in low caps or in coincidence with movement of meetings of an aged pavement, towards the new cap placed as reinforcement, to copy the pathology of the same ones.

In the present thesis one seeks to evaluate the behavior of the fisuración reflects changing the placement of a geosynthetic material between caps of asphalt mixture, subjecting the system to dynamic load.

## 3. Fundamentos

Uno de los problemas más comunes en la restauración de los pavimentos son las fisuras u otros tipos de fallas en la superficie. Las fisuras pueden solo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden deberse a fallas estructurales significativas (1). En este sentido el reflejo de fisuras es una de las principales preocupaciones de organismos viales y el de mayor preocupación dentro de la ingeniería de pavimentos actualmente (2).

Se denomina reflejo de fisura al fenómeno por el cual se propagan las fisuras pre existentes en capas inferiores o en coincidencia con movimiento de juntas de un pavimento envejecido, hacia la nueva capa colocada como refuerzo, por efecto del

(1) Becario de Investigación del LEMaC, Centro de Investigaciones Viales. Dpto. Ing. Civil

(2) Director de Beca

tránsito y/o de las solicitaciones medioambientales calcando la patología de las mismas (3), Figura 1.

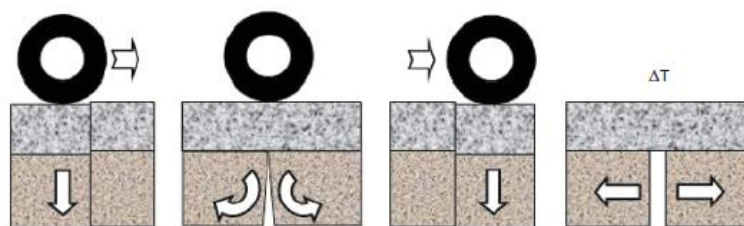


Figura 1. Solicitaciones en la estructura del pavimento

La reflexión de una fisura a la capa superior esta ligada al hecho que, bajo el efecto de solicitaciones diversas, los bordes de la fisura existente se mueven creando concentración de tensiones y transfieren ese movimiento a la capa superior; por fatiga de la capa de refuerzo asfáltico se inicia una fisura que crece rápidamente en dirección a la superficie (4).

#### 4. Materiales; Desarrollo experimental

Se confeccionan en laboratorio tres probetas por ensayo, los materiales que conforman la probeta se describen a continuación:

##### 4.1 Mezcla asfáltica

La mezcla utilizada para la confección de probetas es un concreto asfáltico en caliente del tipo convencional con tamaño máximo de 19 mm (CAC D20), la cual es caracterizada mediante las exigencias dispuestas en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad, en su sección D VIII. Bases y carpetas preparadas en caliente (5).

Las características de la mezcla de acuerdo al ensayo Marshall según norma VN – E9 – 86 (6) son los que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de la mezcla asfáltica

Ensayo	Unidad	Resultado	Exigencia
Densidad Marshall	g/cm <sup>3</sup>	2,347	2 - 2,5
Densidad Rice	g/cm <sup>3</sup>	2,432	2 - 2,5
Asfalto promedio	%	4,9	5,0
Vacíos	%	3,5	3 - 5
Relación Betún-Vacíos	%	77	68 - 78
Vacíos de agregado mineral	%	15	> 14
Estabilidad	Kg	919	> 800
Relación Estabilidad-Fluencia	Kg/cm	3465	2500 - 4500

##### 4.2 Emulsión asfáltica

La emulsión utilizada en la confección de las probetas es una emulsión asfáltica modificada con polímero del Tipo SBS (ECRR-M) la misma es brindada por YPF. Sobre esta emulsión se realizan los ensayos de caracterización; los parámetros obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de la emulsión considerada

Ensayo	Unidad	Norma IRAM	Resultado
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	SSF	6721	33,7
Residuo asfáltico por destilación	g/100g	6719	65,3
Asentamiento	g/100g	6716	1,7
Contenido de agua	g/100g	6719	37,5
Carga de partículas	-	6690	Positiva
Residuo sobre tamiz IRAM 850 mm	g/100g	6717	0,06
<b>Ensayos sobre residuo de destilación</b>			
Penetración de residuo	0,1 mm	6576	70
Ductilidad	cm	6579	>100

### 4.3 Material Geosintético

El material seleccionado es una grilla de malla de 40x40 mm, conformado por fibras en poliéster unidas a una manta en polipropileno, Figura 2.



Figura 2. Material geosintético utilizado

En primera instancia se realiza el ensayo de tracción según normativa IRAM 78012 (7), utilizando la máquina a tracción EMIC DL 10000. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados a tracción del material geosintético

Dirección de ensayo	Carga Max (KN/m)	Deformación Max (mm)	Def. Rotura (mm)
Paralela al rollo	31,79	19,26	23,06
Transversal al rollo	25,25	15,88	20,36

### 4.4 Confección de probetas

En un molde de 30x30 cm de base se compacta la capa inferior de mezcla asfáltica a temperatura de compactación (160 °C) con un martillo percutor marca Metabo programado a velocidad=7. La compactación se realiza desde el centro de la probeta distribuyendo la mezcla hacia los bordes, luego se coloca el martillo en uno de los bordes y se compacta formando una franja horizontal; se deja enfriar la capa, luego se realiza la aplicación del riego de emulsión asfáltica que según la recomendación del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad (bajo el título de tratamiento bituminoso superficial de sellado: Sección D.III), se selecciona una dotación de 0,5 l/m<sup>2</sup>, una vez curada la emulsión se procede a la colocación del material geosintético, cuidando que no queden arrugas, para

luego compactar la capa superior de mezcla asfáltica cuyo espesor es variable de acuerdo al nivel en que se coloca el material geosintético.  
 La diferencia entre las probetas es la altura en la cual se encuentra ubicado el material geosintético, Figura 3.

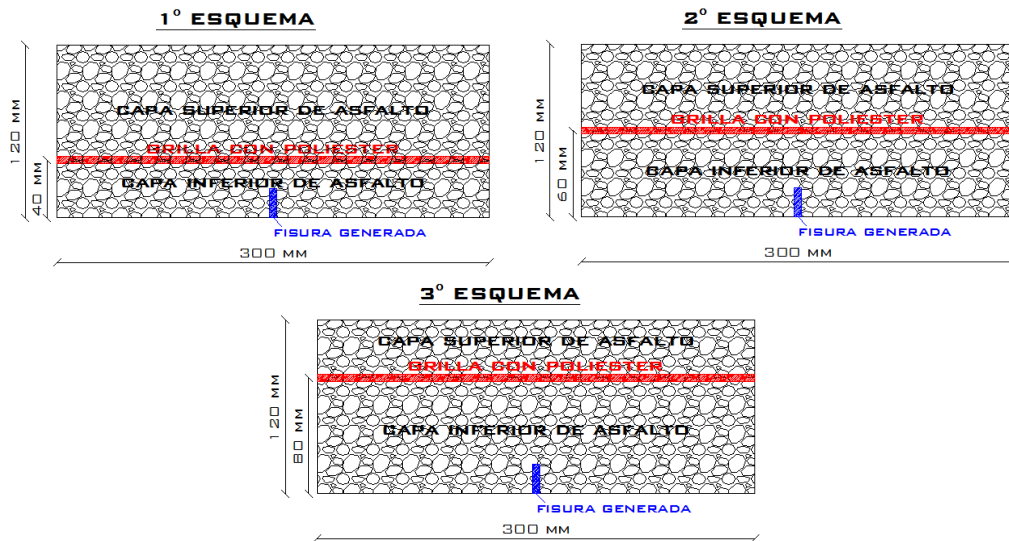


Figura 3. Esquemas de ubicación del material geosintético

#### 4.5 Ensayo de Módulo de Rigidez

Las probetas, confeccionadas con los procedimientos descritos con anterioridad, se colocan sobre el sistema de apoyo materializado por varillas metálicas de acero liso de 8 mm de diámetro en los extremos, Figura 4. Mediante este apoyo se representa la capacidad de deformación y trabajo de la junta ante las sollicitaciones del ensayo, que simulan la carga dinámica del tránsito.

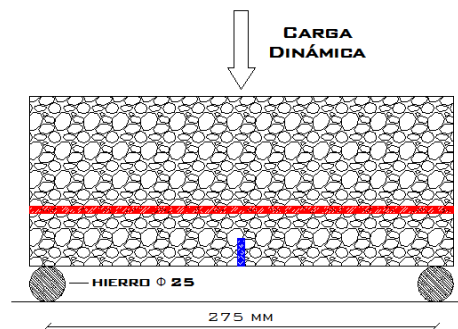


Figura 4. Esquema del sistema de apoyo

Las probetas son acondicionadas y ensayadas en el equipo que denominamos Módulo de Rigidez con las siguientes características: carga de 500 Kg a una frecuencia de 1 Hz, temperatura 25 °C, Figura 5.

Figura 5. Equipo de Módulo de Rigidez





## 6. Resultados

La Tabla 4 presenta los resultados que el material geosintético ofrece ante el fenómeno de fisuración refleja interponiéndolo a diferentes niveles del paquete asfáltico. Los mismos son comparados con la probeta que no considera la interposición del material geosintético.

Tabla 4. Resultados de propagación de fisuras interponiendo un geosintético.

Ubicación desde la base (mm)	Ciclos de carga totales (nº)
Sin geosintético	12
40 mm	3424
60 mm	1830
80 mm	792

Nota: los resultados son promedio de tres determinaciones por cada nivel de ubicación del material geosintético.

## 7. Conclusiones

- El material geosintético logra un considerable retraso en la progresión de una fisura que tenderá indefectiblemente a propagar como consecuencia de la aplicación repetida de la carga.
- La adherencia entre capas es fundamental para el efectivo trabajo del geosintético.
- El nivel para el cual se obtiene el mejor comportamiento del geosintético es cuando se localiza lo más cercano a la fibra más traccionada de la capa de refuerzo, donde se prevé que comience a trabajar ni bien la fisura comienza a crecer.

## 8. Bibliografía

1. Elseifi, M., and Al-Qadi, I. [2003]. Un Modelo Simplificado Anti-Reflejo de Grietas. Documento N° 03-3285 presentado en el Transportation Research Board 82, Washington, D.C.
2. Peshkin, D. G.; Hoerner T. E.; Smith K. D.; Bruinsma J. E. and Seeds S. B. [2004]. Pavement Preservation: Design and Construction of Quality Preventive Maintenance Treatments, NHI Course 131103, FHWA-NHI-04-171. Reference Manual, National Highway Institute, Federal Highway Administration, Washington, DC.
3. Virgili A.; Canestrari F.; Grilli A.; Santagata F. A. [2009]. Repeated load test on bituminous systems reinforced with geosynthetics Geotextiles and Geomembranes, Vol. 27, pp. 187–195
4. Laerte Guia Maroni [1993]. El uso de geotextiles en repavimentación asfáltica. Una experiencia resiente. Revista carreteras N° 140. Argentina.
5. Dirección Nacional de Vialidad (DNV) (1998). Pliego de Especificaciones Técnicas Generales. Argentina.
6. Norma VN – E9 – 86 [2008]. Ensayo de Estabilidad y Fluencia por el Método Marshall Dirección Nacional de Vialidad. Dirección Nacional de Vialidad – Edición 2008 1º Distrito Buenos Aires. Argentina.
7. Norma IRAM 78012 [2001]. Ensayo de tracción con probetas anchas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Primera edición 20-4-2001. pp. 1-16. Argentina.

# “Metodología para determinar el potencial de colmatación de un GTX No Tejido con suelos cohesivos de alta plasticidad”

**Becario: Diego Argüero (1)**

Director: Ing. Enrique Fensel (2)

Proyecto de I+D+i de pertenencia: “Sistema dinámico de valoración para el control de fisuración refleja usando Geosintéticos como S.A.M.I. en la rehabilitación de pavimentos”. Código Universidad: UTI1617; Incentivos 25/1054

---

## 1. Resumen

El presente trabajo estudia las propiedades del geotextil para su uso como filtro en suelos cohesivos plásticos, ya que estos resultan ser característicos de la zona, tomando como base la Norma UNE EN ISO 12956/10 que determina la medida de abertura característica de los geotextiles no tejidos por vía húmeda (también conocido como AOS). Se describirán las experiencias realizadas en el LEMaC que buscaron establecer una metodología que permita determinar el potencial de colmatación de un geotextil no tejido, de manera más sencilla y accesible a todo laboratorio de suelos. En este caso el análisis realizado se efectuó sobre suelos pertenecientes al Gran La Plata para uso en lo vial.

## 2. Abstrac

This paper studies the properties of geotextiles for use as a filter in cohesive soils plastics, as these appear to be characteristic of the area, based on the UNE EN ISO 12956/10 which determines the extent of opening feature geotextiles not wet tissue (also known as AOS). The experiences in the LEMaC which sought to establish a methodology to determine the potential for clogging of a nonwoven geotextile, more simple and accessible to all soils laboratory manner described. In this case the analysis was performed on soils in the Greater La Plata for use in the vial.

## 3. Fundamentos

Para establecer una metodología de análisis de la colmatación es necesario considerar los tres elementos básicos que lo componen: el GTX, el suelo y el fluido. En estos casos se busca que el fluido atraviese la superficie del GTX pero no así las partículas de suelo. Para poder cumplir con esta idea es importante conocer lo que se denomina “criterio de colmatación”. Esto ocurre cuando partículas finas de suelo penetran dentro del geotextil, bloqueando sus canales de poros o cuando se depositan del lado aguas arriba del geotextil, reduciendo significativamente el paso del fluido a través de él (es decir reduciendo la permeabilidad). De ello se deduce que el GTX debe tener un mínimo de vacíos que permita la permeabilidad. Ver figura N°1.

(1) Becario del Área MAyOC, LEMaC: Centro de Investigaciones Viales. Dpto. Ingeniería Civil.

(2) Responsable del Área

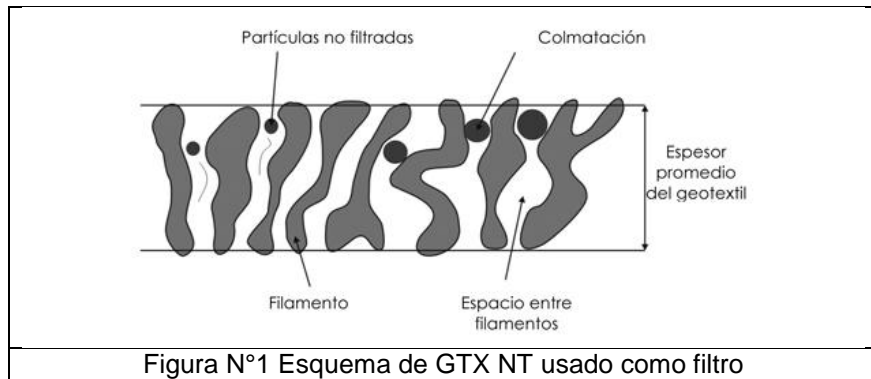


Figura N°1 Esquema de GTX NT usado como filtro

Establecida la importancia de la colmatación en un GTX para su buen desempeño como filtro se define al potencial de oclusión como la capacidad de un suelo para colmatar los espacios vacíos de un GTX NT. Debido a la complejidad que plantea la determinación del AOS es que se propone encontrar un método alternativo y sencillo que relacionando los conceptos de colmatación y AOS pueda arrojar información necesaria para el correcto uso del GTX NT como filtro. Es aquí donde se estudia la metodología para medir el “diámetro aparente de oclusión (DAO)” del GTX NT. Este procedimiento consta en hacer un tamizado del suelo sobre el geotextil y luego correlacionar el porcentaje de suelo que pasa con su curva granulométrica y así determinar la apertura con que filtra el GTX NT.

#### 4. Desarrollo Experimental

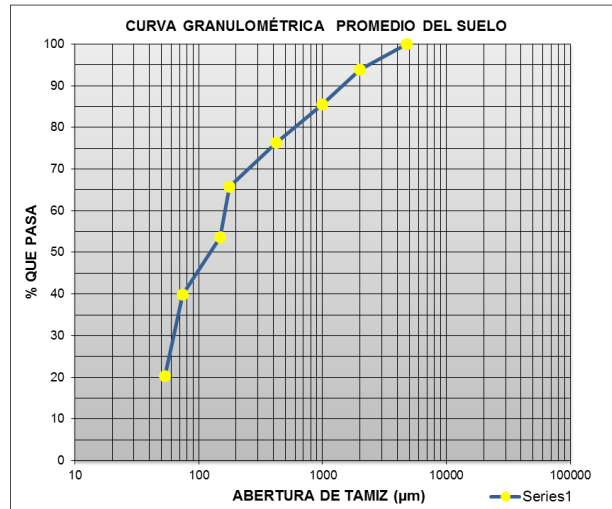
Para esta experiencia se toma una muestra de suelo, se rotura y se toma la fracción fina, tamizándola por el Tamiz N°4. Lo que pasa se coloca en estado aireado en condiciones de laboratorio hasta lograr un estado visual aparentemente seco. Mediante cuarteo se toman muestras aproximadamente de 500 gr referidos a peso de suelo seco a la que se colocan en estufa a 100 °C durante 24 hs, o hasta que el peso sea constante, y así determinar la humedad del suelo, en esta experiencia se obtuvo un 12,72%. Se toman muestras individuales para luego ser tamizadas por cada tamiz elegido. Se fracciona la muestra en bolsas, equivalente a 7 kg/m<sup>2</sup> de suelo seco (Para este caso Pss = 227gr) listo para ensayar. Previo a este ensayo se toman muestras de entre 300 y 500, se las coloca en recipientes con agua durante 24hs hasta asegurar una completa saturación, y se realiza una granulometría vía húmeda tamizándolo por cada tamiz individualmente.

En esta ocasión se tomó la siguiente serie ASTM Ø = 8":

Tamiz N°	Apertura de malla	
	mm	µm
4	4,76	4760
10	2,00	2000
18	1,00	1000
40	0,42	420
80	0,177	177
100	0,149	149
200	0,074	74
270	0,053	53

El suelo retenido en la tamizada, se seca en estufa de 100°C y se determina el porcentaje que pasa. Esto se realiza para cada tamiz y se obtiene una curva granulométrica del porcentaje de suelo que pasa, obteniéndose estos valores:

Granulometría vía húmeda	
Tamiz N°	Pasa Tamiz (%)
4	<b>100,0</b>
10	<b>93,8</b>
18	<b>85,6</b>
40	<b>76,4</b>
80	<b>65,8</b>
100	<b>53,7</b>
200	<b>39,9</b>
270	<b>20,3</b>



Se toman seis muestras representativas del geotextil a ensayar, en este caso GTX NT RT10. Una de las muestras es tamizada solo con agua, para determinar el tiempo q tarda en pasar 2 litros de este fluido, con el fin de establecer el caudal.

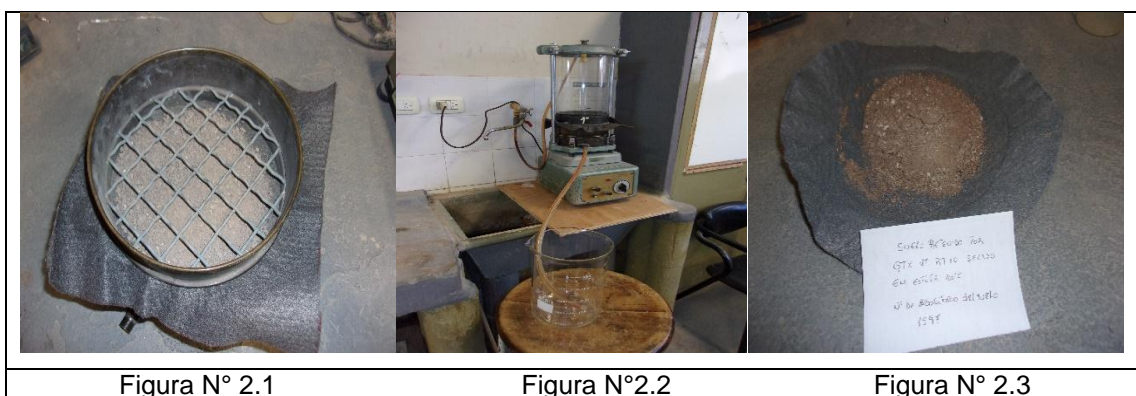
Los tiempos obtenidos para este GXT NT fueron:

Volumen parcial (ml)	Tiempo (min:seg)
400	02:08
600	03:09
800	04:23
1000	05:31
1200	06:33
1400	07:34
1600	08:35
1800	09:36
2000	10:32

Conociendo el tiempo se procede al ensayo: se toma una muestra de GTX NT RT10, se la satura en agua y se la coloca sobre la tamizadora. Luego sobre el geotextil se pone una muestra de suelo, se procede a la apertura del agua conectada al rociador apropiado y se comienza el vibrado hasta el tiempo determinado anteriormente (10:32 min). El agua con suelo que pasa es depositada en un recipiente. Una vez finalizado el ensayo se coloca el geotextil con suelo retenido en la estufa de 100°C durante 24h hasta asegurar peso constante, y así determinar el % que pasa. Esto se vuelve a repetir hasta utilizar las 6 muestras de GTX NT y se toma el promedio.

Por otro lado el recipiente con agua y suelo se lo deja en reposo durante 24hs, transcurrido el tiempo se retira el agua, se pesa el suelo pasante recuperado, para determina el % del mismo.

Estos resultados se los compara con la curva granulométrica del suelo y se obtiene un valor del “Diámetro aparente de oclusión (DAO)”. En la figura N° 2.1 se observa el GTX NT TR10 con suelo listo para ensayar, en la figura N° 2.2 la maquinaria utilizada en el ensayo (tamizadora y recipiente para el agua) y en la figura N° 2.3 el suelo retenido por el GTX NT RT10 una vez finalizado el ensayo.

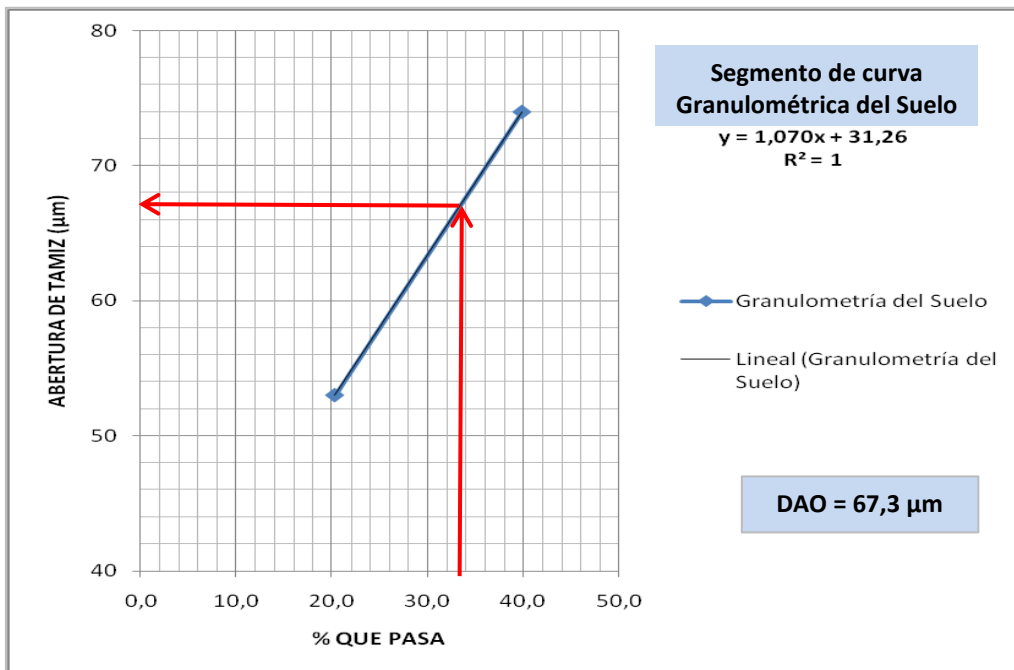


## 5. Resultados obtenidos

Una vez finalizado los ensayos con muestras de GTX NT RT10, las determinaciones obtenidos se colocan en una tabla donde se puede correlacionar los valores con la curva granulométrica y así poder determinar el “DAO” (diámetro aparente de oclusión).

Datos geotextil:	Peso Suelo (7 kg/m <sup>2</sup> )						Promedio
	RT10	1° Det	2° Det	3° Det	4° Det	5° Det	
Peso geotextil (gr) =	17,73	16,40	14,00	14,60	18,80	14,60	
Peso suelo colocado (gr) =	256,00	256,00	256,00	256,00	256,00	256,00	
Peso suelo seco colocado (gr) =	227,15	227,15	227,15	227,15	227,15	227,15	
Tamizado: Peso GTX + suelo seco (gr) =	160,10	173,57	177,07	197,86	158,00	165,41	
Suelo que Pasa (%) =	37,3	30,8	28,2	19,3	38,7	33,6	33,7
Peso Suelo Pasante Recuperado (gr) =	47,4	40,1	35,9	29,3	95,2	82,9	
Suelo Pasante Recuperado (%) =	20,9	17,7	15,8	12,9	41,9	36,5	





## 6. Conclusiones

El objeto de esta tesis fue buscar una alternativa, que permita determinar el potencial de colmatación de un geotextil no tejido, de manera más sencilla y accesible a todo laboratorio de suelos, para suelos con alta plasticidad.

Con la experiencia realizada en el LEMaC con el GTX NT RT10, gracias a esta nueva metodología se logró determinar un valor aproximado del DAO (diámetro aparente de poros) de una forma más sencilla.

En conclusión esta nueva metodología funcionó en GTX NT RT10. Para futuras determinaciones se deberá ensayar con distintos tipos de GTX NT para determinar el DAO de cada uno de estos.

## 7. Bibliografía

- Norma Argentina IRAM 78006 (2007) "Determinación de la abertura de filtración (tamaño aparente de poros), de geotextiles"
- Norma española UNE-ISO 12956 (1999) "Geotextil y productos relacionados con geotextiles. Determinación de la medida de abertura característica"
- Norma Argentina IRAM 78020 (2005) "Determinación potencial de colmatación del sistema geotextil-suelo, en función de la relación del gradiente"
- Manual Geosoft PAVCO, Geo Sistemas PAVCO. "Criterio de colmatación" (Capítulo 9 sistemas de sub drenajes para vías con geotextil, y material granular)

## “DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFALTICA CAC D 19 CON VARIACION DEL TIPO DE FILLER Y TIPO DE ASFALTO Y VALORACION DE LOS CAMBIOS REGISTRADOS EN LA ADHERENCIA”

**Becarios: María Carolina Buscaglia y Juan Ignacio Gatti<sup>(1)</sup>**

Director: Ing. Oscar Rebollo <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia: “Correlación entre módulos dinámicos y deformaciones plásticas permanentes en mezclas asfálticas densas”.

Código: MAIFILP0002089TC Código de incentivos: 25/IM01

---

### 1. Resumen

La falta de adherencia entre el árido y el ligante asfáltico, ha sido el tema para disminuir los deterioros originados en los pavimentos como consecuencia de este fenómeno. La no adherencia genera la formación de desprendimientos, los que afectan negativamente a la estructura, ya sea, a nivel de superficie de rodamiento o favoreciendo el ingreso de agentes agresivos a las carpetas inferiores del paquete estructural. La presencia de agua pone de manifiesto los problemas que se suscitan de adhesión entre los agregados y el asfalto y la interacción entre ellos. Analizamos la susceptibilidad de la mezcla asfáltica ante la presencia de humedad, utilizando una metodología que pone de manifiesto la pérdida de cohesión, como los ensayos de Lottman Modificado y el test del Hervido.

### 2. Abstract

The lack of adhesion between aggregate and asphalt binder, has been the subject to reduce damage to pavement caused as a result of this phenomenon. Nonadherence generates the formation of landslides, which negatively affect the structure, whether at the level of road surface or favor the entry of aggressive lower structural package folders agents. The presence of water shows the problems that arise adhesion between aggregates and asphalt and the interaction between them. We analyze the susceptibility of the asphalt mixture in the presence of moisture, using a methodology that shows the loss of cohesion as Lottman Modified tests and test Boiled.

### 3. Fundamentos

Para el proyecto de investigación se propuso analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica (CAC D19) frente al cambio del ligante asfáltico, utilizando un cemento asfáltico (CA-30) y un asfáltico modificado (AM-3). También se varió el filler, se utilizó un filler granítico que provenía naturalmente de la piedra partida que iba a ser utilizada en la mezcla y un filler calcáreo, el cual se consideró como filler de aporte, que reemplazaba en la misma proporción al filler granítico. Así, se llegaron a confeccionar cuatro tipos de mezclas:

1. CA-30 con filler granítico
2. CA-30 con filler calcáreo
3. AM-3 con filler granítico
4. AM-3 con filler calcáreo

Los áridos utilizados en las mezclas no variaron, la curva granulométrica pre determinada no se hizo variar en ningún punto, ya que el objetivo de la investigación era la influencia del ligante y el filler.

Para el cálculo de la cantidad de ligante óptimo Se utilizó la metodología Marshall.

### 3.1 DISEÑO MARSHALL

El ensayo Marshall es un método ideado para dosificar las mezclas asfálticas empleando asfalto sólido y material granular. Mediante la prueba, se obtiene la cantidad apropiada de asfalto para poder garantizar la suficiente estabilidad y así mismo las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones, un buen recubrimiento de partículas para obtener un pavimento durable con un contenido de asfalto óptimo que recubra, impermeabilice y ligue el material pétreo incluyendo el factor de la compactación.

El diseño Marshall se realizó según la norma VN-E9-86.

Los datos más importantes del diseño de las mezclas por el método Marshall son los que se presentan en la siguiente tabla:

		Dm (g/cm <sup>3</sup> )	E (Kg)	F (mm)	V (%)	Rel E/F (Kg/cm)	% Opt. Asf.	Dr (g/cm <sup>3</sup> )	VAM (%)	Rel B/V (%)
CA -30	Con Cal	2,422	1029	3,3	3,4	3094	4,8	2,508	13,8	84,2
	Sin cal	2,323	1078	3,6	3,6	2994	4,7	2,410	13,9	78,4
AM-3	Con Cal	2,418	1290	3,8	3,2	3394	4,8	2,499	14,8	78,3
	Sin cal	2,422	1210	4,0	3,5	3025	4,7	2,510	14,9	76,6

### 3.2 SISTEMA ASFALTO – ÁRIDO

Es un sistema complejo, donde intervienen hidrocarburos provenientes del petróleo, su composición son del tipo parafínicos, nafténicos y aromáticos. Conviven en general en dos fases, asfaltenos y maltenos. Los primeros a temperatura ambiente son un cuerpo negro, frágil y con punto de reblandecimiento elevado, ejercen una influencia muy fuerte sobre las características adhesivas y aglomerantes del ligante. Los segundos, los maltenos, poseen un aspecto resinoso. Su clasificación involucra hidrocarburos polares aromáticos y naftenos aromáticos.

#### 3.2.1 Ligante asfáltico

El ligante asfáltico a temperatura ambiente es un material negro, pegajoso, semi-sólido y altamente viscoso. Es caracterizado como termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría, pudiendo repetirse estas operaciones indefinidas veces. Para poder ser usado en la elaboración de mezclas en caliente, es condición fundamental reducir su viscosidad, o sea, llevarlo temporariamente a una consistencia de fluido (licuarlo) permitiendo su manipulación durante las operaciones de construcción,

- (1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC, Depto de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.

como ser el bombeo a través de cañerías, transporte en tanques, distribución a través de picos rociadores y el mezclado con los agregados.

### **3.2.2 Árido**

Se denomina como árido a aquellos fragmentos de rocas que proceden de canteras. Existe una gran variedad de rocas que presentan características diferentes y que condicionan el comportamiento de los áridos. Los tipos de rocas que pueden encontrarse dependerán de su emplazamiento geográfico. Desde el punto de vista geológico un árido se puede caracterizar y clasificar realizando un examen petrológico de las rocas y minerales que lo componen. Estudiar y clasificar específicamente los tipos litológicos que componen un árido es relevante, ya que permite predecir su comportamiento en función de la aplicación en la que se utilice el mismo. Los agregados pueden ser del tipo ácido o básico. Los agregados ácidos contienen sílice, mientras que los agregados básicos contienen carbonatos. Más allá de estas apreciaciones de origen, deberán observarse propiedades físico-mecánicas tales como limpieza, textura, absorción, peso específico y valoraciones de forma.

La aportación de finos pasante el tamiz N° 200, fillers, podrá estar dada naturalmente en los áridos y deberá ser considerada la incorporación de fillers de aporte. Estos producirán cambios en la adherencia y en la resistencia al envejecimiento de la mezcla asfáltica.

Los áridos naturalmente se dejan mojar por el agua, más que por los ligantes asfálticos. Esta situación, que se fundamenta más adelante, hace que no sólo la acción del agua sea importante durante el proceso de mezclado del árido con el ligante, sino a posteriori cuando la mezcla entra en servicio, sometida a la acción de la temperatura que provocará cambios de consistencia en el ligante, a la acción del tránsito que provocará esfuerzos de despegue entre el ligante y el árido y a la acción del agua que por el fenómeno de tensión superficial intentará desplazar en forma continua la película de asfalto adherida al árido.

### **3.2.3 Mejoradores de Adherencia**

#### **3.2.3.1 Definición**

Los surfactantes son sustancias compuestas anfífilas, es decir de una doble estructura polar-no polar, pudiéndose agruparlos en tensioactivos de origen orgánico o inorgánico. Poseen la propiedad de disminuir la tensión superficial del líquido en que se encuentran, favoreciendo el contacto entre las diferentes fases. Para que un producto sea considerado tensioactivo debe contener dos grupos funcionales básicos: la zona polar, denominada hidrófila que posee atracción por solventes polares especialmente el agua, y una zona no polar, denominada hidrófoba que tiene afinidad por los solventes orgánicos.

#### **3.2.3.2 Clasificación**

La clasificación de los agentes tensioactivos se fundamenta en el poder de disociación en presencia de un electrolito y de sus propiedades fisicoquímicas.

Pueden ser iónicos o aniónicos: los iónicos tienen gran afinidad electrostática con los dipolos del agua (aniónicos, catiónicos o anfóteros), mientras que los aniónicos se ionizan en solución acuosa para dar origen a iones orgánicos

- (1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC, Depto de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.

cargados negativamente, que son los responsables de la actividad superficial. Están formados por una cadena alquílica (formada por hidrógeno y carbono) lineal o ramificada que va de 10 a 14 átomos de carbono, y en su extremo polar de la molécula se encuentra un anión.

### **3.2.3.3 Propiedades del promotor de adhesión**

*Contenido de Amina:* se efectúa con un pehachímetro. Con este ensayo se puede obtener el contenido de aminas totales sin distinguir el tipo de amina. Si se utilizan aminas en estado de base o de acetato se realiza por potenciometría en medio de ácido acético puro, neutralizando con ácido perclórico.

*Tipos de Aminas:* se las puede evidenciar por electroforesis sobre papel. Esta técnica permite un fraccionamiento cualitativo muy completo. Las distintas aminas se revelan por las distintas coloraciones obtenidas por medio de un revelador adecuado.

*Estructura química:* Se puede utilizar la espectrografía infrarroja, donde los espectros de absorción del infrarrojo, presentan bandas características de los grupos químicos presentes en la molécula.

### **3.2.4 Mecanismos y teorías de causantes del desprendimiento**

#### **3.2.4.1 Mecanismos de desprendimiento de película**

Los principales mecanismos son: falta de recubrimiento (adherencia activa) y de desprendimiento (adherencia pasiva). Una vez que la película de ligante envuelve los áridos, la permanencia de la película y su calidad frente a las condiciones climáticas y de tránsito se puede ver modificada por varios mecanismos.

Lo primero a considerar, es que la película de asfalto no es impermeable, por lo tanto la película de agua es posible que ingrese a la interface con el árido provocando el desplazamiento del asfalto, comenzando una acción de desplazamiento crítica.

*Emulsificación espontánea:* con la presencia del tránsito, la adhesividad del asfalto en la superficie del árido se ve modificada, formándose una emulsión inversa, en donde el asfalto comienza a tener un color marrón claro, que queda recubriendo el agregado.

*Rotura de película:* La rotura de la película se puede dar por fisuras en la superficie de la película de asfalto o en puntos debido a la presencia de polvo adherido al árido. Esta rotura se puede dar por la acción de cargas durante el proceso de construcción, por el tránsito en condiciones de servicio, o por los cambios ambientales de humedecimiento y secado, congelamiento y deshielo. Una vez que la película se ha roto, el acceso del agua es inminente e intentará desplazar al asfalto, apareciendo ampollas en el recubrimiento existente.

*Presión de poros:* este mecanismo pone de manifiesto la combinación de ciclos de congelamiento y deshielo, frente a acciones de sollicitaciones del tránsito.

- (1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC, Depto de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.



Con estos ciclos aumenta la presión de poros en la interfase árido-ligante y comienzan a deteriorarse las fuerzas de adhesión.

*Decapado hidráulico:* se da en mezclas en caliente saturadas con agua, cuando concurre con fenómenos de compresión de la mezcla en servicio con ejes de tránsito pesado. Esto hace que la tracción producida provoque el desprendimiento del asfalto de la superficie de los áridos más expuestos.

*Osmosis:* ocurre debido a la presencia de sales o soluciones de sales en los poros del agregado y por lo tanto, la creación de un gradiente de presión osmótica que succiona el agua a través de la película de asfalto. Es un proceso muy lento. Se ve favorecido cuando el asfalto es cáustico o cuando algunos agregados en su composición poseen los iones de sal en la superficie.

*El mecanismo de retroceso:* permite observar por ejemplo, en mezclas sometidas al test del hervido en los áridos en donde se ha desprendido el asfalto, que luego de unas horas cuando se quita totalmente el agua, vuelve a cubrirse en mayor medida la superficie con el asfalto desprendido.

*Ph del sistema:* la adherencia del asfalto al árido está fuertemente influenciada por el pH del agua de contacto. Los efectos de diferentes fuentes de agua, por ejemplo de red o agua destilada, entre otras, en la superficie sometida a la prueba de ebullición, demostraron diferencias significativas en los resultados de la prueba. Los resultados indicaron que la retención del recubrimiento, disminuye cuando el pH aumenta.

*Condiciones ambientales:* como se señalara, la acción del agua y la temperatura es significativa y varía su importancia en función del tipo de minerales en los áridos. Aunque también los asfaltos son más o menos sensibles al agua y a las temperaturas. Vale decir que los dos componentes son influidos e interaccionan con las condiciones ambientales.

### **3.2.5 Técnicas recomendables para la evaluación de la adherencia árido ligante**

#### **3.2.5.1 Métodos cualitativos**

*Test del Hervido:* método para evaluar el efecto del agua sobre agregados con recubrimiento asfáltico, usando agua en ebullición. Resulta ser una herramienta de aproximación en la valoración de las mejoras producidas por el mejorador de adherencia amínico. Este ensayo consiste en obtener una muestra de mezcla asfáltica en caliente, disgregarla, dividirla en dos partes, a una se la introduce en agua hirviendo durante 10 minutos, luego se la compara visualmente con la muestra patrón, y se observa que el desprendimiento del asfalto, en la superficie total de los agregados que conforman la mezcla, no sea superior al 5 %.

*Riedel – Weber:* este ensayo tiene por finalidad determinar el grado de adhesividad del agregado fino con el asfalto. Estos agregados pueden ser arena natural o machaqueo. Se evalúa la mezcla árido - ligante cuando se

- (1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC, Depto de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.

somete a la acción de soluciones de carbonato de sodio a concentraciones crecientes. Según la observación visual realizada en el ensayo, se puede decir que se notó desprendimiento entre el agregado y el asfalto en el tubo de prueba con la concentración que va de 1 a 9, se informa si este es mayor o menor al 95 %.

*Determinación de la adherencia entre agregado y ligante:* se utiliza una fracción de agregado que pasa el tamiz 9,5 mm y es retenida por el tamiz 6,3 mm, la cual es lavada a fin de remover los finos. Se seca a 105 °C hasta que dos pesadas sucesivas no difieran en 0,5 g. Se toman 100 g del agregado seco y se calienta durante 1 hora en estufa, a la misma temperatura que se utilizará el ligante asfáltico. Éste deberá ser calentado a una temperatura no mayor a 100 °C de su punto de ablandamiento. Se agregan 5,5 g de ligante caliente al agregado caliente, mezclándolos hasta que los agregados estén completamente cubiertos de ligante. Se deja enfriar hasta temperatura ambiente. El agregado cubierto, se transfiere a un vaso de 600 ml, se cubre inmediatamente con 400 ml de agua a temperatura ambiente, se lleva el conjunto a la temperatura del punto de ablandamiento del asfalto más 5 °C y se deja inmerso de 16 a 18 horas a esa temperatura. Luego de transcurrido dicho lapso, se inspecciona visualmente sin agitar ni mover el agregado, se quita la película flotante en la superficie de agua, se ilumina la muestra de una manera tal que no se produzca reflejos sobre la superficie. Se observa a través del agua y se estima la superficie cubierta, en más o en menos del 95 % de la superficie total de las partículas de agregado.

### **3.2.5.2 Métodos cuantitativos**

Se describen a continuación los dos métodos que, a juicio de los autores, representan en forma más precisa la acción de los efectos causados por el agua, la temperatura, el congelamiento y las acciones abrasivas:

*Test de Lottman:* resistencia al daño causado por humedad de las mezclas asfálticas. Es un ensayo que se ajusta más a las condiciones de obra cuantificando la adhesividad. El mismo ha permitido determinar la resistencia a la tracción indirecta de los especímenes, midiendo la pérdida de cohesión de una mezcla compactada como resultado de los efectos de la saturación acelerada en agua, permitiendo medir la resistencia de la mezcla en conjunto.

*Test del cántabro húmedo:* este método determina la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre mezclas asfálticas compactadas de granulometría abierta. Con el método se obtiene un índice numérico del aumento de pérdida de masa, como consecuencia de comparar los resultados del ensayo entre series duplicadas de probetas, unas mantenidas al aire y otras sometidas a la acción del agua, en las condiciones que prescribe el método. Se calcula, para cada probeta ensayada, la pérdida por desgaste expresada en tanto por ciento de la masa inicial.

## **4. Desarrollo experimental**

*Test de LOTTMAN:* El procedimiento consta de los siguientes pasos: un grupo de probetas deben ser ensayadas a tracción indirecta luego de estar

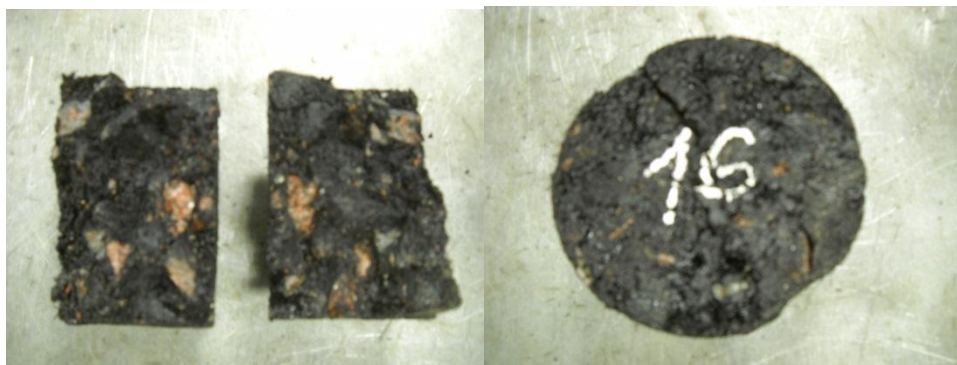
- (1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC, Depto de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.

acondicionadas en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas, denominado grupos en seco.

El segundo grupo se acondiciona de la siguiente manera: primero se saturan las probetas colocadas en un recipiente con agua por medio de vacío, luego se colocan a – 18 °C durante 16 horas, cumplido este paso se colocan las probetas en un baño de agua a 60 °C durante 24 horas, inmediatamente después se colocan en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas, para luego ser ensayadas a tracción indirecta, siendo el 80 % el valor mínimo de exigencia de la relación de las tensiones de tracción indirecta TSR.

### **MEZCLAS CON CA-30**

<b>CA-30 SIN CAL</b>										
Prob. Nº	Altura	Diametro	Lectura	Carga	Tracción Indirecta	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Humeda	Calculo TSR= RH/RS*100	MEZCLA SIN CAL	Tipo de Ensayo
	cm	cm		g	g/cm <sup>3</sup>	R <sub>S</sub>	R <sub>H</sub>		CA-30 SIN CAL	
13	6,60	10,27	77,0	661,8	6,2	6,9		100%		S/Acond
14	6,25	10,27	81,0	696,2	6,9					
15	6,60	10,27	93,0	799,3	7,5					
16	6,27	10,27	58,0	498,5	4,9		5,3	76,5		Acond
17	5,89	10,27	67,0	575,9	6,1					
18	6,45	10,27	58,0	498,5	4,8					



**CA-30 sin cal sometida a tracción indirecta**

<b>CA-30 CON CAL</b>										
Prob. Nº	Altura	Diametro	Lectura	Carga	Tracción Indirecta	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Humeda	Calculo TSR= RH/RS*100	MEZCLA CON CAL	Tipo de Ensayo
	cm	cm		g	g/cm <sup>3</sup>	R <sub>S</sub>	R <sub>H</sub>		CA-30 CON CAL	
1	6,31	10,27	85,0	730,6	7,2	7,6		100%		S/Acond
2	6,33	10,27	88,0	756,4	7,4					
3	6,20	10,27	95,0	816,5	8,2					
4	6,26	10,27	80,0	687,6	6,8		6,9	90,7		Acond
5	6,26	10,27	80,0	687,6	6,8					
6	6,31	10,27	83,0	713,4	7,0					

- (1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC, Depto de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.



**CA-30 con cal sometida a tracción indirecta**

**MEZCLAS CON AM-3**

AM3 SIN CAL										
Prob. Nº	Altura	Diametro	Lectura	Carga	Tracción Indirecta	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Humeda	Calculo TSR= RH/RS*100	MEZCLA SIN CAL	Tipo de Ensayo
	cm	cm		g	g/cm <sup>3</sup>	R <sub>s</sub>	R <sub>H</sub>		AM3 SIN CAL	
19	6,69	10,27	90,0	773,6	7,2	8,0		100%		S/Acond
20	6,26	10,27	100,0	859,5	8,5					
21	6,45	10,27	100,0	859,5	8,3					
22	6,27	10,27	95,0	816,5	8,1		8,1	101,6		Acond
23	6,33	10,27	95,0	816,5	8,0					
24	6,26	10,27	97,0	833,7	8,3					



**AM-3 sin cal sometida a tracción indirecta**

AM3 CON CAL										
Prob. Nº	Altura	Diametro	Lectura	Carga	Tracción Indirecta	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Humeda	Calculo TSR= RH/RS*100	MEZCLA CON CAL	Tipo de Ensayo
	cm	cm		g	g/cm <sup>3</sup>	R <sub>s</sub>	R <sub>H</sub>		AM3 CON CAL	
7	6,41	10,27	97,0	833,7	8,1	8,2		100%		S/Acond
8	6,46	10,27	99,0	850,9	8,2					
9	6,35	10,27	99,0	850,9	8,3					
10	6,29	10,27	88,0	756,4	7,5		8,1	99,5		Acond
11	6,49	10,27	99,0	850,9	8,1					
12	6,34	10,27	105,0	902,5	8,8					

- (1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC, Depto de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.



**CA-30 con cal sometida a tracción indirecta**

## 5. Análisis de resultados

Los resultados de resistencia a la tracción indirecta se presentan en la siguiente tabla:

	<b>Resistencia a tracción en seco</b>	<b>Resistencia a tracción húmeda</b>	<b>%</b>
CA-30 filler granítico	6,9	5,3	76,5
CA-30 filler cal	7,6	6,9	90,7
AM-3 filler granítico	8,0	8,1	101,6
AM-3 filler cal	8,2	8,1	99,5

Realizando un análisis de los resultados podemos decir que:

- Hay incremento de cohesión del CA-30 filler cal del RS (resistencia a tracción en seco) en un 10 %.
- Aumentó la cohesión del CA-30 filler cal del RH (resistencia a tracción húmeda) en un 30%.
- La relación del filler cal es de un 30% mayor que con el granítico.
- Para que la mezcla “CA-30 filler granítico” cumpla con el 80% establecido por la norma, se deberá elevarle el porcentaje de filler granítico.
- La mezcla con filler calcáreo cumple con el 80% solicitado por la norma.
- La comparación de la mezcla formada con AM-3 con filler constante para la condición seca sería de un 15%. Y si se compara con la mezcla del CA-30 es de 53% lo que aumenta las tensiones húmedas del AM-3.

## 6. Conclusiones

- La cal mejora los valores de tensión muy sensibles para un ligante convencional. Para un ligante modificado, los factores de cohesión dependerán fundamentalmente del ligante y no de la incorporación de la cal.
- En el ligante convencional, en la condición húmeda, el aumento de la tensión es casi del 30%. Para el ligante modificado no se ve tan representativo ya que el ligante es el preponderante.

(1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC, Depto de Ing. Civil

(2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.



- El colocar asfalto modificado hace que la mezcla tenga un mejor comportamiento con respecto de la adherencia, aun cuando el filler es granítico, por obvia razón cuando se lo reemplaza por cal esta mejora mucho más.

## **7. Bibliografía**

- Becario Ignacio Zapata Ferrero. Diferencias entre emulgentes y promotores de adhesión.
- H.Gerardo Botasso, Oscar R. Rebollo, Cecilia J. Soengas, Marcela Balige, Alejandro Bisio, Alejandro Berardo. Metodología para la evaluación en la incorporación de promotores de adherencia en cementos asfálticos

(1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC,  
Depto de Ing. Civil

(2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.

# “FUNDAMENTOS DE AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS ASFALTICAS DENSAS Y EL EFECTO CAUSADO POR EL CAMBIO DE FILLER Y ASFALTO Y SU RELACION CON LA ADHERENCIA”

**Becarios: Paola Soledad Cedrik & Lucas Saino** <sup>(1)</sup>

Director: Ing. Gerardo H. Botasso <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:

“Correlación entre módulos dinámicos y deformaciones plásticas permanentes en mezclas asfálticas densas” Código Maifilp0002089tc Código De Incentivos 25/IM01”

Código UTN – 1618. Disposición 315/11

## 1. Resumen

Cuando un vehículo cargado se ubica sobre la calzada se genera sobre la estructura del pavimento un esfuerzo que causa, en cualquier lugar de la estructura, sollicitaciones horizontales, verticales y de corte.

Este estado tensional puede producir deformación del tipo permanente sobre la calzada habitualmente denominado ahuellamiento. La acción combinada de elevados niveles de tránsito, tránsito pesado y/o lento y altas temperaturas favorece dicho fenómeno. Los pavimentos ahuellados tienen una seguridad deficiente y es por esto que es necesario un adecuado control de la mezcla.

Por esta razón es que durante el desarrollo de esta tesis se buscó analizar de qué manera varía la resistencia al ahuellamiento de una mezcla asfáltica cuando se modifica el tipo de filler y el cemento asfáltico utilizados.

## 2. Abstract

When a loaded vehicle is located on the road is generated on the pavement structure an effort to cause anywhere in the structure, horizontal, vertical and shear stresses.

This stress level can cause permanent deformation of the type commonly referred to on the road rutting. The combined action of high levels of traffic, heavy traffic and / or slow and high temperatures. Ahuellados pavements have poor safety and this is why proper control of the mixture is necessary.

For this reason it is that during the development of this thesis sought to analyze how varying the resistance to rutting of asphalt when modified the type of filler and the asphalt cement used.

## 3. Fundamentos

Las deformaciones permanentes o ahuellamientos son el deterioro caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original. En las mezclas asfálticas son uno de los modos de falla más frecuentes que se producen sobre los pavimentos y consisten en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos.

Existen dos tipos principales de ahuellamiento:

- Por fallas en la subrasante
- Por fallas en la capa de la mezcla asfáltica

En este caso nos interesa el ahuellamiento que se debe a la acumulación de deformaciones en las capas asfálticas. En general, es causado por una reducción volumétrica del material que compone la mezcla asfáltica y por las deformaciones debidas a los esfuerzos cortantes que transmiten las cargas del tránsito.

(1) Becarios del Área de Materiales Viales, Centro de investigaciones viales LEMaC, Depto de Ing. Civil

(2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto.

### Formación del ahuellamiento en una mezcla asfáltica:

Se puede decir que los mecanismos principales de formación de huellas en el área de sollicitación es el siguiente:

- Compactación del tránsito. En esta fase inicial, la compactación debida al tránsito tiene una mayor influencia en las deformaciones.

- Luego, el volumen que disminuye por debajo de las llantas es aproximadamente igual al volumen que se incrementa por los bordes en la parte superior del pavimento. Esto es un indicador de que mayormente la compactación se lleva a cabo bajo las sollicitaciones del tránsito y que las huellas son causadas primordialmente por desplazamiento con volumen constante. Esta fase se consideró en gran parte para representar el comportamiento de la deformación en el tiempo de vida del pavimento.

La deformación a través de las capas de concreto asfáltico es mayor cerca de la superficie donde se aplican las cargas y gradualmente decrece en las capas de niveles inferiores. El flujo plástico se reduce con la profundidad.

Los principales factores que hacen sensible a una mezcla al ahuellamiento son:

- Granulometría de los áridos.
- Forma, tamaño y textura de los áridos.
- Contenido de polvo mineral en la mezcla.
- Tipo y cantidad de ligante asfáltico. Modificación del asfalto.
- Contenido de Vacíos en el agregado mineral y contenido de vacíos en la mezcla asfáltica.
- Cargas por eje equivalente de los vehículos y presión de contacto de los neumáticos con el pavimento y frecuencia.
- Las condiciones ambientales.

*Haciendo una síntesis se puede decir que, los efectos principales en las variaciones son:*

	<b>Factor</b>	<b>Cambio del factor</b>	<b>Efecto sobre la resistencia al ahuellamiento</b>
<b>Agregado</b>	Textura superficial	Lisa a rugosa	Incremento
	Granulometría	Discontinua a continua	Incremento
	Forma	Redondeada a granular	Incremento
	Tamaño	Aumento del tamaño máximo	Incremento
<b>Ligante Asfáltico Mezcla Asfáltica</b>	Módulo de rigidez	Incremento	Incremento
	Contenido de ligante	Incremento	Disminuye
	Contenido de vacíos de aire	Incremento	Disminuye
	Contenidos de vacíos de agregado mineral	Incremento	Disminuye
<b>Condiciones</b>	Método de compactación	Superado el límite superior o el inferior	Disminuye
	Temperatura	Incremento	Disminuye

*de ensayo*

Estado y nivel de tensiones	Incremento en el nivel de tensiones	Disminuye
Presencia de humedad	Seco a saturado	Disminuye si la mezcla es sensible al agua

Cuadro nº1: Factores que afectan el ahuellamiento. (\*)

### 3.1. Ensayos

Los ensayos de laboratorio que permiten caracterizar las mezclas asfálticas desde el punto de su deformabilidad tratan de reproducir lo mejor posible las condiciones de solicitaciones in situ, e incluyen generalmente distintas posibilidades de ensayo de las muestras bajo diferentes estados de tensiones, temperatura, humedad, etc. Estos ensayos se llevan a cabo con distintos fines, de dosificación de la mezcla, caracterización de las mismas y comparación con los requisitos o normas fijadas. Esto ayuda a que los pavimentos puedan ser previamente analizados antes de su colocación, o bien después de su colocación, y además, brindan parámetros que permiten predecir el ahuellamiento.

Entre los más utilizados se pueden mencionar:

1. Ensayo de creep estático en compresión axial y triaxial,
2. Ensayo de creep en compresión axial y triaxial con carga pulsante,
3. Ensayo en compresión triaxial con carga dinámica,
4. Ensayo de tracción indirecta por compresión diametral con carga pulsante,
5. Ensayo de corte simple,
6. Ensayo Compactador Giratorio,
7. Ensayo de Resistencia a la Deformación o de "Punzonado",
8. Ensayo de rueda cargada o **Wheel-tracking test**.

El WTT es el ensayo utilizado para el desarrollo de la presente tesis, consiste en medir la velocidad de deformación o la deformación vertical que se produce en una muestra de mezcla asfáltica, ante la aplicación de cargas sobre una rueda a una determinada frecuencia de sollicitación y temperatura de ensayo.

Los principales parámetros que se definen en el ensayo son:

**Velocidad de deformación:** Este parámetro expresa la velocidad con la cual se incrementa la huella en el tiempo. Puede determinarse para diferentes tiempos del ensayo, a partir de la curva deformación vs tiempo.

**Velocidad de deformación media:** promedio de las velocidades de deformación obtenidas para las diferentes muestras de ensayo.

**Tasa de ahuellamiento:** otra forma de considerar la velocidad con que se incrementa la deformación es el incremento de huella respecto al número de ciclos aplicados.

**Profundidad de ahuellamiento:** deformación máxima alcanzada durante el ensayo medida en mm.

**Estabilidad dinámica:** este parámetro indica el número de pasadas de la rueda necesaria para conseguir una profundidad de la huella de 1 mm, siendo una pasada equivalente a un recorrido.

## Modelos para medir ahuellamiento

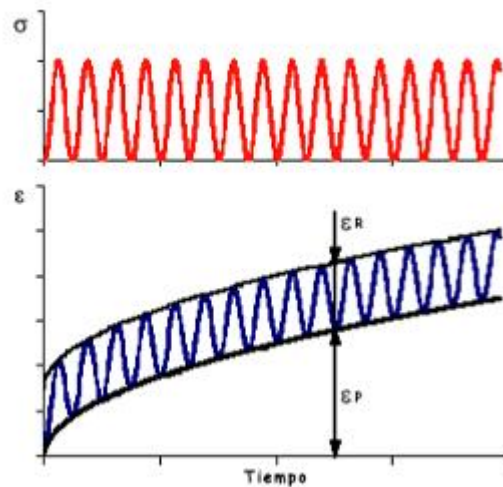


Gráfico n°1: Evolución de la deformación permanente para una carga cíclica. (\*\*)

El comportamiento de la mezcla frente a un estado de sollicitación es mediante el inmediato desarrollo de deformaciones específicas del tipo elástico, seguidas por otras del tipo viscoso y dependientes del tiempo tal cual se expresara con anterioridad. Si la carga es cíclica, como la que se muestra en el gráfico, la deformación plástica se va acumulando en el tiempo.

La evolución de la deformación en el tiempo se desarrolla en tres fases:

La primaria: se produce rápidamente en los primeros ciclos

La secundaria: propia de cada mezcla.

La terciaria: es una deformación a volumen constante y deformaciones por corte

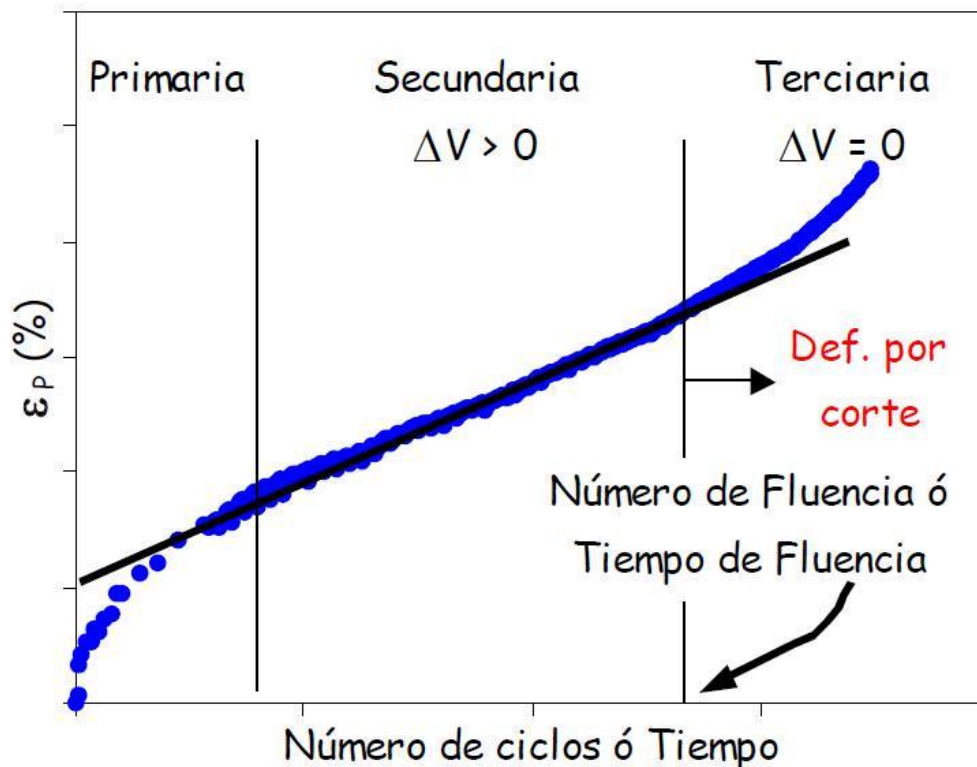


Gráfico n°2: Evolución de la deformación en el tiempo. (\*\*)



## Etapas de las deformaciones permanentes

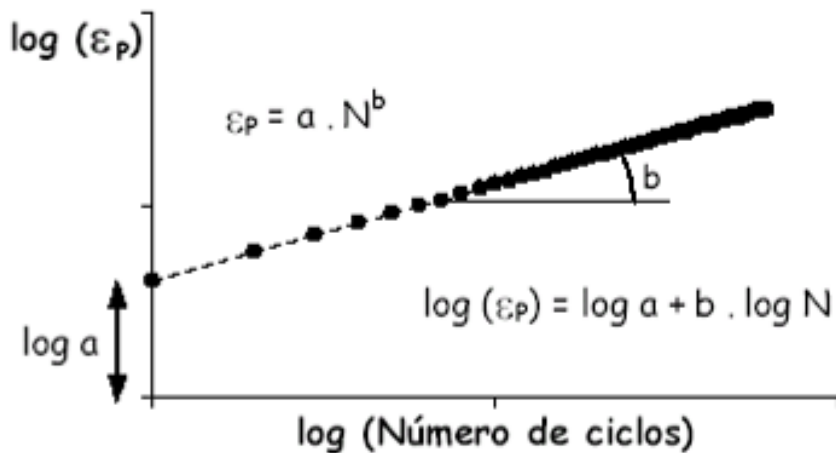


Gráfico n°3: Deformaciones plásticas permanentes según el número de ciclos. (\*\*)

Los parámetros que se consideran para la valoración del comportamiento de los concretos asfálticos frente al ahuellamiento, para el caso de “small device”, son la velocidad de deformación WTS (wheel tracking slope) expresada en mm cada 1000 pasadas y la profundidad proporcional de huella PR (proportional rut) expresada en porcentaje del espesor total.

### 3.2. Equipo Utilizado

Los ensayos de rueda cargada, a pesar de estar normalizados, tienen la desventaja que existen muchos diseños de equipos diferentes y que, por lo tanto, no es factible comparar la magnitud del ahuellamiento entre ellos. Sus resultados permiten para un equipo determinado establecer un “ranking” o clasificación de las mezclas respecto al comportamiento a la deformación permanente. Una vez calibrados pueden operar como ensayos del tipo “pasa” – “no pasa”. Por lo tanto, cabe resaltar que la desventaja más importante al presente es que no permite predecir el ahuellamiento que se va a producir en una determinada capa de concreto en servicio. Por otro lado, tienen la ventaja que su costo no es tan elevado como los anteriores, su operación es más sencilla y permite optimizar el diseño de la mezcla asfáltica.

#### **Equipo para medir ahuellamiento desarrollado en el LEMaC**

El instrumental para medir ahuellamiento, tanto el ensayo propiamente dicho como el equipo para compactar las probetas fueron desarrollados en el LEMaC, en el marco de la presente Tesis. Se ha realizado para que se ajustara a la normativa vigente en la Comunidad Europea, 2004. (BS EN 12697-22:2003 Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt part 22. Wheel Tracking).

A continuación se dan las características del equipo y la muestra de ensayo:

#### Características de la probeta

- Dimensiones de la probeta:

<b>Espesor probeta (cm)</b>	<b>2.5</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>Tamaño máximo del agregado (mm)</b>	< 8	8<TMT>16	16<TMT<22	22<TMT<32

Espesor probetas en función del tamaño máximo del agregado  
La probeta utilizada es de 30 cm de lado

Probeta de ensayo

- Cantidad de probetas: 2 probetas
- Grado de compactación exigido: El mas cercano al 100 %, mínimo 97 %
- Determinación de la densidad: según Norma EN 12697-33 o EN 12697-32 con muestra sumergida
- Acondicionamiento previo al ensayo: 4 horas a 60 °C

Características de la rueda:

- Diámetro: 20 cm
- Ancho: 5 cm
- Espesor: 2 cm

- Dureza Shore A: 80
- Carga estática: 700 N

Característica de la pista:

- Recorrido: 23 cm
- Frecuencia: 26,5 ciclos/minutos

Temperatura de Ensayo: 60 °C precisión 0,1 °C

Largo del brazo: 1 m

Dispositivo de control de la temperatura

- Con termocuplas en el recinto

Elementos de medición de las deformaciones

- LVDT

Duración del ensayo

- 10000 ciclos o 20 mm de huella

Resolución en la medición del ahuellamiento: 0,01 mm

Cada muestra esta compuesta por el promedio de 25 puntos distribuidos en los 100 mm centrales de la probeta

#### 4. **Desarrollo experimental**

- *Diseño de la mezcla*

El diseño de la mezcla se realizó como se detalla en la tesis “**Diseño de una mezcla asfáltica CAC D19 con variación del tipo de filler y tipo de asfalto y valoración de los cambios registrados en la adherencia**”.

Se fabricaron cuatro tipos de muestra, combinando dos tipos de asfalto (AM3-modificado y CA30-común), con dos tipos de filler (granítico y calcáreo-cal).



Imagen nº1: Mezclador utilizado para elaborar las muestras.

- *Moldeo*

Fueron moldeadas dos probetas de cada tipo, en total fueron ocho probetas. La compactación se realizó con el equipo Rollercompact.



Imagen nº2: Compactación

- *Ensayo*

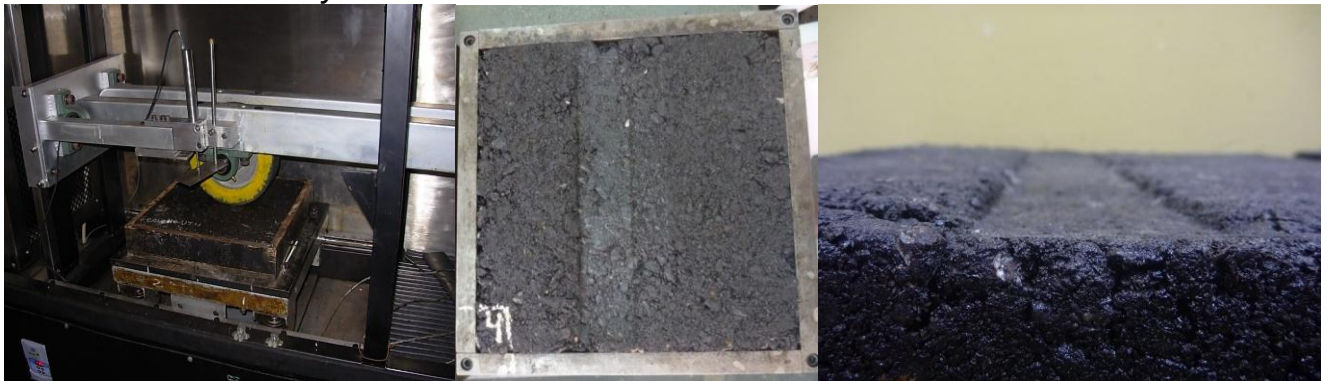


Imagen nº 3: Ensayo de la probeta.

## 5. **Análisis de Resultados**

Las probetas se analizaron según el procedimiento B de la norma la BS EN 12697-22:2003.

Pendiente de ahuellamiento:

$$WTS_{\text{AIRE / AGUA}} = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5} \left[ \frac{\text{mm}}{10^3 \text{ ciclos}} \right]$$

Pendiente media de ahuellamiento

Donde:

- $D_i$ = profundidad de la huella a los  $i$  ciclos
- WTS= pendiente media de ahuellamiento

Además se informa

- PRD, profundidad de ahuellamiento media proporcional: Es el promedio de la profundidad de la huella respecto del espesor de 2 o más muestras expresadas en porcentaje de  $\pm 0,1\%$  para  $N$  ciclos de carga.
- RD, profundidad de ahuellamiento media: Profundidad de huella de 2 o más muestras  $\pm 0,1$  mm para  $N$  ciclos de carga.

Los lineamientos generales del ensayo se encuentran descritos en la normativa EN 12697-22; en lo vinculado a las condiciones del mismo y a su duración, se adoptó el procedimiento B de la nombrada normativa.

Los parámetros que se consideran para la valoración del comportamiento de los concretos asfálticos frente al ahuellamiento, para el caso de “small device”, son la velocidad de deformación WTS (wheel tracking slope) expresada en mm cada 1000 pasadas y la profundidad proporcional de huella PR (proportional rut) expresada en porcentaje del espesor total.

<b>Parámetros</b>	<b>CA - 30</b>	<b>CA - 30</b>	<b>AM - 3</b>	<b>AM - 3</b>
	<b>Filler granítico</b>	<b>Filler cal</b>	<b>Filler granítico</b>	<b>Filler cal</b>
<b>Rd (mm)</b>	3.630	3.655	2.765	1.710
<b>PRD (%)</b>	7.26	7.31	5.53	3.42
<b>Wts</b>	0.134	0.165	0.118	0.055 *
<b>Espesor (mm)</b>	50	50	50	50

Tabla n°2: Comparación de resultados promedio de las probetas ensayadas

\*En Argentina se está proponiendo un valor  $< 0.100$

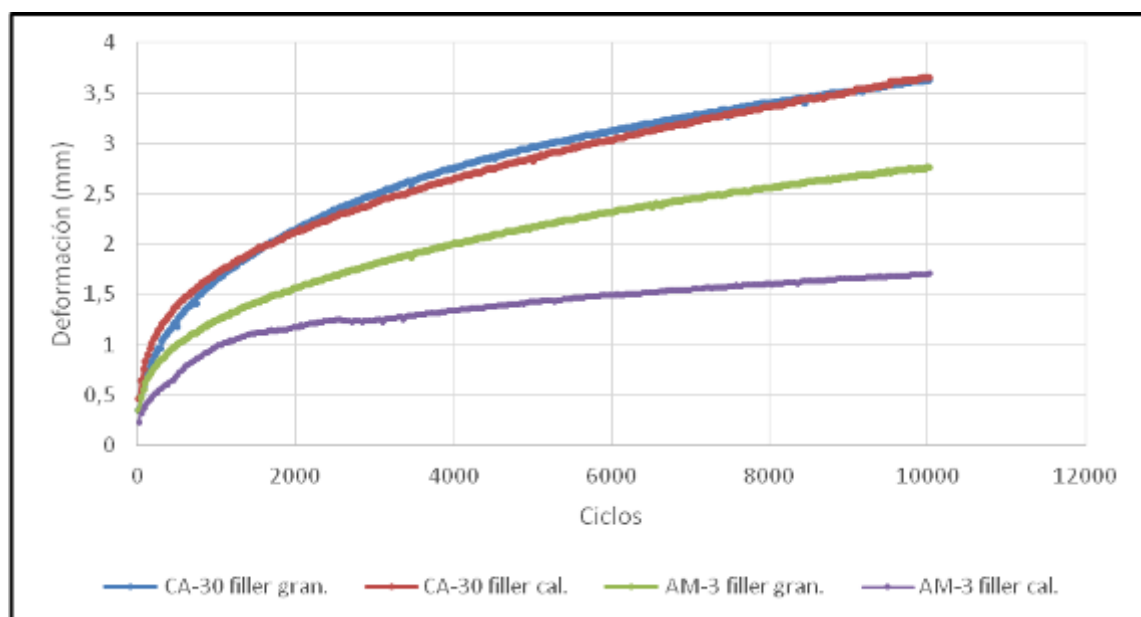


Gráfico n°4: Comparación de las curvas promedio de cada tipo de muestra.

Variaciones porcentuales entre los distintos tipos de filler

	<i>CA-30 Filler granítico</i>	<i>CA-30 Filler cal</i>
<b>RD (mm)</b>	3,63	↑0,69%
<b>PRDaire (%)</b>	7,26	↑0,69%
<b>WTSaire (mm/103)</b>	0,13	↑23,23%

Tabla n°3: Variaciones porcentuales de filler utilizando CA-30

	<i>AM-3 Filler granítico</i>	<i>AM-3 Filler cal</i>
<b>RD (mm)</b>	2,765	↓38,16%
<b>PRDaire (%)</b>	5,53	↓38,16%
<b>WTSaire (mm/103)</b>	0,118	↓53,39%

Tabla n°4: Variaciones porcentuales de filler utilizando AM-3

Para el estudio de los resultados se utilizaron los valores orientativos adoptados por Silvia Angelone en el desarrollo de su tesis doctoral. Los mismos son  $Wts < 0,100$  y  $Prd < 5,5\%$ .

Analizando los datos de las tablas se puede apreciar que en los asfaltos **convencionales** el origen del filler prácticamente no afecta los parámetros que evalúa el ensayo de wheel-tracking.

Con respecto a los asfaltos **modificados** se valora una marcada mejoría de las propiedades de la mezcla elaborada con filler calcáreo.

Se citan además los valores considerados como orientadores provenientes de la Tesis de Silvia Angelone.

## 6. Conclusiones

### ➤ *Análisis de la Profundidad Media de la Huella (Rd = mm)*

Con asfalto convencional, el Rd es aproximadamente parecido para los 2 tipos de filler. Para los modificados se observa una fuerte disminución con el filler calcáreo.

Si se comparan los ligantes, el Rd disminuye pero es más pronunciado con la incorporación del filler calcáreo.

Si se compara el Rd de los convencionales con el AM3 pero con el filler granítico, se tiene un 25 % de disminución. Si lo comparamos con la cal como filler, esta disminución es del 55 %.

### ➤ *Análisis de la Profundidad de Ahuellamiento Medio Proporcional Respecto del Espesor de la Muestra (PRD = %)*

Se puede observar que son casi todos iguales los valores. Según la bibliografía, la PRD debería ser  $\leq 5.5\%$  por lo tanto solo la mezcla con AM3 con cal como filler, estaría dentro de ese parámetro. La mezcla con el mismo ligante pero con filler granítico podría también ser contemplada como satisfactoria.

### ➤ *Análisis de la Pendiente Media de Ahuellamiento entre los 5000 y 10000 ciclos de ensayo (WTS = mm.10<sup>-3</sup> ciclos)*

Para una probeta de 5 cm de espesor, se aceptaría un valor de 2.75 mm.

Si analizamos los resultados, no sería coherente el valor de la mezcla con CA-30 y cal, comparándola con el mismo ligante pero con filler granítico.

Como algo general se puede concluir que la mezcla con AM3 y con cal como filler es la de mejor comportamiento.

- Se puede concluir que el cambio de betún tiene un efecto más significativo sobre el comportamiento de la mezcla para resistir el ahuellamiento y la capacidad de adherencia, que el filler utilizado.

## **7. Bibliografía**

- “Comportamiento de materiales viales. Diseño y control de mezclas asfálticas frente a la deformación permanente.” Angelone Silvia. Año 2013
- “Inclusión de caucho reciclado en mezclas asfálticas” Botasso Gerardo H. Año 2007. ISBN 998-950-42-0114-4.
- “Diseño de una mezcla asfáltica CAC D19 con variación del tipo de filler y tipo de asfalto y valoración de los cambios registrados en la adherencia”. María Carolina Buscaglia y Juan Ignacio Gatti. Año 2014.
- Norma UNE-EN12697-22:2008+A1 “Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente- Parte 22: Ensayo de rodadura”. Año 2008.
- (\*)Cuadro nº1: Extraído de la tesis de Silvia Angelone
- (\*\*)Gráfico nº1, nº2 y nº3: Extraídos de la tesis de Botasso Gerardo H.

# “FUDAMENTOS DE MODULO DE RIGIDEZ EN MEZCLAS ASFALTICAS DENSAS Y LAS VARIACIONES REGISTRADAS CON EL CAMBIO DE FILLER Y ASFALTO Y SU RELACION CON EL AHUELLAMIENTO”

Becario: Darío Asuaje <sup>(1)</sup>  
Director: Mg. Ing. Luis Agustín Ricci <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:

“Estudio de las deformaciones plásticas permanentes en mezclas asfálticas densas con polímeros”

Código UTN: UTI-1094 Código de Incentivos 25/1045

---

## 1. Resumen

El presente trabajo tuvo como punto de partida la introducción en la temática referida al módulo dinámico por parte del becario, a fin de abastecer al Proyecto de I+D+i en esta temática, sumándole un valor agregado referente a la evaluación dinámica. Se buscó en primer instancia comparar los módulos dinámicos de las mezclas asfálticas utilizadas para el Proyecto mencionado, las cuales varían en el tipo de asfalto y filler, para luego observar la existencia de alguna correlación entre el valor del módulo de rigidez y los valor del ensayo de ahuellamiento (Wheel Tracking Test) efectuados sobre las mismas mezclas.

## 2. Abstract

The present work has as its starting point the introduction into the subject referred to the dynamic modulus by the grantee, to supply the I+D+i in this area, adding an added value to the project. Sought in the first instance to compare the dynamic modules of asphalt mixtures used for the I+D+i proyect, which vary in the type of asphalt and filler, then we observe the existence of a correlation between the modulus of rigidity and test value rutting (Wheel Tracking Test) conducted on mixtures thereof.

## 3. Fundamentos

El ensayo de módulo dinámico es de gran utilización en todo el mundo para valorar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas. Se puede determinar mediante siete tipologías de aplicación de cargas. En el caso de estudio se utiliza el ensayo de tracción indirecta por compresión diametral con cargas repetidas, siendo éste el más difundido ya que posee ciertas ventajas prácticas frente a otros métodos.

Para entender conceptualmente, se puede suponer que frente a la aplicación de una carga sinusoidal  $\sigma t$ , un material visco-elástico como lo es la mezcla asfáltica, responderá con una deformación sinusoidal  $\epsilon t$  desfasada en el tiempo, el valor de ese desfasaje será  $\phi$ .

En dicho ensayo las probetas se someten a deformación en su rango lineal, bajo cargas repetidas, se miden las amplitudes del esfuerzo aplicado y de la deformación, junto con la diferencia de fase entre el esfuerzo y la deformación.

$\omega$  = frecuencia angular ;  $\phi$  = ángulo de fase.

(1) Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMAc Depto Ing. Civil

(2) Director de Beca y/o Codirector Cargo en el proyecto o en el Depto. o cátedra asociada



El módulo dinámico se puede calcular utilizando la expresión (1):

$$S_m = \frac{F \cdot (v + 0,27)}{(z \cdot h)} \quad (1)$$

- $S_m$ : módulo de rigidez medido. [MPa]
- $F$ : valor máximo de la carga vertical aplicada. [N]
- $z$ : amplitud de la deformación horizontal. [mm]
- $h$ : espesor medio de la probeta. [mm]
- $v$ : coeficiente de Poisson.

Este valor de Módulo de Rigidez  $E$ , puede ser determinado experimentalmente para materiales como las Mezclas Asfálticas empleadas en pavimentos.

Para este trabajo se empleo la norma UNE – EN 12697 – 26, Mezclas bituminosas, Parte 26: Rigidez, Anexo C: Ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas. Esta norma determina los métodos para caracterizar la rigidez de las mezclas asfálticas.

Cabe destacar que en dicha norma se especifica que el ensayo se hará tanto a distintas frecuencias: 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 2 – 5 – 10 – 20 – 50 Hz, como a distintos escalones de temperatura 0 - +10 - +15 - +20 - +30 - +40 °C. Esto, claro, para observar el comportamiento de la mezcla a diversas condiciones.

En esta tesis, lo que se propuso fue estudiar la influencia en el módulo de rigidez que tiene tanto el tipo de asfalto como el tipo de filler utilizado en las mezclas elegidas para el Proyecto de I+D+i de referencia, como así observar la relación entre los valores obtenidos del ensayo de módulo de rigidez y los valores obtenidos del ensayo de ahuellamiento (Wheel Tracking Test). Ambos ensayos hecho sobre las mismas mezclas.

#### **4. Desarrollo experimental**

La experiencia comenzó con la extracción de testigos de las probetas utilizadas para el ensayo de WTT (Wheel Tracking Test), siendo estas un total de 8 probetas, 2 de cada tipo de mezcla (CA-30 con filler granítico, CA-30 con cal de aporte, AM-3 con filler granítico y AM-3 con cal de aporte), se procedió al calado de al menos 3 testigos por cada probeta ensayada, sobre la zona no afectada por el ensayo. Del total de testigos obtenido se eligió (en función de su regularidad superficial y densidad) un testigo representativo de cada tipo de mezcla.



Foto N° 1. Testigos extraídos de las probetas de Wheel Tracking Test.

Una vez elegidos los testigos a ensayar se continuó con la determinación del diámetro y el espesor de las probetas, tomando la medición de dos diámetros perpendiculares y tres espesores.

En segunda instancia se lleva a cabo el acondicionamiento, dejando las probetas a ensayar 4 horas a la temperatura indicada para luego estar en condiciones de ensayar. Se decidió ensayar a escalones de temperatura de: 10°C, 20°C y 30°C, con frecuencias de 0,5; 1; 2 y 5 Hertz.

El equipo empleado está conformado por una prensa neumática, la cual se coloca dentro de un recinto con temperatura controlada. Para la medición de la fuerza aplicada se utiliza una celda de carga tipo "S" y para las mediciones de deformación transversal dos LVDT los cuales se colocan diametralmente opuestos.

El equipo se controla mediante un software instalado en una PC, donde se pueden visualizar los resultados del ensayo en tiempo real y exportar los mismos a planillas Excel.

## 5. Análisis de Resultados

Condición de Ensayo	Testigo	Densidad	Frecuencia	Ed1	Ed2	ACEPTA	Edprom
		[gr/cm <sup>3</sup> ]	[Hz]	[Mpa]	[Mpa]		[Mpa]
10°C	1.1-2.4	2,401	0,5	16115	15932	SI	16023
			1,0	16693	16044	SI	16368
			2,0	16733	16837	SI	16785
			5,0	19594	19905	SI	19749
20°C	1.1-2.4	2,401	0,5	6207	6272	SI	6239
			1,0	6690	6500	SI	6595
			2,0	7442	6927	SI	7185
			5,0	9378	9631	SI	9504
30°C	1.1-2.4	2,401	0,5	2898	2978	SI	2938
			1,0	2918	2999	SI	2959
			2,0	3145	3214	SI	3179
			5,0	6140	6205	SI	6173

Tabla N° 1. Resultados obtenidos en probetas con CA-30 con Filler Granítico.

Condición de Ensayo	Testigo	Densidad	Frecuencia	Ed1	Ed2	ACEPTA	Edprom
		[gr/cm <sup>3</sup> ]	[Hz]	[Mpa]	[Mpa]		[Mpa]
10°C	3.2-4.1	2,393	0,5	16064	14544	SI	15304
			1,0	16490	15568	SI	16029
			2,0	17174	15965	SI	16569
			5,0	20110	20517	SI	20314
20°C	3.2-4.1	2,393	0,5	5421	5207	SI	5314
			1,0	5652	5284	SI	5468
			2,0	5966	5819	SI	5893
			5,0	8566	8055	SI	8311
30°C	3.2-4.1	2,393	0,5	1831	1996	SI	1913
			1,0	1936	1818	SI	1877
			2,0	2492	2266	SI	2379
			5,0	4801	4433	SI	4617

**Tabla N° 2.** Resultados obtenidos en probetas con CA-30 con Filler Cal.

Condición de Ensayo	Testigo	Densidad	Frecuencia	Ed1	Ed2	ACEPTA	Edprom
		[gr/cm <sup>3</sup> ]	[Hz]	[Mpa]	[Mpa]		[Mpa]
10°C	5.1-6.4	2,394	0,5	10112	9855	SI	9984
			1,0	10127	10428	SI	10277
			2,0	10541	10427	SI	10484
			5,0	12736	12224	SI	12480
20°C	5.1-6.4	2,394	0,5	6211	5357	SI	5784
			1,0	6502	5595	SI	6049
			2,0	7145	6701	SI	6923
			5,0	9065	7846	SI	8456
30°C	5.1-6.4	2,394	0,5	1717	1475	SI	1596
			1,0	1608	1535	SI	1571
			2,0	1932	1721	SI	1826
			5,0	3114	2825	SI	2969

**Tabla N° 3.** Resultados obtenidos en probetas con AM-3 con Filler Granítico.

Condición de Ensayo	Testigo	Densidad	Frecuencia	Ed1	Ed2	ACEPTA	Edprom
		[gr/cm <sup>3</sup> ]	[Hz]	[Mpa]	[Mpa]		[Mpa]
10°C	7.1-8.2	2,417	0,5	15867	13059	SI	14463
			1,0	16542	14042	SI	15292
			2,0	17034	17104	SI	17069
			5,0	19268	19342	SI	19305
20°C	7.1-8.2	2,417	0,5	5295	4963	SI	5129
			1,0	5360	4969	SI	5165
			2,0	5845	5352	SI	5598
			5,0	8640	7516	SI	8078
30°C	7.1-8.2	2,417	0,5	1693	1480	SI	1586
			1,0	1720	1706	SI	1713
			2,0	1890	1811	SI	1850
			5,0	3218	3058	SI	3138

**Tabla N° 4.** Resultados obtenidos en probetas con AM-3 con Filler Cal.

Podemos observar en los resultados obtenidos que en las mezclas donde se empleó asfalto CA-30, las que tuvieron adiciones de filler granítico dieron mayores valores de módulo que aquellos que tuvieron adición de filler cal. Dichas diferencias se acentuaron cuando las probetas fueron sometidas a menor frecuencia de carga y mayor temperatura, lo cual resulta lógico ya que es una situación crítica en los pavimentos.

Observando el comportamiento de las mezclas con asfalto modificado AM-3, se repite la diferencia en cuanto al mejor comportamiento de las mezclas con filler granítico como adición frente a las que tuvieron filler cal.

En este caso las diferencias observadas en la variación de frecuencias y temperaturas fueron menores que en el caso de las mezclas con CA-30, lo que indica que las mezclas con AM-3 reflejaron menor susceptibilidad térmica y menor susceptibilidad frente a la variación en la velocidad de carga.

No obstante para frecuencias elevadas el Módulo de Rigidez de las mezclas con ligante modificado es de menor valor que el de la mezcla con ligante convencional e igual filler de aporte.

## **6. Conclusiones**

De la comparativa entre los resultados obtenidos en el ensayo de deformaciones plásticas permanentes bajo rueda cargada y el ensayo de módulo de rigidez se puede decir que los valores obtenidos han sido contrapuestos.

Mientras que para la probeta elaborada con asfalto convencional CA-30 y filler granítico se obtuvieron las mayores profundidades de huella, es decir un peor comportamiento, sus módulos de rigidez han sido los más altos.

En el otro extremo se encuentra la mezcla asfáltica elaborada con asfalto modificado AM-3 y con cal como filler de aporte. En el ensayo de deformaciones plásticas permanentes ha sido la mezcla de mejor comportamiento, no obstante los módulos de rigidez obtenidos en un rango medio a alto de frecuencia reducida han sido los más bajos.

Para las mezclas con un mismo ligante (dadas similares concentraciones volumétricas pero mayor concentración crítica para el caso de la mezcla con filler granítico) las diferencias de rigideces pueden verse justificadas por el cambio de la forma y aspereza de las partículas de filler, al haber sustituido el filler granítico natural, por la cal como filler de aporte.

## **7. Bibliografía**

AENOR. (2006). "en 12697-26 mezclas bituminosas, metodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente, parte 26: rigidez". España.

AENOR. (2006). "en 12697-26 mezclas bituminosas, metodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente, parte 26: rigidez". España.

# “FUNDAMENTOS DEL METODO UCL Y LOS EFECTOS PRODUCIDOS POR EL CAMBIO FILLER Y ASFALTO”

**Becarios: Zapata Ferrero Ignacio, Quispe Sallo Irvin, Gerardi Carolina** <sup>(1)</sup>

**Directores: Ing. Botasso Gerardo, Ing. Soengas Cecilia, Ing. Rebollo Oscar** <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:

"Correlación entre módulos dinámicos y deformaciones plásticas permanentes en mezclas asfálticas densas"

Código MAIFILP0002089TC. Código de incentivos 25/IM01

---

## 1. Resumen

El Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña, España, permite identificar ligantes asfálticos, obteniendo sus características esenciales y su comportamiento frente a la cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad, y envejecimiento.

El objetivo de esta investigación, es visualizar el comportamiento de dos tipos de ligantes asfálticos (CA-30 y AM3), influenciados por dos clases de fillers (granítico y calcáreo) utilizando el método antes mencionado.

## 2. Abstract

Method Universal Characterization of Binders (UCL) developed at the Polytechnic University of Catalonia, Spain, allows us to identify asphalt binders, obtaining their essential characteristics and their behavior towards cohesion, thermal sensitivity, adhesiveness, and aging.

The objective of this research is to visualize the behavior of two types of asphalt binders (CA-30 and AM3), influenced by two kinds of fillers (granite and limestone) using the above method.

## 3. Fundamentos

En el proyecto de investigación al que pertenece esta tesis, se propuso analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica (CAC D19) frente al cambio de ligante asfáltico, utilizando un CA-30 en primera instancia y luego un AM-3.

A su vez también se propuso considerar variaciones en el tipo de filler que utilizaría cada una mezcla. Los mismos fueron filler granítico y filler calcáreo. El filler granítico proviene de la arena de trituración que va a ser utilizada como agregado dentro de la mezcla, mientras que el filler calcáreo (cal), se lo considera como filler de aporte, y reemplaza el 100% del pasante en el 200 de la arena de trituración. Por lo tanto se confeccionaron cuatro tipos de mezclas que denominamos:

Mezcla 1 = CA-30 con filler granítico

Mezcla 2 = CA-30 con filler cal

Mezcla 3 = AM-3 con filler granítico

Mezcla 4 = AM-3 con filler cal

Los áridos utilizados en las cuatro mezclas fueron siempre constantes, con una curva granulométrica definida, no haciéndose variar en ningún punto, ya que el objetivo de la investigación es evaluar la influencia del ligante y el filler, y no de los agregados que tuviera la mezcla.

1. Becarios del Centro de Investigaciones Viales, LEMaC, Dpto. Ingeniería Civil
2. Tutores de la Tesis de Investigación

Se utiliza la metodología Marshall para el cálculo de la cantidad de ligante óptimo de cada una de las mezclas y sus parámetros característicos (cantidad de vacíos, relación estabilidad fluencia, etc.).

En la tabla N° 1 se puede visualizar la dosificación de cada una de ellas:

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4
<b>Piedra 6:20</b>	42,9	42,8	42,9	42,8
<b>Arena de trit.</b>	52,4	47,73 (s/f)	52,4	47,73 (s/f)
<b>Cal</b>		4,67		4,67
<b>Asfalto CA-30</b>	4,7	4,8		
<b>Asfalto AM-3</b>			4,7	4,8
<b>Total</b>	100	100	100	100

**Tabla n°1.** Resumen de las dosificaciones de las mezclas evaluadas, en porcentaje (s/f) arena lavada sin pasa tamiz 200, sin filler propio, se aporta el 100% por parte de la cal

Con estas mezclas, además se evalúan: la resistencia a las deformaciones plásticas permanentes por medio del ensayo de wheel tracking test; la adherencia árido ligante a través del Test de Lottman modificado y el análisis modular de las mismas con el ensayo de módulo dinámico.

### 3.1. El filler y su influencia dentro de la mezcla

Las mezclas anteriormente citadas cuentan con una proporción de filler (pasa tamiz N° 200) constante, en el orden del 5 por ciento en peso del total de los áridos. Este valor fue el obtenido de la curva del árido granítico, es por ello que al reemplazar el filler calcáreo (cal) fue dicha proporción la utilizada.

Los beneficios de incorporar cal a las mezclas asfálticas

El *filler* se comporta de dos formas diferentes. Por un lado, de forma inerte, permite rellenar los huecos que deja la matriz del agregado en la mezcla asfáltica. Por otro lado produce modificaciones físico-químicas en el asfalto cuando interactúa con el mismo, produciéndole, principalmente una reducción a la susceptibilidad térmica, que se traduce en una mejor respuesta de la mezcla a los problemas de ahuellamiento, producido a altas temperaturas.

Se puede decir que son tres las principales funciones del filler:

- Función rellenadora de la mezcla.
- Modificador del comportamiento reológico y cohesivo del sistema filler/betún.
- Acción estabilizante frente al agua.

La incorporación de filler a la mezcla asfáltica le efectúa a la misma múltiples beneficios ya que cambia sustancialmente las propiedades del asfalto. Entre las más importantes se pueden citar:

- Mayor consistencia
- Mayor viscosidad
- Mayor tenacidad
- Menor susceptibilidad térmica

También cambia las propiedades de la mezcla asfáltica en su conjunto:

- Mayor estabilidad
- Mejor resistencia a la tracción
- Mejor resistencia al desgaste
- Mejor adhesividad entre el árido y el ligante

Sin embargo, una incorporación excesiva de filler a la mezcla puede producir una disminución de las ventajas vistas anteriormente. Para poder encontrar este límite, en el cual la incorporación de filler, deja de ser beneficiosa, la Comisión Permanente del Asfalto propone:

$$\frac{Cv}{Cc} \leq 1$$

Dónde:

Cc: Concentración crítica

Cv: Concentración volumétrica

La concentración crítica es una característica propia de cada tipo de filler y se obtiene por medio del ensayo según la norma la Norma VN-E-11-67. La misma considera añadir pequeñas porciones de filler secado a 100-105 °C, a 20 cm<sup>3</sup> de kerosene anhidro en un tubo de 25 cm<sup>3</sup> graduado al 0,1 cm<sup>3</sup> y de diámetro interno 15 mm. El peso de filler empleado debe ser tal que el volumen de sedimento esté comprendido entre 8 y 12 cm<sup>3</sup>. La concentración crítica se puede expresar con la fórmula 3:

$$Cc = \frac{P}{V * \rho}$$

Dónde:

P = Peso del filler en gramos.

V = Volumen del sedimento en cm<sup>3</sup>

ρ = Peso específico del filler seco

La concentración volumétrica, nos indica la cantidad de filler que tiene la mezcla en relación a la cantidad de asfalto que se utilizará.

$$Cv = \frac{\text{Filler}}{\text{Filler} + \text{betun}} \text{ (en volumen)}$$

En particular, para las distintas mezclas propuestas, las relaciones fueron las siguientes:

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4
<b>% Asfalto</b>	4,70	4,80	4,70	4,80
<b>CC</b>	0,34	0,30	0,34	0,30
<b>CV</b>	0,27	0,27	0,27	0,27
<b>CV/CC</b>	0,79	0,90	0,79	0,90

**Tabla n° 2.** Resumen de las relaciones entre concentración crítica y concentración volumétrica en función del porcentaje de asfalto.



En base a los resultados calculados, se pueden ver que todas las mezclas cumplen con la relación CV/CC por debajo de 1 que recomiendan las especificaciones.



Imagen n°1 y 2: Ensayo de densidad y concentración crítica.

### 3.2 Ensayo UCL

La resistencia de las mezclas bituminosas en caliente depende de varios factores, pero uno de los más importantes, es el del comportamiento del cemento asfáltico. Los inconvenientes producidos por los defectos que tenga el asfalto, derivan en acortamientos de la vida útil de las mezclas, reducciones de condiciones de seguridad y confort al tránsito de los usuarios, y el perjuicio económico que resulta de la puesta en servicio de vías deterioradas.

Existen varios métodos que permiten cuantificar el envejecimiento del betún asfáltico, para la mayoría de ellos lo realiza en forma asilada (por ejemplo TFOT, RTFOT, Rotavapor) Estos métodos no pueden evaluar el comportamiento del betún en su etapa de servicio ni tampoco la afectación del relleno mineral que se disponga para la dosificación de la mezcla.

El método de caracterización universal de ligantes, permite evaluar el betún asfáltico dentro del conjunto que proporciona la mezcla asfáltica, y su interacción, no solo con los agregados, sino también con el filler que tendrá la mezcla. Este método basado en el ensayo Cántabro de abrasión por desgaste nos muestra la respuesta funcional de la mezcla, evaluándolo con una curva granulométrica preestablecida, calculando las pérdidas producidas por el desgaste dentro de la máquina de ensayo Los Angeles luego de 300 vueltas (Norma NLT 352/2000)

Dentro del trabajo de investigación, este método permite evaluar los beneficios que surgen de adicionarle distintos tipos de filler a la mezcla, y también las variaciones del comportamiento de las distintas clases de asfalto. Los mismos fueron:

- El envejecimiento. Debido a los efectos del entorno (aire y calor entre otros) se produce oxidación y envejecimiento de los ligantes rigidizando la mezcla
- La susceptibilidad térmica. Dado que los ligantes asfálticos son materiales visco-elásticos, sus propiedades varían con la temperatura y frecuencia de carga.
- La cohesión, o poder aglutinante de la mezcla

- La adhesividad. Esto se refiere a la adherencia ligante - agregado bajo el efecto del agua.

### 3.3 Variación del tipo de filler.

Para este ensayo en particular, se vieron modificadas las proporciones de materiales usados en la dosificación de la mezcla. El método propone un porcentaje constante de asfalto del 4,5%, y una granulometría específica.

En el caso del filler se planteó, dejar constante la relación Cv/Cc para analizar la influencia de las distintas clases de filler. El resumen de los cálculos para la dosificación de las distintas mezclas se refleja en el siguiente cuadro.

Mezcla	Relación Cv/Cv	Porcentaje a incorporar	Relación Pfiller/Pasfal.
Sin filler	0	0	0
Filler granítico	0.8	5,85	1,3
Filler cal	0.8	3,76	0,83

**Tabla n°3:** Resumen de concentraciones críticas y sus relaciones.

El límite que presentan las especificaciones de las relaciones Cv/Cc=1 y de Peso filler/Peso asfalto que se debe encontrar entre 0,8 y 1,3, indican los límites de incorporación de filler a una mezcla antes de que la misma se rigidice. Como se puede apreciar en el cuadro, para producir el mismo efecto con los dos tipos de filler, se visualiza que la cal tiene un mejor rendimiento, ya que para lograr el mismo efecto, el filler granítico tiene que incorporarse en un porcentaje mayor.



**Imagen n° 3 y 4:** Filler cal y filler granítico

## 4. Desarrollo experimental

Para la confección de las probetas se consideró la metodología de ensayo, que plantea el método con una granulometría específica y un porcentaje de asfalto igual a 4,5%. La curva granulométrica a utilizar es la siguiente

UNE	ASTM	%PASA
5	N°4	100
2,5	N°8	20
0,63	N°30	0

Para la correcta evaluación y comparación de los resultados, el método propone en primera medida, realizar una mezcla patrón, la cual solamente llevará los áridos que contenga la mezcla, en las proporciones citadas anteriormente, pero sin ningún tipo de filler. Posteriormente se moldearan las probetas con el filler correspondiente, en nuestro caso, granítico y cal, que se plantea evaluar.

Se propusieron, evaluar las siguientes mezclas:

- M1: CA-30 sin filler
- M2: AM-3 sin filler
- M3: CA-30 con filler granítico
- M4: AM-3 con filler granítico
- M5: CA-30 con filler cal
- M6: AM-3 con filler cal

En base a la cantidad de ensayos y los resultados que se querían obtener se realizaron la siguiente cantidad de probetas:

Días	Cántabro seco								
	0 días (sin envejecer)			3 días			7 días		
T°	5	25**	40	5	25	40	5	25	40
M1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
M2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
M3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
M4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
M5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
M6	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sub Total	12 (4*)	12 (4*)	12 (4*)	12 (4*)	12 (4*)	12 (4*)	12 (4*)	12 (4*)	12 (4*)
Total	120(40*)								

**Tablas n° 4:** Cantidad de probetas moldeadas para el Cántabro seco.

Tipo de mezcla	Cántabro húmedo	
	24 hs - 60°C en agua	
	0 días 25°C (6 horas 25°C)	
M1	2	
M2	2	
M3	2	
M4	2	
M5	2	
M6	2	
Total	12(4*)	

**Tablas n° 5:** Cantidad de probetas moldeadas para el Cántabro húmedo.



**Imagen n° 5, 6 y 7:** Probetas antes de ser ensayadas.





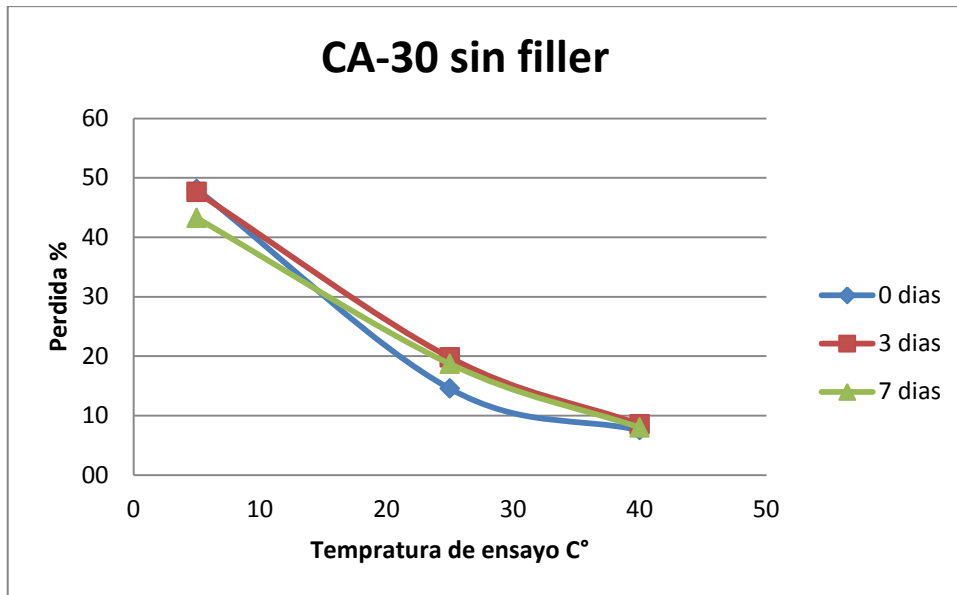
**Imagen n° 8 y 9:** Probetas luego de ser ensayadas.

## **5. Análisis de resultados**

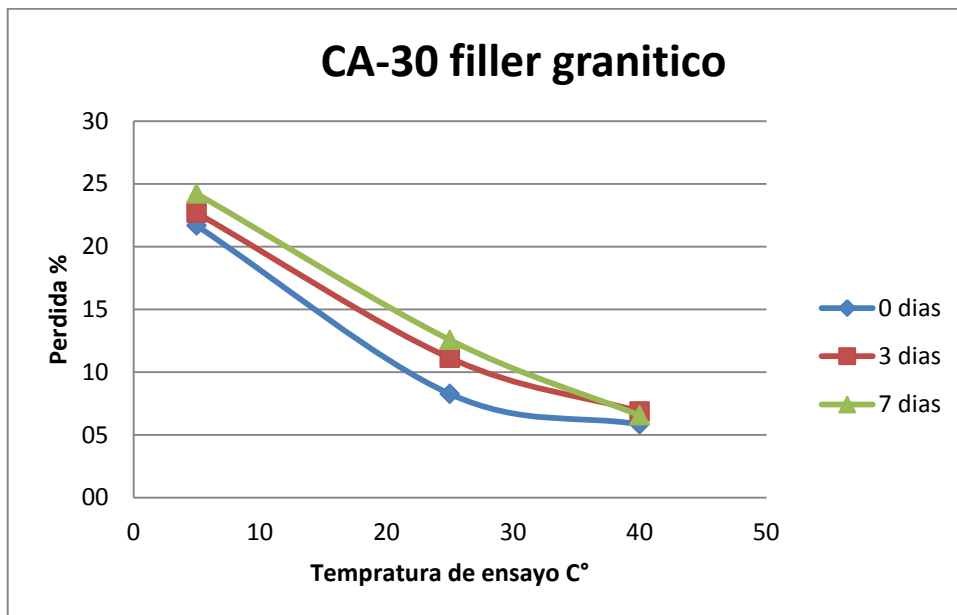
Para el análisis de los resultados de los ensayos, se propusieron evaluar cuatro parámetros:

### Envejecimiento

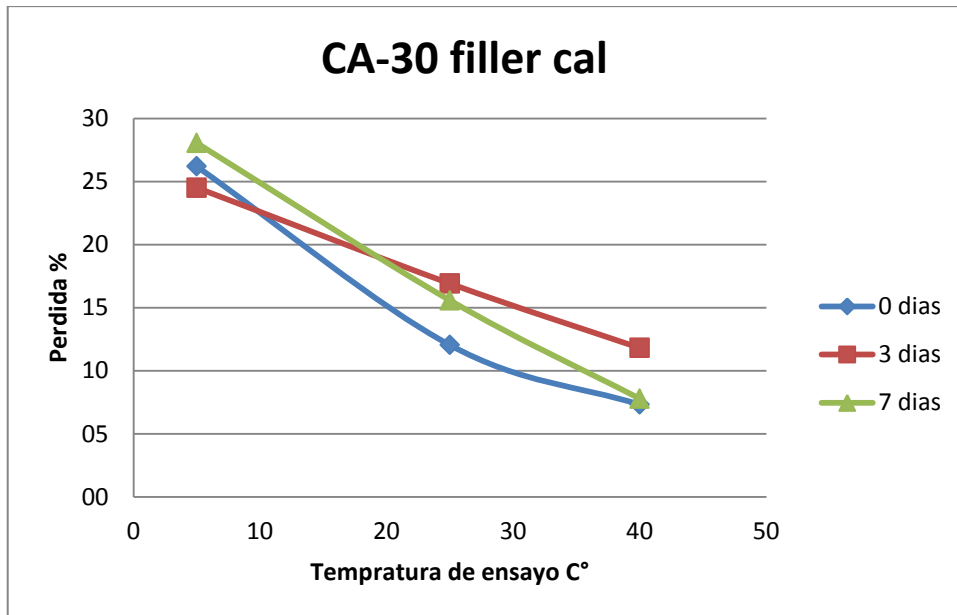
Para su evaluación de los resultados, se realizaron las curvas de estado correspondientes, en las cuales podemos ver las distintas combinaciones de mezclas, mostrando en abscisas la temperatura de ensayo, en ordenadas la pérdida de peso luego del ensayo al Cántabro, y cada curva nos indica una edad de envejecimiento constante. De la propuesta contenida en el método, por razones de planificación del trabajo se eligen tres escalones de envejecimiento, 0 (sin envejecer), 3 y 7 días, mientras que de los escalones de temperatura se eligen 5, 25 y 40 °C.



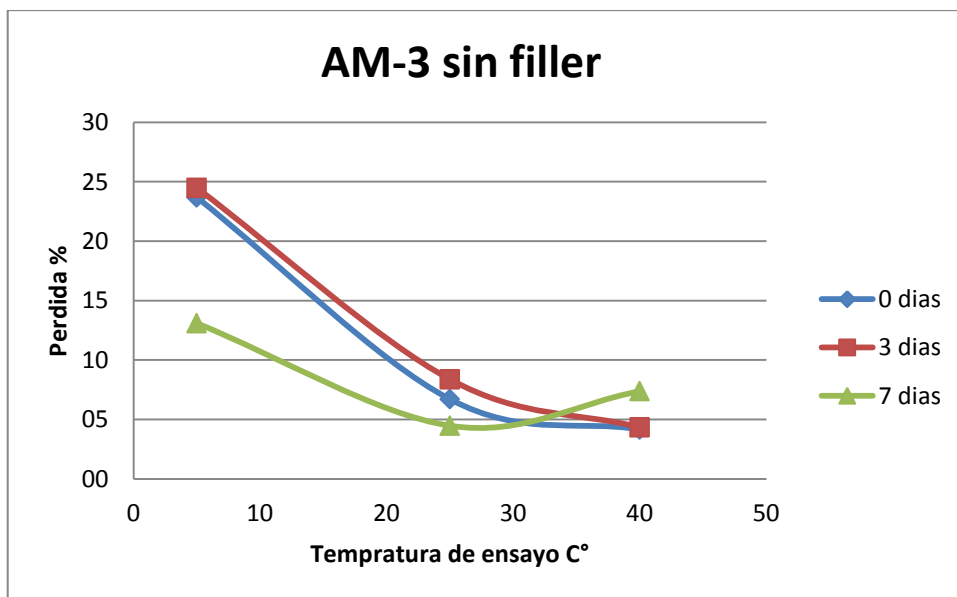
**Grafico n°1:** curvas de estado para la mezcla con CA-30 y sin filler



**Grafico n°2:** curvas de estado para la mezcla con CA-30 y filler granítico

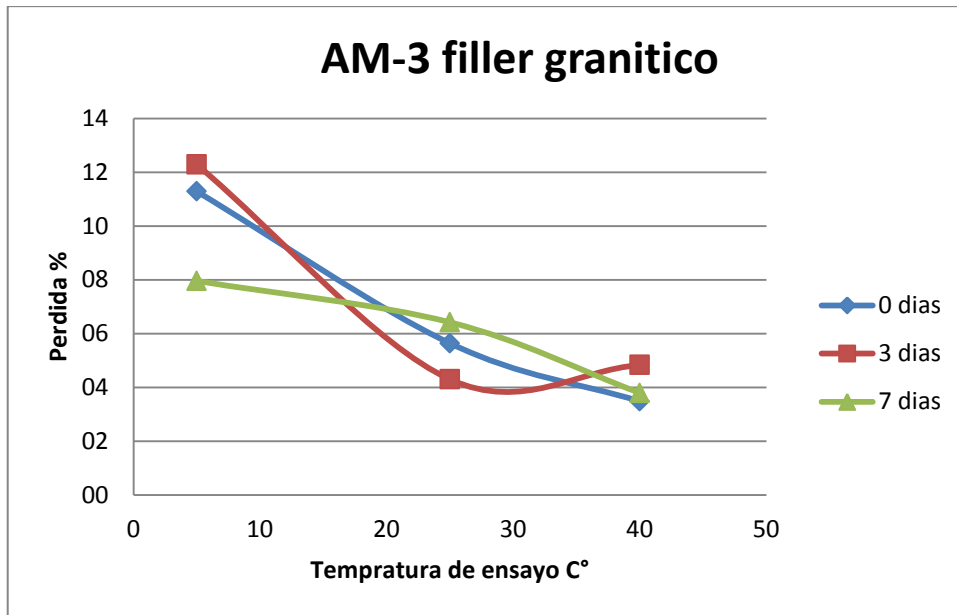


**Grafico n°3:** curvas de estado para la mezcla con CA-30 y filler cal

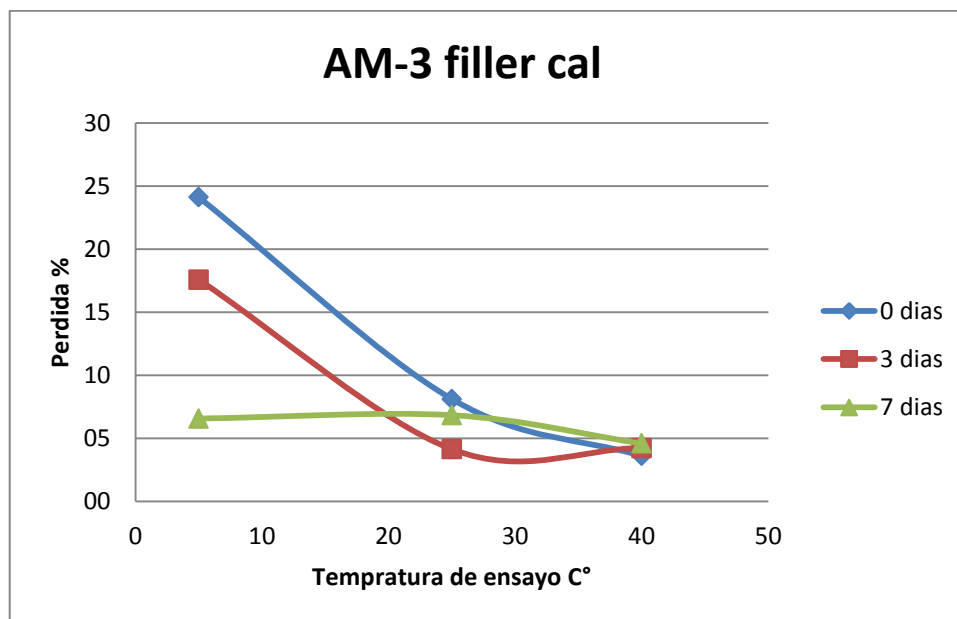


**Grafico n°4:** curvas de estado para la mezcla con AM-3 y sin filler





**Grafico n°5:** curvas de estado para la mezcla con AM-3 y filler granítico



**Grafico n°6:** curvas de estado para la mezcla con AM-3 y filler cal

Como se puede ver en el análisis del envejecimiento, el efecto del envejecimiento de las probetas, se vio más afectadas en las que se ensayaron a temperaturas más bajas, ya que para las distintas variaciones de envejecimiento, a edades más altas, las pérdidas de masa variaron dentro de un rango muy acotado.

Así mismo, este efecto se hizo más notorio en las mezclas dosificadas con asfalto convencional, ya que con la utilización del asfalto modificado, la influencia del envejecimiento de las probetas, no produjo una influencia significativa en los resultados de los ensayos.

#### Susceptibilidad térmica

Para el análisis de la susceptibilidad térmica, se tomaron en cuenta las mismas curvas de estado realizadas para el análisis del envejecimiento. En todos los casos se puede apreciar un gran aumento de la pérdida de material para las bajas

temperaturas. Las mezclas realizadas con asfalto modificado sufrieron menos pérdidas que las realizadas con asfalto convencional tomando como punto de referencia temperaturas de ensayo iguales.

La influencia de la variación de filler no se hizo notar en ninguno de los casos, aunque las mezclas realizadas con filler mostraron mejor comportamiento en comparación con la mezcla patrón (sin filler).

### Cohesión

Para el análisis de la cohesión se confeccionaron tablas comparativas para las diferentes condiciones de ensayo dejando el tipo de asfalto utilizado, constante en cada caso. Se tomó como índice de referencia, el resultado del ensayo de cántabro sin envejecer y sin incorporación de filler, a sus diferentes temperaturas de ensayo.

Cv/Cc	Diferencias de pérdidas al Cántabro - Asfalto CA-30								
	5° C			25°			40°		
	0 días	3 días	7 días	0 días	3 días	7 días	0 días	3 días	7 días
<b>0</b>	<b>0</b>	-0.5	-4.9	<b>0</b>	5.2	4.2	<b>0</b>	1.0	0.5
<b>0.8 Gran.</b>	-26.4	-25.4	-23.9	-6.3	-3.4	-2.0	-1.7	-0.7	-1.0
<b>0.8 Cal</b>	-21.9	-23.6	-20.0	-2.5	2.4	1.1	-0.2	4.3	0.3

**Tabla n°6.** Evaluación de la cohesión sobre probetas con CA-30

Como en los análisis anteriores, la variación de filler no produjo un notorio cambio en el comportamiento de la mezcla. Nuevamente, las mayores influencias de la incorporación de filler, ya se granítico o cal, se vieron reflejadas a las temperaturas más bajas, en sus distintas variedades de envejecimiento.

Cv/Cc	Diferencias de pérdidas al Cántabro - Asfalto AM-3								
	5° C			25°			40°		
	0 días	3 días	7 días	0 días	3 días	7 días	0 días	3 días	7 días
<b>0</b>	<b>0</b>	0.8	-10.6	<b>0</b>	1.7	-2.2	<b>0</b>	-3.2	-0.2
<b>0.8 Gran.</b>	-12.4	-11.4	-15.7	-1.1	-2.4	-0.3	-0.7	0.7	-0.4
<b>0.8 Cal</b>	0.4	-6.1	-17.1	1.4	-2.6	0.1	-0.6	0.1	0.4

**Tabla n°7.** Evaluación de la cohesión sobre probetas con AM-3

Similares resultados mostraron las probetas ensayas con asfalto modificado, teniendo en cuenta la variación de filler. Incluso en su visión general, mostraron mejor desempeños, las mezclas realizadas con filler granítico, en comparación con las que contenían filler cal

En un análisis comparativo entre las dos tablas, las mezclas realizadas con asfalto modificado, mostro una menor influencia del tipo de filler que se le incorporara, ya que en sus distintas variedades d ensayo, los resultados se encontraron más en un rango de valores más acotado, que las probetas ensayadas con asfalto convencional, que presentaron una mayor dispersión de resultados, en mayor medida, en las probetas ensayadas a 5°C

## Adhesividad

Para el análisis de la adhesividad, se tomó como referencia el ensayo del cántabro realizado a 25°C y sin envejecer, y el ensayo del cántabro húmedo, en el cual las probetas se sumergieron durante 24 horas a una temperatura de 60°C y luego se dejaron reposar 24 horas

Tipo filler	Adhesividad		
	Asfalto CA-30		
	Cántabro seco	Cántabro húmedo	Diferencia
<b>Sin filler</b>	14.5	Se destruyeron	-
<b>Filler gran.</b>	8.3	Se destruyeron	-
<b>Filler cal</b>	12.0	20.4	8.4

**Tabla n°8** Evaluación de la adhesividad sobre probetas con CA-30

En las muestras sin filler y con filler granítico, las probetas ensayadas al cántabro húmedo no resistieron el acondicionamiento bajo el agua y se disgregaron antes de ser ensayadas. Esto nos muestra que estas combinaciones no presentan buena resistencia bajo estas condiciones. La incorporación de filler cal en la mezcla nos mostró un buen comportamiento frente a las condiciones adversas de ensayo.

Tipo filler	Adhesividad		
	Asfalto AM-3		
	Cántabro seco	Cántabro húmedo	Diferencia
<b>Sin filler</b>	6.7	17.6	10.9
<b>Filler gran.</b>	5.6	7.9	2.3
<b>Filler cal</b>	8.9	3.1	-5.8

**Tabla n°9** Evaluación de la adhesividad sobre probetas con CA-30

En los ensayos sobre las muestras constituidas con asfalto modificado, nos muestran resistencias crecientes frente al comportamiento de las probetas frente a la acción del agua. Se puede apreciar la gran influencia de la cal, produciendo pérdidas menores en su acondicionamiento frente al agua frente a su ensayo en seco.

## **6. Conclusiones**

El método UCL nos permite recoger una gran cantidad de datos frente a las diferentes variables de análisis que se propusieron estudiar.

A pesar de que el ensayo propone analizar la influencia del asfalto dentro del conjunto de la mezcla y la interacción de mismo con el filler utilizado, y no de forma aislada como otros ensayos, no se pudo ver reflejado en gran medida, la variación del aporte de los diferentes tipos de fillers utilizados. El mayor aporte entre las variables de filler, se vio reflejado en la evaluación de la adhesividad en las cuales, en combinación con el asfalto convencional y modificado, presentaron resultados mucho mayores que en las probetas sin incorporación de filler.

Sin embargo, lo que más se pudo apreciar en los resultados, es la fuerte influencia que tiene la incorporación de uno u otro asfalto, siendo una constante en todos los análisis, un comportamiento superior en todos los aspectos, en las probetas ensayadas con asfalto modificado, frente al cemento asfáltico convencional.

## **7. Bibliografía**

-“Resistencia al envejecimiento de las mezclas bituminosas en caliente: Beneficios y limitaciones de la incorporación de filleres comerciales. Primera Parte: Estudios en base al método UCL” Autores: Bianchetto, Hugo D., Miro Recasens, Rodrigo, Perez Jimenez, Felix.

-“Efecto de la concentración volumétrica filler/betún en la cohesión y adhesividad del mástico” Autor: Martin Sanchez, Alejandro.

# “ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA EN PROBETAS DE SUELO-CEMENTO, SEGÚN DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD, DIRECCIÓN DE VIALIDAD DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Y METODOLOGÍA LEMAC”

Becario: **Alejandro Nahuel Legato** <sup>(1)</sup>

Directores: Sr. Martín Villanueva y Sra. Gladys Sosa <sup>(2)</sup>

---

## 1. Resumen

En la presente tesis se pretende exponer un análisis comparativo de los resultados de ensayo a compresión confinada de probetas de suelo-cemento siguiendo tres procedimientos distintos de moldeado.

## 2. Abstract

In this thesis is to present a comparative analysis of the test results in compression of soil-cement specimens following three different molding processes.

## 3. Fundamentos

Durante mucho tiempo, cuando se debía analizar la resistencia confinada de los suelos estabilizados con cemento, se aplicaba un método adoptado por el LEMaC, determinando así los resultados. Habida cuenta de que existen dos metodologías más, y que tienen grandes diferencias entre sí en cuanto al tratamiento del suelo en su moldeado y curado, surgió la motivación de hacer una comparación entre ellos.

### 3.1 Metodología Lemac

Con los datos arrojados por el ensayo de compactación Proctor, se moldean 3 probetas cilíndricas de 10 cm de alto y 5 cm de diámetro, cuya compactación se realiza a doble pistón. Una vez moldeadas, se llevan a cámara húmeda dentro de una bolsa plástica y luego de 7 días se ensayan a compresión a una velocidad de 0,63 mm/min. aproximadamente. Durante el último lustro, antes de ser ensayadas, las probetas se sumergen durante una hora en agua a temperatura ambiente.

### 3.2 Norma VN-E33-67 de Dirección Nacional de Vialidad

La probeta utilizada es la correspondiente al ensayo Proctor que se debe mantener en el molde durante 12 hs como mínimo antes de ser desmoldada. Luego se lleva a cámara húmeda por el término de 7 días antes de su ensayo. La velocidad de carga debe ser de 1,4 +0,7 Kg/cm<sup>2</sup> por segundo.

### 3.3 Método adoptado por el Laboratorio de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Bs. As. para dosificar mezclas de suelo cemento.

Se moldean probetas cilíndricas de 10 cm de altura y 5 cm de diámetro compactadas a simple pistón en tres capas de 28 golpes cada una, escarificando entre dichas capas. La cantidad de probetas a moldear quedan determinadas por la cantidad de material que pasa el tamiz N° 270. Serán 3 probetas si pasa menos del 50%, las que se curan en arena durante 7 días y se las sumerge una hora en agua antes de ser ensayadas. Serán 9 probetas si pasa más del 50%. Tres serán curadas durante 7 días y una hora de inmersión antes de ser ensayadas. Otras 3 serán

1. Becario del Centro de Investigaciones Viales, LEMaC, Dpto. Ingeniería Civil  
2. Tutores de la Tesis de Investigación. Integrantes del LEMaC

curadas durante una semana con una inmersión de 7 días. Las restantes serán curadas durante 14 días y una hora de inmersión.

#### 4. Desarrollo Experimental

El suelo que se utilizó para la experimentación, clasificó como A-7-5 y el cemento empleado fue un CPC 40 Loma Negra. Se optó por confeccionar tres mezclas con distintos porcentajes de cemento: 6, 8 y 10% y con ellas se obtuvieron los siguientes resultados en el ensayo de Compactación:

**6% cto**  $H_{\text{ópt}}: 26,7\%$   $D_{\text{s máx.}}: 1,361 \text{ g/cm}^2$

**8% cto**  $H_{\text{ópt}}: 27,2\%$   $D_{\text{s máx.}}: 1,357 \text{ g/cm}^2$

**10% cto**  $H_{\text{ópt}}: 30,2\%$   $D_{\text{s máx.}}: 1,338 \text{ g/cm}^2$

Todas las probetas ensayadas fueron curadas siguiendo las indicaciones de las metodologías correspondientes, salvo las moldeadas según el procedimiento de Vialidad Provincial las cuales una de cada grupo de tres fue puesta en contacto directo con la arena húmeda y las dos restantes dentro de una bolsa.

A continuación se exponen los resultados de ensayo a compresión de los 3 procedimientos mencionados:

Procedimiento LEMAC	6% de cemento				
	Nº	Sumergida o sin sumergir	Carga [Kg]	Tensión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Tensión prom. [Kg/cm <sup>2</sup> ]
	1	Sumergida	125,8	6,4	
	2	Sumergida	101,8	5,2	
	3	Sumergida	113,8	5,8	
	4	Sin sumergir	215,6	11,0	11,7
	5	Sin sumergir	257,6	13,1	
6	Sin sumergir	215,6	11,0		

Vialidad de la Provincia de Buenos Aires	6% de cemento				
	Nº	CURADO	CARGA (KG)	TENSIÓN (KG/CM2)	PROM TENSIONES (KG/CM2)
	1	7 días en bolsa + 1 hora de inmersión	87,4	4,5	5,9
	2	7 días en bolsa + 1 hora de inmersión	141,0	7,2	
	3	7 días en arena + 1 hora de inmersión	40,3	2,1	2,1
	4	7 días en arena + 7 días de inmersión	58,9	3,0	3,0
	5	7 días en bolsa + 7 días de inmersión	78,4	4,0	4,0
	6	Desintegrada			
	7	14 días en arena + 1 hora de inmersión	81,7	4,1	4,1
	8	14 días en bolsa + 1 hora de inmersión	107,8	5,5	7,2
9	14 días en bolsa + 1 hora de inmersión	174,4	8,9		

Dirección Nacional de Vialidad	6% de cemento			
	Nº	Carga [Kg]	Tensión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Tensión prom. (Kg/cm <sup>2</sup> )
	1	210,0	2,7	4,1
	2	372,0	4,7	
3	396,0	5,0		

Procedimiento LEMAC	8% de cemento				
	Nº	sumergida o no sumergida	Carga [Kg]	Tensión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensión prom. [Kg/cm <sup>2</sup> ]
	1	sumergida	179,9	9,2	10,5
	2	sumergida	197,9	10,1	
	3	sumergida	239,9	12,2	
	4	sin sumergir	245,9	12,6	13,6
	5	sin sumergir	282,0	14,3	
6	sin sumergir	275,9	14,1		

Vialidad de la Provincia de Buenos Aires	8% de cemento				
	Nº	Curado	Carga [Kg]	Tensión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Tensión prom. [Kg/cm <sup>2</sup> ]
	1	7 días en bolsa + 1 hora de inmersión	250,9	12,7	11,6
	2	7 días en bolsa + 1 hora de inmersión	207,8	10,6	
	3	7 días en arena + 1 hora de inmersión	105,8	5,4	5,4
	4	7 días en arena + 7 días en inmersión	135,2	6,9	6,9
	5	7 días en bolsa + 7 días en inmersión	274,4	14,0	11,8
	6	7 días en bolsa + 7 días en inmersión	186,2	9,5	
	7	14 días en arena + 1 hora en inmersión	121,5	6,2	6,2
	8	14 días en bolsa + 1 hora en inmersión	274,4	14,0	14,2
9	14 días en bolsa + 1 hora en inmersión	282,2	14,4		

Dirección Nacional de Vialidad	8% de cemento			
	Nº	Carga [Kg]	Tensión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensiones prom. [Kg/cm <sup>2</sup> ]
	1	321,9	4,1	5,0
	2	439,6	5,6	
3	416,1	5,3		



Procedimiento LEMAC	10% de cemento				
	Nº	sumergida o sin sumergir	Carga [Kg]	Tensión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Tensión prom. [Kg/cm <sup>2</sup> ]
	1	sumergida	237,2	12,1	11,9
	2	sumergida	241,1	12,3	
	3	sumergida	221,5	11,3	
	4	sin sumergir	272,4	13,9	13,6
	5	sin sumergir	250,9	12,8	
6	sin sumergir	278,3	14,1		

Vialidad de la Provincia de Buenos Aires	10% de cemento				
	Nº	Curado	Carga [Kg]	Tensión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Tensión prom. [Kg/cm <sup>2</sup> ]
	1	7 días en bolsa + 1 hora en inmersión	217,6	11,1	11,0
	2	7 días en bolsa + 1 hora en inmersión	213,6	10,9	
	3	7 días en arena + 1 hora en inmersión	245,0	12,5	12,5
	4	7 días en arena + 7 días en inmersión	139,2	7,1	7,1
	5	7 días en bolsa + 7 días en inmersión	311,6	15,9	12,5
	6	7 días en bolsa + 7 días en inmersión	176,4	9,0	
	7	14 días en arena + 1 hora en inmersión	231,3	11,8	11,8
	8	14 días en bolsa + 1 hora en inmersión	305,8	15,6	16,8
9	14 días en bolsa + 1 hora en inmersión	350,8	17,9		

Dirección Nacional de Vialidad	10% de cemento			
	Nº	Carga [Kg]	Tensión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Tensión prom. [Kg/cm <sup>2</sup> ]
	1	782,0	10,0	9,7
	2	870,4	11,1	
3	623,1	7,9		

## 5. Análisis de resultados

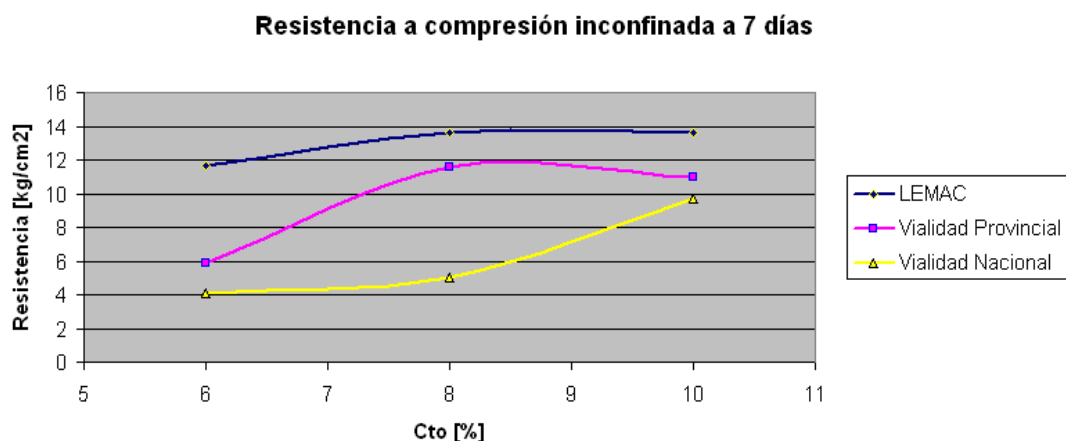
En esta ocasión se ha hecho un análisis teniendo en cuenta solamente los ensayos realizados a 7 días, de modo tal de poder comparar los tres métodos entre sí.

Cabe aclarar también que los resultados obtenidos son muy bajos para lo que se podría esperar de un suelo-cemento. Esta circunstancia se le es atribuida al tipo de suelo que se utilizó (A-7-5):

En primer lugar, la metodología LEMaC pone en evidencia que el proceso de inmersión en agua, afecta notoriamente y en forma negativa la resistencia de las probetas. Lo mismo sucede en la Metodología Vialidad Provincial si se comparan las probetas curadas en bolsa con las que estuvieron directamente en arena húmeda, estas últimas resistieron sensiblemente menos.

Si se hace una comparación entre los tres procedimientos se puede afirmar que las resistencias mayores se dan para el Método LEMaC, seguido por el método Vialidad

Provincial, y por último el método de Vialidad Nacional. Esto se expone en el siguiente gráfico:



## 6. Conclusiones

Luego de analizar los resultados se puede analizar y suponer lo siguiente:

El Método LEMaC es el que arroja valores de resistencias mayores debido a que el moldeo se hace a doble pistón y a través de una compresión estática. Esto generaría una probeta con densidad más uniforme que en los otros dos métodos.

La metodología empleada por la Dirección de Vialidad Nacional da como resultado los más bajos valores de resistencia más allá de practicar la prueba con probetas de menor esbeltez y sin sumergirlas en agua. Esto podría deberse, más que nada, al método de compactación empleado, que es dinámico, con un pisón que debe ir desplazándose a través toda el área de la probeta.

Los resultados desprendidos de la metodología de Vialidad Provincial se ubican en el medio, ya que si bien la compactación se hace en forma dinámica, se la hace usando un pisón que abarca la totalidad del área de la probeta. Esto generaría una densificación más uniforme con respecto a la de Vialidad Nacional, evidenciándose en los resultados. En contraposición, la inmersión en agua a la que se somete a los ejemplares haría que la resistencia se vea disminuida (aunque esto se tendría que corroborar con un suelo de mejores características viales)

La poca cantidad de ensayos realizados para un trabajo tan amplio, imposibilita realizar curvas de correlación confiables entre los distintos métodos, pero sí otorgan la posibilidad de tener un panorama general de la incidencia en los resultados de las distintas formas de moldeo, poniendo en evidencia cuáles son los factores que más pueden afectar el desempeño de los suelos estabilizados con cemento.

Se propone continuar esta línea de investigación a fin de, por una parte, conseguir trazar las curvas de correlación entre los tres distintos métodos y por otra parte, establecer una metodología propia del LEMaC, con todos sus pormenores.

# “FUNCIONAMIENTO DE PLANTAS ASFÁLTICAS Y SU CORRELACIÓN CON EL ANÁLISIS DE PRECIOS- 2º ETAPA”

**Becario: Diego Hernán Farías** <sup>(1)</sup>  
Director: Arq. Gustavo A. Das Neves <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:  
“Análisis Técnicos y Económicos en Sistemas de Gestión de Plantas Asfálticas”  
Código UTN: UTI-1094 Código de Incentivos 25/I045

---

## 1 Resumen

El costo de producción y colocación de mezcla asfáltica depende de los equipos y materiales utilizados, las distancias de transporte y la aptitud de la mano de obra. Para determinar adecuadamente este costo es necesario conocer el funcionamiento de las plantas, los materiales intervinientes y los equipos e infraestructura necesaria para la producción.

Este ha sido el objetivo de la tesis desarrollada desde el 2013 en torno al PID “Análisis Técnicos y Económicos en Sistemas de Gestión de Plantas Asfálticas” propuesto oportunamente.

En esta segunda etapa, ya en vigencia el PID, y habiendo tomado conocimiento de las plantas asfálticas en líneas generales; el objetivo es profundizar en la determinación de los costos de explotación de las mismas, avanzando sobre distintas variables intervinientes en el proceso de producción, como ser, tareas de mantenimiento, reparaciones, amortización, producción; tomando como base un análisis de precios para la producción de una tonelada de mezcla asfáltica CAC D20.

## 2 Fundamentos

Para que la mezcla asfáltica resulte de acuerdo a las especificaciones requeridas es necesario que los insumos utilizados, como el cemento asfáltico, agregados pétreos, aditivos, rellenos minerales sean de buena calidad, así como también la mano de obra interviniente en el proceso de producción. También es importante tener en cuenta las tareas de mantenimiento que la planta requiera, de modo de mantener el comportamiento óptimo de la misma, y todas las tareas complementarias que exige la producción como la provisión y acopio de áridos, cemento asfáltico, combustibles, equipos de carga y transporte; como así también el montaje de la infraestructura necesaria para la explotación de la misma, como balanza de pesaje de camiones, pañol de herramientas, etc. Todo esto posee un costo, el cuál debe ser incorporado en el precio final del producto.

Se abordará el tema con el objetivo de realizar un justiprecio de las variables intervinientes, empleando las fórmulas estándar establecidas para la determinación de los costos.

(1) Becario de Investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Dpto de Ing. Civil.

(2) Co-Director de Beca.

### 3 Desarrollo Experimental

Como hemos visto en la primer parte de esta Tesis, una planta asfáltica posee una gran cantidad de variables, las cuales deben ser cuidadosamente analizadas, abastecidas, mantenidas y también optimizadas para lograr un correcto funcionamiento integral.

Por eso es necesario que dividamos los costos de una planta asfáltica en base a sus condiciones y características, por lo que obtendremos 3 grupos distintos:

#### 3.1 Manos de Obra, Equipos y Materiales

##### 3.1.1 Mano de Obra u Operarios:

Es el que se deriva de las erogaciones que hace el constructor por el pago de salarios reales al personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo de que se trate. En este caso se trata del cuerpo técnico que se encargará de preparar, verificar, operar y ejecutar las actividades de la planta asfáltica en concordancia con las obligaciones que le respecten a su puesto específico, por lo que se diferenciarán:

-Jefe de planta: Es el encargado general de las tareas de operación y mantenimiento.

-Plantista: Opera la planta y coordina las tareas de producción.

-Palero: Utiliza la pala cargadora frontal para la provisión de áridos.

-Ayudantes:

Generalmente son dos; son los encargados de la limpieza general y apoyo para las reparaciones.

-Laboratorista: En caso de contar la planta con un laboratorio, el laboratorista fundamentara la calidad del trabajo realizado mediante un análisis profundo de la mezcla asfáltica.

#### TABLA DE JORNALES

##### I. INCIDENCIA DE CARGAS SOCIALES Y SEGURO OBRERO

CONCEPTO	% INCID.	INCIDENCIA
BASICO	100	1,00
MEJORAS SOCIALES Y SEGURO OBRERO	125	1,25
OTRAS CARGAS	0	0,00
TOTAL	225	2,25

##### II. MANO DE OBRA

CATEGORIA	Salario Básico por hora	Con Cargas Sociales	Suma no remunerativa	Total ( \$/Hora)
Oficial Especializado	56,00	126,00		126,00
Oficial	42,00	94,50		94,50
Ayudante	35,14	79,07		79,07
Encargado	68,05	153,12		153,12

Horas de Trabajo por Día 8

CATEGORIA	Salario Básico por Día	Con Cargas Sociales	Hospedaje y Comida	Total ( \$/Día)
Oficial especializado	448,00	1008,00		1008,00
Oficial	336,00	756,00		756,00
Ayudante	281,12	632,52		632,52
Encargado	544,43	1224,97		1224,97

##### 3.1.2 Equipos:

Representan el eslabón no humano necesario para el funcionamiento de la Planta. Si bien podemos diferenciar a esta última nombrada como un gran conjunto de máquinas que, en su complejidad, forman una maquina homogénea capaz de producir mezcla asfáltica, también podemos diferenciar otras que funcionan de manera autónoma mediante un operario.

Por lo tanto encontraremos:

-Pala cargadora frontal: Maquina utilizada por el “palero” para el abastecimiento de las tolvas con los áridos.

-Balanza: Con capacidad de soportar pesos superiores a las 2TN, su función es registrar los datos de pesaje en la salida de los camiones cargados con mezcla asfáltica.

-Planta asfáltica: Representa toda la maquinaria necesaria y constituyente de la planta que determina el funcionamiento de la misma.

Para comprender el costo se tendrán en cuenta los siguientes datos:

Valor de equipo por unidad, valor residual, vida útil, uso anual y consumo.

Fecha Actualiz.	Equipos	Potencia	Valor Actual			Valor Residual		Vida Util			Uso Anual (hs)	Consumo (lts/Hora*HP)	
			US\$	\$	%	\$	años	meses	(hs)	Gas-Oil		Mezcla 70-30	
05-jul	Balanza	0	\$ 60.000	25%	\$ 15.000	5,0	60	10.000	2.000	0,135			
05-jul	Cargador frontal grande	160	\$ 600.000	25%	\$ 150.000	5,0	60	10.000	2.000	0,135			
05-jul	Planta Asfáltica Completa con Asf. CONVENCIONAL	300	\$ 3.868.000					10.000	2.000	0,120	0,120		

Además, se deberán analizar las siguientes pautas básicas de los equipos mediante las cuales se podrán determinar la amortización, intereses, etc.

Horas de Uso por Día	8
Interes Anual Pago Equipamiento ( % ) =	12%
Costo Gas-Oil ( \$/litro ) =	6,61
Costo Mezcla 70-30 ( \$/litro ) =	3,68
Incidencia de lubricantes ( % ) =	30

Amortización =  $0,9 \times \text{Costo Equipo} / 10.000 \text{ hs}$  [\$/h]  
 Intereses =  $\text{Costo Equipo} \times 12\% / 4000 \text{ hs}$  [\$/h]  
 Reparaciones y Repuestos =  $80\% \text{ Amortización}$  [\$/h]  
 Combustibles =  $\text{HP Equipo} \times 0,12 \text{ lts/HP Hora}$  [\$/h]  
 Lubricantes =  $30\% \text{ Costo Combustibles}$  [\$/h]

Fecha Actualiz.	Equipos	Consumo					
		Amortiz. \$/Hs	Inter. \$/Hs	Rep y Rep \$/Hs	Gas-Oil \$/Hs	Mezcla 70-30 \$/Hs	Lubr. \$/Hs
05-jul	Balanza	\$ 5,40	\$ 1,80	\$ 4,32	\$ 0,00		\$ 0,00
05-jul	Cargador frontal grande	\$ 54,00	\$ 18,00	\$ 43,20	\$ 142,78		\$ 42,83
05-jul	Planta Asfáltica Completa con Asf. CONVENCIONAL	\$ 348,12	\$ 116,04	\$ 278,50	\$ 237,96	\$ 132,48	\$ 71,39

Por medio del análisis de las listas anteriores se determinará finalmente el costo por hora, por día y pérdidas en caso de la no operación.

Fecha Actualiz.	Equipos	Costo Hora \$/Hs	Costo Día Operativo	Costo Día Parado
			\$/Día	\$/Día
05-jul	Balanza	\$ 11,52	\$ 92,16	\$ 92,16
05-jul	Cargador frontal grande	\$ 300,81	\$ 2.406,47	\$ 921,60
05-jul	Planta Asfáltica Completa con Asf. CONVENCIONAL	\$ 1.184,48	\$ 9.475,87	\$ 5.941,25

### 3.1.3 Materiales:

Éstos deberán ser de calidad y acopiados debidamente, evitando la contaminación entre áridos de distintas fracciones y orígenes, y los deterioros que se pudieran producir, incluyendo el cemento asfáltico y la cal.

Enunciándolos veremos que se necesita:

- Cemento asfáltico: Es el ligante flexible e impermeable que utilizaremos en la mezcla.
- Piedra partida 6:12 y 6:20
- Arena de trituración 0:3 y 0:6
- Arena silíceo
- Cal hidráulica.

## LISTADO DE MATERIALES

Costo de Materiales puestos en Planta u Obrador (sin IVA)

Material o Insumo	\$/Bulto	Un./Bulto	\$/Transp.	\$/Un. F.Varela	\$/Un. Obra
<b>Productos Asfálticos</b>					
Cemento Asfáltico Convencional		Ton		\$ 3.720,00	\$ 3.720,00
<b>Combustibles</b>					
Gas Oil		Litro		\$ 6,61	\$ 6,61
Mezcla 70-30 (Fuel - Gas Oil)		Litro		\$ 3,68	\$ 3,68
<b>Agregados</b>					
Piedra partida 6:20		Tn		\$ 196,00	\$ 196,00
Piedra partida 6:12		Tn		\$ 203,84	\$ 203,84
Arena de trituración 0:6		Tn		\$ 142,00	\$ 142,00
Arena de trituración 0:3		Tn		\$ 142,00	\$ 142,00
Arena Silicea		Tn		\$ 69,00	\$ 69,00
Cal hidráulica bolsa x 25kg		Tn		\$ 0,65	\$ 0,65

### 3.2 Coeficiente de gastos indirectos

Un punto muy importante a destacar es la determinación exacta de los gastos indirectos expresados en porcentaje. Este valor será de suma importancia, ya que a los costos de mano de obra, equipos y materiales, se le deberá de sumar esta variable incidente, para obtener el *Precio de aplicación*, partiendo como base desde el costo neto, el cual luego será descontado en su totalidad para obtener la resultante exacta de los gastos indirectos.

	CONCEPTO	% INCID.	INCIDENCIA
A	COSTO NETO	100	100,00
B	GASTOS GENER. (% de A )	15	15,00
B1	BENEFICIOS ( % de A )	20	20,00
			135,00
C	GASTOS FINANCIEROS	3,14%	4,24
D	SUBTOTAL		139,24
E	I.V.A. ( 21 % de D )	21,00%	29,24
	TOTAL ( D + E )		168,48

INCIDENCIA DE GASTOS INDIRECTOS ( % ) =	<b>68,48</b>
---	--------------

### 3.3 Análisis auxiliar

Se podrá observar detalladamente el análisis de precio completo, incluyendo todos los factores intervinientes, para la producción de una tonelada de mezcla asfáltica CAC D20, distinguiéndose de manera específica en cada rubro las unidades, porcentajes, cantidades y precios por día. Se le agrega también el sector vigilancia contando un solo efectivo.

Una vez obtenido el coste de estos gastos generales, se les sumaran los beneficios y los impuestos ya detallados en la tabla de coeficiente de gastos incidentes, para obtener finalmente el precio total de una tonelada de mezcla asfáltica en Planta. Este precio será insumo de la planilla de análisis de costo de una carpeta de mezcla asfáltica, por eso el nombre de análisis auxiliar.

## ANALISIS AUXILIAR

### MEZCLA ASFÁLTICA CAC D20

UNIDAD: Tn

Rendimiento (un./día) : 250

Formulación de la Mezcla:

Cemento Asfáltico Convencional (%):	4,80
Piedra 6-20 (%):	49,50
Piedra 6-12 (%):	
Arena de Trituración 0-6 (%):	40,46
Arena de Trituración 0-3 (%):	
Arena Silicea (%):	3,81
Cal (%):	1,43
	100,00

Of. Especializado	1
Oficial	2
Ayudante	4
Capataz	0

Rubro I - Materiales				
Descripción	Unidad	Cant./Un.	\$/Un.	Parcial
Cemento Asfáltico Convencional (%):	Tn	0,048	3720,00	178,56
Piedra 6-20	Tn	0,495	196,00	97,02
Piedra 6-12 (%):	Tn	0,000	203,84	0,00
Arena de Trituración 0-6 (%):	Tn	0,405	142,00	57,45
Arena de Trituración 0-3 (%):	Tn	0,000	142,00	0,00
Arena Silicea (%):	Tn	0,038	69,00	2,63
Cal (%):	Tn	0,014	0,65	0,01
Costo Mat. / Rendimiento = \$/Un.				335,67

Rubro II - Mano de Obra				
Descripción	Unidad	Cantidad	\$/Día	Parcial
Oficial Especializado	Día	1	1008,00	1008,00
Oficial	Día	2	756,00	1512,00
Ayudante	Día	4	632,52	2530,08
Capataz	Día	0	1224,97	0,00
Vigilancia (10% M.de.O.)				505,01
Costo diario. Cuad.....\$/día				5555,09
Costo M.deO. / Rendimiento = \$/Un.				22,22

Rubro III - Equipos				
Descripción		Cantidad	\$/Día	Parcial
Cargador frontal grande		1,00	2406,47	2406,47
Planta Asfáltica Completa		1,00	9475,87	9475,87
Balanza		1,00	92,16	92,16
				11974,50
Costo Equipos / Rendimiento = \$/Un.				47,90

**COSTO-COSTO (\$/Un.)      405,79**

**GASTOS GEN. + BENEF. + IMPUESTOS....%**      68,48      277,88

**PRECIO DE APLICACIÓN (\$/Un.)      683,67**

## 4 Conclusiones

El presente trabajo ha cumplido con el objetivo de ingresar al conocimiento del funcionamiento, operación y explotación de una planta asfáltica discontinua. Para ello se han identificado las variables de mayor incidencia y se las han analizado y argumentado, de manera tal de relacionarlas directamente con el costo del producto final y establecer una visión más cercana a la gestión de las Plantas Asfálticas.

## 5 Bibliografía

- The Asphalt Institute. (1983) "Asphalt Technology and Construction Practices–Instructor's Guide". 2° Edición.
- Boletines del Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos.



# “INCORPORACIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO DE DESECHO, EN ADOBE”

Gladys Sosa <sup>(1)</sup>

---

## 1. Resumen

La tierra es el elemento natural más cercano y abundante. En comparación con materiales industrializados comunes, el barro tiene tres desventajas: A) no es un material de construcción estandarizado ya que su composición depende del lugar de donde se extrae y esto hace que la preparación de la mezcla correcta para su aplicación específica varíe. B) se contrae al secarse y esto puede ocasionar fisuras, igualmente la retracción puede disminuirse reduciendo la cantidad de agua y arcilla, optimizando la composición granulométrica. C) no es impermeable, por lo que debe ser protegido contra las lluvias y las heladas.

Por otra parte, el barro tiene muchas ventajas en comparación con los materiales de construcción industriales, a saber: A) regula la humedad ambiental, pues tiene la capacidad de absorber y emitir humedad más rápido y en mayor cantidad que los demás materiales de construcción; B) almacena calor, y con eso puede balancear el clima interior; C) ahorra energía y disminuye la contaminación ambiental, para preparar, transportar y trabajar el barro en el sitio se necesita solo 1% de la energía requerida para la preparación, transporte y elaboración de hormigón armado o ladrillos cocidos; D) es reutilizable; E) economiza materiales de construcción y costos de transporte; F) es apropiado para la autoconstrucción, ya que las técnicas de construcción pueden ser ejecutadas por personas no especializadas y requiere de herramientas sencillas y económicas, aunque al mismo tiempo son más trabajosas en su ejecución. G) preserva la madera y otros materiales orgánicos, ya que la mantiene seca. Los insectos y hongos no pueden destruir la madera en estas condiciones, los insectos necesitan un mínimo de humedad de 14 a 18% y los hongos más de 20% para vivir; H) absorbe contaminantes disueltos en agua.

Por lo expuesto y haciendo hincapié en el aspecto ecológico fue que se pensó en realizar un ladrillo de adobe con incorporación de material plástico de descarte.

## 2. Abstract

The earth is the closest and abundant natural element. Compared with common industrial materials mud has three disadvantages: A) is not a standardized building material because its composition depends on the place from which is extracted and this makes preparing the right mix for your specific application vary. B) shrinks upon drying and this may cause cracking, shrinkage can also be lowered by reducing the amount of water and clay, optimizing the granulometric composition. C) is not waterproof, so it must be protected from rain and frost.

Moreover the mud has many advantages compared to industrial building materials, namely: A) regulates the humidity, it has the ability to absorb and release moisture faster and in greater quantity than other building materials. B) stores heat, and it can balance the indoor climate. C) saves energy and reduces pollution, to prepare, transport and work with clay on the site takes only 1% of the energy required for the preparation, transportation and processing of concrete or baked bricks. D) is reusable. E) saves building materials and

1. Integrante del LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, Dpto. Ingeniería Civil

transportation costs. F) is suitable for self as construction techniques can be performed by unskilled persons and requires simple and economic tools, but at the same time are more laborious in execution. G) preserves wood and other organic materials, as kept dry. Insects and fungi can not destroy wood in these conditions since insects need a minimum humidity 14-18% and over 20% fungi to live H) absorbs contaminants dissolved in water.

For these reasons and emphasizing the ecological aspect was that they thought of making a brick adobe incorporation of plastic waste material.

### 3. Fundamentos

La producción de adobe está basada en el moldeado de una tierra preparada en el estado plástico y secada naturalmente al aire.

Para saber fehacientemente si la tierra de que disponemos es la apropiada para la fabricación de los adobes, la sometemos a la prueba del cigarro que consiste en realizar un cilindro de 3cm de diámetro, empujarlo al vacío y medir la fracción que se desprende. Será apto el suelo cuando la parte desprendida mida entre 7 y 15cm.

Una vez confeccionado el ladrillo y pasado el periodo de secado, se le realizan 3 ensayos, el primero de ellos es la prueba de resistencia (método usado en obra) que consiste en apoyar un bloque sobre otros dos, solapado 5cm. Sobre dicho adobe se para una persona de unos 80kg por el tiempo de un minuto, debiendo este ladrillo soportar dicha sollicitación (Fig. 1). El segundo ensayo es el de flexión y el último es el de resistencia a la compresión que se lleva a cabo con las dos mitades resultantes del ensayo a flexión.



Fig. 1

### 4. Desarrollo experimental

Los materiales utilizados para todo el desarrollo experimental fueron los siguientes:

- Suelo clasificado como A-7-5, extraído de una cantera de los alrededores de La Plata, el cual fue secado, roturado y tamizado a través del tamiz N° 4.
- Arena silíceo tipo "argentina", tamizada por el tamiz N°20.
- Cemento Portland tipo CPC 40.
- Cintas de polietileno de alta y baja densidad denominado de ahora en adelante como "plástico blando" (fig. 1)
- Material plástico de desecho urbano triturado en láminas de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> proveniente de una cooperativa de reciclaje, al cual denominaremos de ahora en adelante como "plástico duro".
- Agua corriente.



Fig. 2 Plástico blando

Fig. 3 Plástico duro

Los moldes empleados fueron realizados en chapa doblada, siendo sus medidas: 10 x 14 x 28.5 cm

Se confeccionaron ladrillos de suelo solo, de suelo combinado con distintos porcentajes de arena, cemento, y plástico en sus dos variedades (Tabla N° 1)

Bloque	Arena [%]	Cto [%]	PB [g]	PD [g]	Cigarro [cm]
1	30	0	0	0	15
2	30	0	0	0	15
3	40	0	0	0	10
4	20	0	0	0	13
5	30	10	0	0	10
6	30	10	0	0	10
7	30	10	0	0	10
8	30	10	30	0	10
9	30	10	0	400	10
10	30	0	0	400	15
11	30	0	30	0	15
12	0	0	0	400	
13	0	0	30	0	
14	0	0	0	0	

Tabla N° 1



Fig. 4 Prueba del cigarro



Fig. 5 Bloques en su molde



Fig. 6 Bloques desmoldados



Fig. 7 Bloque con cemento

## 5. Análisis de Resultados

Los bloques fueron ensayados a una edad de 14 días y los resultados fueron los volcados en el siguiente cuadro (Tabla N° 2). Debido a que el procedimiento de ensayo de los bloques no se ajustó específicamente a ninguna norma, no deben tomarse los resultados como absolutos, pero sí para hacer una comparación entre los ejemplares.

Bloque	Flexión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Comp prom [Kg/cm <sup>2</sup> ]
1	3,4	17,7
2	5,2	10,3
3	9,0	24,8
4	5,6	14,8
5	0,0	8,9
6	0,0	7,3
7	1,2	12,3
8	0,0	5,8
9	0,1	11,0
10	1,2	8,4
11	1,6	6,6
12	0,5	8,8
13	2,9	6,8
14	4,7	12,7

Tabla N° 2



Fig. 8 Ensayo de flexión      Fig. 9 Ensayo de compresión

Los bloques a los cuales se les agregó cemento, no resistieron el ensayo de resistencia *in situ* y se resquebrajaron fácilmente de modo tal que era muy difícil su manipuleo.

Tomando como punto de partida los resultados arrojados por el bloque de suelo solo, se puede observar que con un contenido de 40% de arena, el bloque presenta una sustancial mejoría en su comportamiento; con un 30% también se hace evidente su mejora, pero quedando bastante relegado con respecto al de 40%.

Los bloques a los que se agregó material plástico, mostraron una resistencia inferior a los confeccionados con suelo solo, siendo más evidente este deterioro cuando se empleó el plástico blando; en contraposición, se pudo observar que la adición de plástico favoreció la no presencia de fisuras en los ejemplares, característica que se podía notar fácilmente en los que solo contenían suelo.

## **6. Conclusiones**

Luego de realizar el análisis de resultados y teniendo en cuenta que el objetivo del estudio es incorporar material plástico de desecho, las conclusiones que se sacan son las siguientes:

Sabiendo que el material plástico incorporado perjudica la resistencia de los bloques, pero que se torna benéfico para reducir la aparición de fisuras, se opta por conformar una mezcla que contenga arena para recuperar la resistencia que se pierde al incorporar plástico. Si bien los mejores resultados se obtuvieron agregando 40% de arena, se opta por adicionar un 30% por motivos económicos, sabiendo que con esta proporción igualmente se logran resultados favorables.

Debe aclararse que este porcentaje esta directamente subordinado al suelo que estamos tratando. Es así que es factible una modificación en el contenido del material silíceo dependiendo de las propiedades del suelo a tratar pero que, de todos modos, este 30% determinado para esta ocasión se puede emplear como aproximación y como punto de partida para la modificación de cualquier otro suelo arcilloso.

De acá en adelante y habiendo fijado un porcentaje de arena como punto de partida, se propone realizar ensayos con distintos contenidos de plástico, tratando de determinar las cantidades mínimas y máximas que puede agregarse de este material que garanticen una eficiente eliminación de fisuras producidas durante el secado, y que a su vez no provoquen un sustancial detrimento de la resistencia de los bloques.



# “LECHADAS PARA INYECCIÓN DE VAINAS DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN POSTESADO”

**Becario: Marcos Johel Naber** <sup>(1)</sup>

**Director: Ing. Marcelo F. Barreda** <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:

No corresponde

---

## 1. Resumen

Se define como lechada de inyección a la mezcla homogénea constituida por cemento, agua y aditivo químico. La inyección de lechada de cemento en vainas de estructuras de hormigón postesado que alojan cables adherentes tiene como función proteger a los cables contra la corrosión, asegurar la adherencia entre los cables y la pieza de hormigón e impedir la vibración de los cables sometidos a sollicitaciones dinámicas.

En el presente trabajo se realiza una revisión del Capítulo 23 del Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón CIRSOC 201 – 2005, con el fin de dominar los requisitos mínimos que debe cumplir la pasta a inyectar y los ensayos requeridos.

## 2. Abstract

Defined as grout injection to the homogeneous mixture consisting of cement, water and chemical admixtures. The injection of cement slurry in pods of post-tensioning concrete structures that host adherent cables is intended protect cables against corrosion, ensuring the adhesion between the cables and the piece of concrete and preventing vibration of cables subjected to dynamic loads. In this paper is a review of the chapter 23 of the regulation Argentino of structures of concrete CIRSOC 201-2005, in order to dominate the minimum requirements that must comply with the pasta to inject and the required tests.

## 3. Fundamentos

La resistencia del hormigón a tracción es muy baja, solamente del orden de 1/12 de su resistencia a compresión, por lo que en la técnica del hormigón armado, para contrarrestar este inconveniente, en todas las zonas traccionadas, se disponen armaduras de acero, que siguen la dirección de las fuerzas de tracción y cuya misión es poder resistirlas. Sin embargo, el material que se obtiene de este modo presenta algunos inconvenientes que limitan su empleo: el hormigón que recubre las armaduras está traccionado al igual que éstas, y no puede acompañarlas en su alargamiento sin romperse; aparecen por tanto fisuras, cuya abertura se puede controlar al escoger el diámetro y la tensión del acero, pero no puede evitarse su formación, a no ser que se admitan tensiones muy bajas en el hormigón. Por dichas fisuras, las armaduras pueden quedar en contacto directo con el medio ambiente, con el consiguiente riesgo de corrosión: el hormigón armado no es adecuado para obras situadas en ambiente agresivo; consecuentemente, la existencia de fisuras permite la penetración del agua, por lo que las paredes de depósitos de hormigón armado no suelen ser perfectamente estancas en la mayoría de los casos; por otro lado, el hormigón armado es pesado: las partes traccionadas de hormigón sólo son útiles para recubrir el acero, y su peso constituye un inconveniente de tal magnitud, que para vigas de gran luz o de gran vuelo, la estructura metálica resulta a menudo

(1) Becario del Área Estructuras y Materiales de Construcción - LEMaC Centro de Investigaciones Viales – Departamento de Ingeniería Civil

(2) Tutor de la Tesis

más económica. Por lo tanto, es lógico tratar de utilizar a pleno rendimiento la resistencia del hormigón, comprimiéndolo anteriormente por la concurrencia de fuerzas internas, de tal modo que la variación de tensión que provocaba la aparición de tracciones no dé lugar más que a una descompresión del material.

El pretensado por post-tensión o postensado se basa en traccionar las armaduras apoyándose sobre la pieza a pretensar. Durante su puesta en tensión, la armadura se alarga, mientras el hormigón comprimido sufre un ligero acortamiento; para permitir el movimiento relativo resultante es necesario alojar en el hormigón unos conductos, generalmente vainas metálicas de sección circular, dispuestos y fijados a los encofrados antes del hormigonado.

Las armaduras pueden estar situadas en las vainas en el momento del vertido del hormigón o, por el contrario, si el procedimiento de anclaje lo permite, alojarse en su interior después del endurecimiento. El primer sistema puede provocar el comienzo de la corrosión del acero, que es a menudo difícil de evitar durante largo tiempo, mientras el segundo no es aplicable si el trazado de las vainas es muy sinuoso y muy largo.

Después de la puesta en tensión y la fijación del anclaje de la armadura al hormigón, la vaina que desliza sobre la armadura se rellena completamente con una inyección de mortero de cemento o pasta de cemento puro. La inyección es una operación muy importante, pues asegura no sólo la adherencia de las armaduras al hormigón que las rodea, sino sobre todo su protección contra la corrosión.

El producto utilizado anteriormente para inyectar era mortero de cemento, arena y agua; actualmente la arena se ha desechado casi completamente, sustituyéndose por una pasta de cemento y un aditivo, consiguiéndose así fluidez uniforme y reducir la cantidad de agua.

El Capítulo 23 del Reglamento CIRSOC 201- 2005 establece los requisitos mínimos que debe cumplir la lechada a inyectar, las pautas a seguir para su diseño, las tareas de inyección, los ensayos de control a realizar, los registros requeridos y los métodos de ensayos a utilizar en cada caso.

### **3.1. Lechada de inyección**

Se define como lechada de inyección a la mezcla homogénea constituida por cemento, agua y aditivo químico.

### **3.2. Requisitos a cumplir por las mezclas de inyección**

**Razón agua/cemento.** La lechada de inyección debe tener una razón agua/cemento en masa igual o menor que 0,40.

Se debe utilizar la menor razón agua/cemento que sea compatible con los requerimientos de fluidez, exudación, estabilidad volumétrica y resistencia de la mezcla.

**Fluidez.** Se define como fluidez de la lechada de inyección al tiempo, medido en segundos, que tardan en escurrir por gravedad 1700 ml  $\pm$  5 ml de la mezcla por el cono de fluidez.

En el momento de iniciar la inyección y durante el tiempo que dure la misma, la lechada de inyección deberá tener la fluidez suficiente que asegure el llenado completo de la vaina.

El tiempo de escurrimiento de la lechada de inyección, medido con el cono de fluidez, debe ser igual o mayor a 11 s a la entrada de la bomba de inyección.



**Exudación.** Se define como exudación a la cantidad de agua que aflora a la superficie de una lechada de inyección en condiciones de reposo.

La exudación caracteriza la estabilidad de la lechada de inyección. El volumen de agua exudada después de transcurridas 3 h desde la finalización del mezclado debe ser igual o menor que el 2 % del volumen inicial de la mezcla.

La totalidad del agua exudada deberá ser reabsorbida por la lechada de inyección al cabo de 24 horas.

**Estabilidad volumétrica.** Se define como variación de volumen a aquella que se produce en una lechada de inyección después de transcurridas 24 horas de iniciado el ensayo.

La lechada de inyección debe tener expansión respecto de su volumen inicial con el fin de garantizar el llenado completo de la vaina.

La expansión de la lechada de inyección después de transcurridas as primeras 24 horas de finalizado el mezclado, debe estar comprendida entre 5 % y 10 %.

Se debe utilizar un aditivo químico expansor del volumen.

**Tiempo de fraguado.** El tiempo de fraguado inicial de la lechada de inyección debe ser mayor que el tiempo necesario para realizar la inyección de las vainas. Por otro lado, una vez terminada la inyección, conviene que el tiempo de fraguado final no se demore e exceso.

Cuando la inyección de las vainas se realice con temperaturas extremas, en tiempo frío o caluroso, se deben determinar los tiempos inicial y final de fraguado de las mezclas de inyección para las condiciones reales de ejecución de las tareas de inyección.

**Resistencia especificada.** La resistencia especificada a la compresión de la lechada de inyección debe ser la indicada en la Tabla 1.

Edad de ensayo (días)	Resistencia de rotura a la compresión especificada	
	Para cada probeta, igual o mayor que	Para la media de tres (3) probetas extraídas de un mismo pastón, igual o mayor que
	MPa	MPa
28	27	30

**Tabla 1.** Resistencia de rotura a la compresión especificada

**Temperatura.** Las temperaturas del ambiente, de la lechada de inyección y de la estructura que se va a inyectar, deben encontrarse dentro de los rangos establecidos en la Tabla 2.

Valor	Temperatura		
	Ambiente	Superficial de la estructura	Lechada de inyección
	° C	° C	° C
Mínimo	5	5	10
Máximo	30	---	25

**Tabla 2.** Rangos de temperatura para la operación de inyección

En ningún caso la temperatura de la lechada de inyección, inmediatamente después de su mezclado, debe ser mayor que  $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 3.3. Materiales componentes

**Cemento.** Se debe usar cemento portland normal (CPN), de categoría 40 o 50, que cumpla con los requisitos de la norma IRAM 50000, y con las que se indican a continuación:

- El contenido de ión  $\text{Cl}^-$  deberá ser igual o menor que 0,02 %.
- El contenido de ión  $\text{SO}_4^-$  deberá ser igual o menor que 0,02 %.
- Provisión exclusivamente en bolsas.

**Agua de mezclado.** El agua debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma IRAM 1601 y con los que se indican a continuación:

- Detergentes: no debe contener.
- pH: debe ser igual o mayor que 7.

**Aditivos químicos.** Los aditivos químicos deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma IRAM 1663, en todo lo que sea de aplicación. Además, no deben contener sulfitos.

Como aditivos sólo se pueden utilizar aditivos auxiliares de inyección cuya aptitud para el uso en inyecciones esté expresamente indicada en el certificado del fabricante y haya sido demostrada mediante ensayos.

### 3.4. Criterios de conformidad de la lechada de inyección

**Estado fresco.** Se considera que la mezcla es conforme respecto al parámetro ensayado si efectuado el ensayo se obtiene un valor del parámetro que cumple con los límites especificados en 3.2 para fluidez, exudación, estabilidad volumétrica y tiempo de fraguado.

Si el resultado de un ensayo es no conforme se debe obtener otra muestra del mismo pastón y repetir el ensayo. Si el nuevo ensayo cumple con lo especificado se considerará que la lechada de inyección es conforme respecto del parámetro ensayado.

Los pastones no conformes por fluidez serán rechazados y no se podrán utilizar para la inyección de vainas.

**Resistencia a compresión.** Se considerará que la lechada de inyección evaluada posee la resistencia especificada si se cumplen las dos (2) condiciones siguientes:

- a) La resistencia media móvil de todas las series posibles de tres (3) ensayos consecutivos, correspondientes a la lechada de inyección evaluada, es igual o mayor que la resistencia especificada más 5 MPa.
- b) El resultado de cada uno de los ensayos es igual o mayor que 27 MPa.

**Temperaturas durante la operación de inyección.** Un resultado de ensayo de temperatura del ambiente, de la lechada de inyección o de la estructura a inyectar se debe considerar como no conforme, cuando el valor obtenido esté por fuera de los límites establecidos en la Tabla 2.

Cuando cualquiera de las temperaturas medidas resulten no conformes, no se permitirá realizar las operaciones de inyección.

## 4. Métodos de ensayo

El Capítulo 23 del Reglamento CIRSOC 201-2005 (Hormigón pretensado. Inyección de vainas) detalla los métodos para realizar los ensayos siguientes:

- Fluidez (descrito en el artículo 23.12)
- Exudación (descrito en el artículo 23.13)
- Estabilidad volumétrica (descrito en el artículo 23.14)
- Tiempos de fraguado (descrito en el artículo 23.15)
- Resistencia a compresión (descrito en el artículo 23.16)

- Temperatura de la mezcla (descrito en el artículo 23.17)
- Temperatura ambiente (descrito en el artículo 23.17)
- Temperatura de la estructura (descrito en el artículo 23.17)

## 5. Análisis

El Reglamento CIRSOC 201 exige el uso de cemento portland normal provisto exclusivamente en bolsas con contenidos de iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^-$  menores que 0,02 %, mientras que la norma IRAM 50000 requiere un máximo de 0,10 %. Por lo tanto, resulta que un cemento de bolsa que cumple con la norma IRAM 50000 puede no ser apto como componente de una lechada de inyección. Esta circunstancia debería ser considerada en el Reglamento.

Los procedimientos de ensayos empleados para determinar las propiedades de la lechada para inyección no están normalizados por IRAM pero están detallados en el Reglamento CIRSOC 201. Estos ensayos difieren de los empleados habitualmente para pastas y morteros de cemento, salvo en el caso del ensayo de tiempo de fraguado, donde se indica directamente el uso de la norma IRAM 1619 con algunas modificaciones.

## 6. Conclusiones

Una mezcla de inyección apropiada debe poseer las siguientes cualidades: ausencia de agentes agresivos, fluidez suficiente durante la tarea de inyección, baja exudación, contracción moderada, resistencia mecánica conveniente y baja absorción capilar.

La correcta inyección de las vainas que alojan las armaduras de un elemento de hormigón postesado es una tarea de importancia fundamental para asegurar la durabilidad de la estructura; por lo tanto, con suficiente anticipación al inicio de las inyecciones en obra y utilizando materiales representativos, se deberá preparar en laboratorio la cantidad de lechada suficiente como para realizar la totalidad de los ensayos necesarios con el fin de establecer si se verifican las propiedades, en estado fresco y endurecido, establecidas en el Reglamento CIRSOC 201.

## 7. Bibliografía

- Lacroix R., Fuentes A., Hormigón Pretensado. Concepción. Cálculo. Ejecución, Editores Técnicos Asociados S. A., Barcelona, 1978.
- CIRSOC 201. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, INTI, Argentina, 2005.
- Norma IRAM 50000:2000. Cemento. Cemento para Uso General. Composición, Características, Evaluación de la Conformidad y Condiciones de Recepción.
- Norma IRAM 1601: 1986. Agua para Morteros y Hormigones de Cemento Portland.
- Norma IRAM 1663:2002. Hormigón de Cemento. Aditivos Químicos.
- Norma IRAM 1619: 1966. Cemento Portland. Método de Determinación del Tiempo de Fraguado.

# “Implementación de software para la adquisición y gestión de datos de ensayos realizados en máquina automática”

**Becario: Nicolás Daniel Bié** <sup>(1)</sup>

Director: Ing. Marcelo Fabián Barreda <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:

No corresponde

---

## 1. Resumen

Se plantea la puesta en funcionamiento de un software que permite la adquisición y gestión de los datos de los ensayos realizados en una máquina automática.

El software instalado permite la visualización simultánea de carga, la tensión y las velocidades de carga y tensión, visualización gráfica en tiempo real de los datos de ensayo, la curva carga/tiempo y la velocidad de carga real, identificación del ensayo mediante fecha, hora, número de ensayo, nombre de operador, tipo de ensayo, tipo de muestra, dimensiones de la muestra, área, peso, edad.

## 2. Abstract

The commissioning of software that allows the acquisition and management of data from tests conducted on an automatic machine arises.

The installed software allows simultaneous display of load, stress and tension and upload speeds, real-time graphical display of test data, load/time curve and actual load rate, identification of trial by date, time, test number, operator name, type of test, sample type, sample size, area, weight, age.

## 3. Fundamentos

Se presenta un software de administración de datos para un instrumento la prensa PILOT 4, que facilita enormemente el análisis de los resultados obtenidos y minimiza el riesgo de cometer errores, además de proveer una forma elegante de presentación de resultados

## 4. Desarrollo

### 4.1. Instrumento de ensayo

PILOT 4 es una máquina de ensayo automática que permite realizar ensayos de resistencia a compresión, flexión y tracción indirecta en probetas de hormigón o mortero de cemento, aplicando carga de variación constante requiriendo mínima interacción con el operario.

El sistema está compuesto por:

- Marcos de compresión con placas
- Ensamble de cilindro de carga
- Unidad hidráulica
- Unidad de comando y control

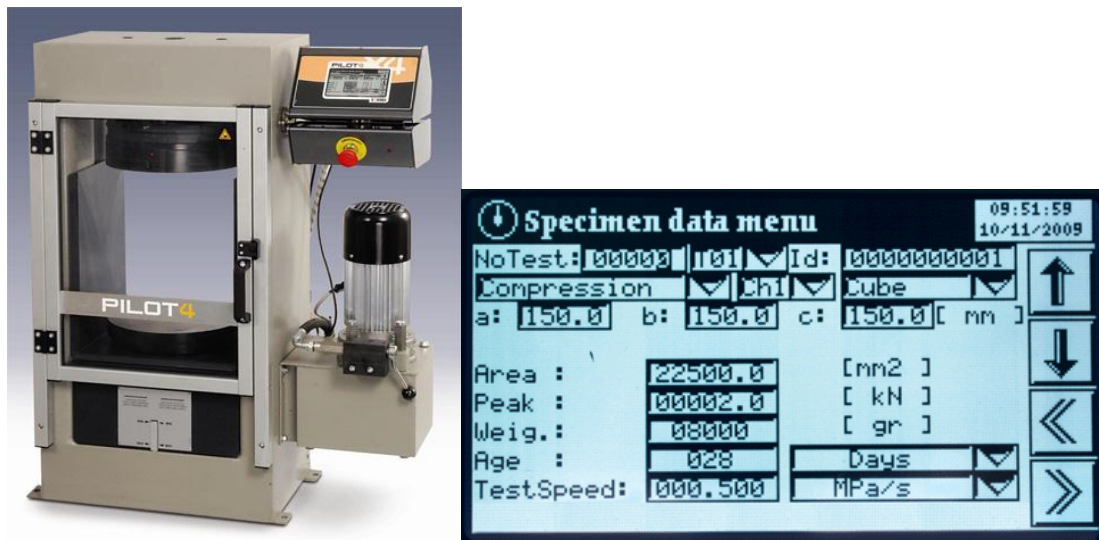
(1) Becario del Área Estructuras y Materiales de Construcción - LEMaC Centro de Investigaciones Viales – Departamento de Ingeniería Civil

(2) Tutor de la Tesis

- Entre sus características, podemos destacar:
- Control automático de la velocidad de carga
- Gráfico automático Carga-Tiempo, mostrado en tiempo real
- Permite realizar hasta 25 ensayos por hora

Cuenta con una pantalla táctil que permite operar fácilmente, además de ingresar los parámetros de ensayo y datos de las probetas ensayadas.

En base a los datos ingresados calcula automáticamente la resistencia requerida.



**Foto N° 01:** Prensa PILOT 4 **Foto N° 02:** Pantalla de la unidad de comando y control

## 4.2. Software

Controls Datamanager 50-C7022/Sof es un software que permite recoger datos medidos con instrumentos CONTROLS® para ensayos de compresión, flexión y tracción indirecta.

## 4.3. Características principales

El software tiene como utilidades principales:

- La presentación gráfica y numérica para la lectura en tiempo real o diferido de datos de ensayo.
- Entrada de datos descriptivos para crear informes
- Guardado y administración de datos mediante una base de datos o archivos compatible con MS Access ®
- Salida de datos compatible con archivos .xml (Microsoft Exel ®)

## 4.4. Datos técnicos

El software es relativamente poco exigente en cuanto a requerimientos del computador. Este debe contar, al menos, con: un procesador de 1 GHz o

superior; 500 Mb de espacio libre en disco duro; 256 Mb de RAM (recomendado 512); sistema operativo MS Windows® 2000 o superior

La conexión entre el PC con el software y la máquina de ensayo se realiza mediante un puerto serial RS 232. Debe configurarse desde el controlador de la máquina, el puerto.

#### 4.5. Ingreso de datos y ensayo

El software toma varios datos técnicos en la transferencia de información desde el aparato de ensayo, pero además, permite introducir manualmente los datos descriptivos del mismo, permitiendo almacenarlos para una mejor presentación de informes. El ingreso de los datos descriptivos se realiza desde una ventana como la que se muestra en la Imagen N° 01

The screenshot shows the 'CONTROL 5 - DataManager' software interface. It features a 'Diagram' and 'Report' tab at the top. The main area is a data entry form with the following fields and values:

- Test type: Compression test on concrete : EN-12390-3
- Test Organisation: [Empty]
- Testing apparatus: [Empty]
- Specimen type: [Empty]
- Dimensions type: a(mm) b(mm) c(mm) | a(mm): 0.0 | b(mm): 0.0 | c(mm): 0.0
- Age: [Empty]
- Mass (Kg): 0.000
- Area (mm²): 0.0
- Density (Kg/m³): 0.0
- Load rate: 0.000
- Load of failure (kN): 0
- Stress (MPa): [Empty]
- Failure appearance: Satisfactory
- Test date: 21/12/2009
- Operator: [Empty]
- Specimen ID: [Empty]
- Preparation date: 21/12/2009
- Cement type: [Empty]
- Cem. content (kg/m³): [Empty]
- Specimen conditions: [Empty]
- On receipt: [Empty]
- At time of test: [Empty]
- Sampling: 21/12/2009
- Sampling location: [Empty]
- Specimen preparation: [Empty]
- Certificate number: [Empty]
- Certificate date: 21/12/2009
- Customer: [Empty]
- Contact: [Empty]
- Notes: [Empty]

A 'Customize' button is located at the bottom right of the form.

*Imagen 01: Ventana de ingreso de datos descriptivos*

#### 5. Resultados

Los datos obtenidos son almacenados en una base de datos compatible con MS Access® que es accesible desde el programa. En un menú como el que se muestra en la imagen N° 02

id	Client	Certific	Test date	Type of cement	Cement
010	Customer 01	Bonchi	11/11/02	Type a	
010	Customer 01	Bonchi	11/11/02	Type a	
010	Customer 01	Bonchi	11/11/02	Type a	
010	Customer 01	Bonchi	11/11/02	Type a	
010	Customer 01	Bonchi	11/11/02	Type a	
010	Customer 01	Bonchi	11/11/02	Type a	

**Imagen Nº 02:** Ventana de la base de datos del programa

El software ofrece la presentación de resultados de ensayo, combinando los resultados de varias probetas de la misma serie en forma práctica, como un archivo .xml (MS Excel®) siendo ideal para presentar en informes.

Dimensión mm	Edad	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Area (mm²)	Carga de rotura (kN)	Resistencia (MPa)		
0.000m x 0.000m x 0.000m	48	21122009	12.678	127E-22	17803.1	74.7	4.19	Satisfactoria
0.000m x 0.000m x 0.000m	48	21122009	12.678	127E-22	17803.1	74.7	4.19	Satisfactoria
0.000m x 0.000m x 0.000m	48	21122009	12.723	127E-22	17888.3	78.4	4.2	Satisfactoria
Media:					74.93(kN)	4.19(MPa)		
					0.40(kN)	0.01(MPa)		

**Imagen Nº 03:** Planilla de cálculo con resultados estadísticos de 3 probetas



En la planilla de cálculo generada, se puede apreciar el valor promedio de resistencia de la probeta, así como el desvío estándar de dicho análisis.

También puede apreciarse el gráfico descriptivo de modo de rotura de la probeta, así como la fecha del ensayo.

## **6. Conclusiones**

El certificado de resultados de ensayo incluye toda la información descriptiva, diagrama con los resultados del ensayo y la tensión frente al tiempo. Se puede probar, por lo tanto, la realización del ensayo conforme a las normas.

La utilización del software para la adquisición de datos permite realizar el análisis de datos en forma eficiente y práctica, disminuyendo la probabilidad de errores en los resultados, además de permitir la posibilidad de presentar los resultados en un informe sencillo y elegante.

## **7. Bibliografía**

- Catálogo General Controls: Equipos de ensayo para la industria de la construcción – 7ª edición
- Instruction Manual Controls Datamanager 50-C7022/Sof - CONTROLS
- Instruction Manual PILOT 4 - CONTROLS

## “Implementación de instrumento para la medición de resistencia al deslizamiento en pavimentos”

**Becario: Nicolás Daniel Bié <sup>(1)</sup>**

**Director: Jorge Daniel Sota**

### 1. Resumen

Se estudia el método de medición de resistencia al deslizamiento en pavimentos mediante el uso del péndulo de fricción del TRRL (Transport Road Research Laboratory).

### 2. Abstract

Study of the measuring method of skid resistance using the friction pendulum of the TRRL (Road Transport Research Laboratory).

### 3. Fundamentos

Una de las principales características que debe cumplir un pavimento, es disponer de una adecuada superficie que asegure una buena adherencia con los neumáticos en todo instante y especialmente en zonas de frenado y curvas cuando el pavimento se encuentra mojado, lo cual es fundamental para la seguridad de los usuarios. En ese marco, es imperioso disponer de un método de medición que permita evaluar los pavimentos en forma eficaz. Para esto, uno de los métodos utilizados es la utilización del péndulo del TRRL (Transport Road Research Laboratory ) cuyo objeto y uso está regulado por la norma NLT-175/98.

### 4. Desarrollo

El péndulo del TRRL es un dispositivo que permite medir un coeficiente de resistencia al deslizamiento en una superficie tanto in situ, como en laboratorio. El dispositivo consiste de un péndulo físico que oscila en un plano, que está compuesto por un brazo oscilante, que contiene una zapata de goma en su extremo, Figura 1.



*Imagen N° 01: Péndulo de fricción del TRRL*

(1) Becario de investigación del LEMaC

#### 4.1. Estructura del equipo

- Fundación: Compuesta por una pata tipo T, tornillos niveladores y burbuja.
- Columna Íntegra: compuesta por una columna, una unidad de elevamiento, una barra guía y una manija.
- Disparador: fijo a la viga, se utiliza para contener la barra del péndulo y liberarlo.
- Sistema guía: Incluye un tornillo de ajuste, un mango del péndulo, soporte y una junta articulada. El sistema conecta el péndulo, asegura su posición y permite la oscilación libre en un plano.
- Sistema de escalas: Incluye junta de sentido de aguja, casquillo de apriete, tornillo de ajuste de aguja y escala calibrada. La lectura del BPN se realiza directamente.
- Péndulo: compuesto de conectores superiores e inferiores, caña de oscilación, resorte, palanca, manija de elevación, martillo, porción deslizante y goma.
- Parámetros técnicos
- Peso del péndulo: 1500 g
- Distancia del centro de gravedad del péndulo: 410 mm
- Presión estática de avance de la plantilla de goma al pavimento: 2263 g
- La oscilación en caída libre del péndulo desde una inclinación de 5° es no menor de 70 ciclos
- La distancia entre el centro de oscilación hasta el borde exterior de la plantilla de caucho es 510 mm
- Peso total del equipo: cerca de 12 Kg

#### 4.2. Procedimiento

La selección de los puntos de ensayo para obtener el coeficiente de resistencia al deslizamiento, deberá ser representativa y dependerá de la uniformidad de la superficie, ya sea sobre una probeta o in situ.

Para la medición de cada punto, se debe ensayar sobre una superficie limpia. Se humedece la zapata con agua limpia y se moja la superficie del pavimento. Se mide 5 veces sobre cada punto de ensayo volviendo a mojar con agua a temperatura ambiente. Si las medidas de ensayo no difieren más de 3 unidades, se adopta el valor medio, de lo contrario se realizan mediciones hasta que tres consecutivas den la misma lectura, tomando esta como valor efectivo.

Debe medirse la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando el termómetro en proximidad al punto y a la sombra. También debe anotarse la temperatura del agua.

El valor del Coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD o BPN o SN) se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$BPN = \frac{\text{Lectura efectiva}}{100}$$

El valor BPN debe corregirse con un coeficiente que depende de la temperatura de acuerdo al gráfico N° 01.

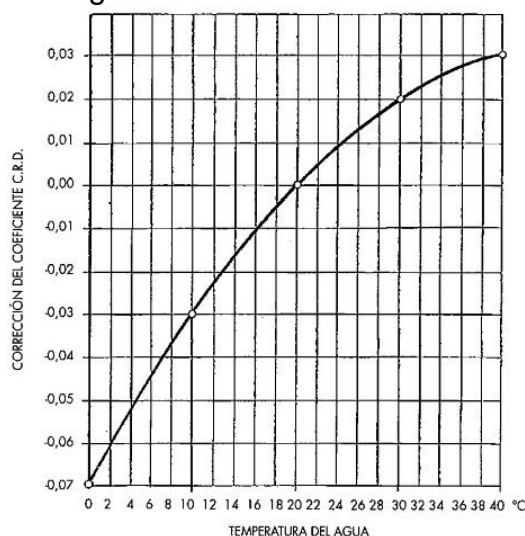


Gráfico N° 01: Gráfico de corrección de BPN respecto a la temperatura

Temp. amb. (°C)	Temp. sup. (°C)	Temp. agua (°C)	Mediciones BPN					Promedio	BPN corregido (1+K)*BPN
			1	2	3	4	5		
21	22	21	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6

Tabla N° 01: Ejemplo de medición de BPN

### 4.3. Índice de fricción internacional

Los métodos y sistemas usados a través del mundo para medición de textura y resistencia al deslizamiento varían significativamente, por esta razón el comité técnico de la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (PIARC) en Caracterización Superficial, decidió emprender un experimento internacional para comparar y armonizar mediciones de textura y resistencia al deslizamiento.

El índice de fricción internacional (IFI) está conformado por un par de valores (F60, Sp) el primer valor representa la fricción y depende de la micro y macrotextura de la superficie y el segundo de la macrotextura.

La Macrotextura depende de la composición de la mezcla de agregados y ligante y está definida por el espaciamiento entre las partículas de agregado superficial. La Microtextura depende de la naturaleza mineralógica de los áridos, de su textura superficial, aspereza y resistencia al pulimento. La microtextura es la responsable de la fricción a velocidades bajo los 50 a 60 km/h, en tanto que la macrotextura es la que permite aumentar la adherencia al drenar el agua bajo el neumático cuando este circula a velocidades superiores a 60 km/h.

#### 4.3.1. Determinación de la constante de velocidad (Sp)

Para la determinación de Sp, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Sp = a + b (Tx)$$

Donde Tx es el valor que depende de la macrotextura. En el caso de ser medido con el método de parche de arena, corresponde al valor de altura

promedio del parche. Los valores a y b son factores de correlación para los distintos tipos de equipo utilizado.

#### 4.3.2. Determinación de la fricción de referencia (F60-Fricción a 60 Km/h)

Para esto, se utiliza la siguiente ecuación:

$$F60 = A + B (FR60) + C (Tx)$$

Donde A, B y C son constantes que dependen del equipo utilizado. En el caso del péndulo de fricción, el valor C es 0, por lo que la expresión resultante es

$$F60 = A + B (FR60)$$

El valor FR60 es una constante que debe ser determinada mediante la siguiente expresión:

$$FR60 = FRS e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

Donde S es una constante que depende del equipo utilizado, Sp es el valor antes calculado, y FRS es el valor de fricción determinado por el método. En el caso del péndulo de fricción, este valor es el BPN.

### 5. Análisis de resultados

Conocidos los valores que conforman el IFI (F60 y Sp) puede calcularse la función de fricción vs deslizamiento a cualquier velocidad (F(S)), del pavimento evaluado, así como el diagrama fricción vs. macrotextura, que nos permiten evaluar el pavimento.

La función F(S) obtiene la siguiente expresión:

$$F(S) = F60 e^{\frac{60-S}{Sp}}$$

Donde S es la velocidad a la que quiere obtenerse la fricción.

El diagrama fricción-macrotextura, permite evaluar el nivel de intervención del pavimento.

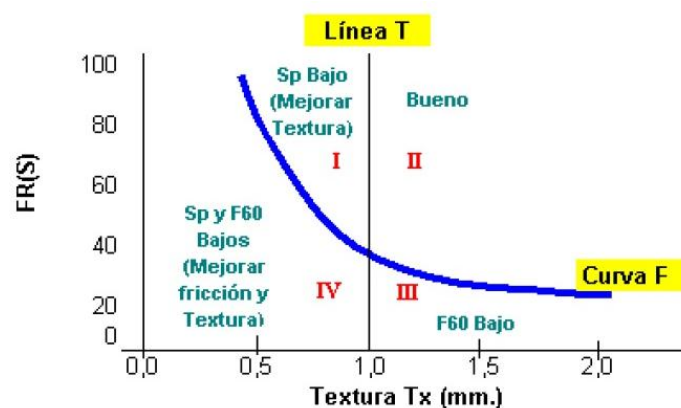


Gráfico N° 02: diagrama fricción-macrotextura

Para hacerlo utilizamos las siguientes ecuaciones:

Línea T:

$$Tx \text{ min} = \frac{Sp - a}{b}$$

Donde a y b son las constantes correspondientes a la medición de textura.  
Curva F:

$$FR \min = \frac{(F60 - A)e^{\frac{S-60}{a+bTx}}}{B}$$

Donde A, B, a y b son las constantes correspondientes a los dispositivos de medición, S es la velocidad de ejecución del ensayo y Tx es la textura en función de la cual se podrá conocer F.

En el gráfico quedan determinados cuatro cuadrantes (I, II, III y IV), los cuales permitirán decidir si es necesario realizar alguna acción destinada a mejorar la seguridad del rodaje. Para ello se entra a la gráfica con los valores de fricción determinados y se verifica en que cuadrante se ubica el par de valores, definiendo, en caso de ser requerida, la acción de mejoramiento superficial.

## 6. Conclusiones

Dentro de los instrumentos existentes para la medición de fricción en pavimentos, el péndulo del TRRL se presenta como un instrumento sencillo y práctico, el cual permite tener una perspectiva rápida del estado superficial de un pavimento, y definir su intervención para cumplir con la seguridad de los usuarios.

## 7. Bibliografía

1. Norma NLT-175/98 "Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL"
2. Corros M., Urbáez E., Corredor G. "Maestría en Vías Terrestres – Módulo III: Diseño de pavimentos I. Evaluación de pavimentos"
3. Valdés D, Anguas P., "Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México"
4. Rocco V., Fuentes C., Valdeverde S., "Evaluación de la resistencia al deslizamiento en pavimentos chilenos"

# “Diseño de un hormigón con características destinadas a un fin específico”

Becario: Juan Francisco Taranto <sup>(1)</sup>

Director: Ing. Marcelo F. Barreda <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:

No corresponde

---

## 1. Resumen

El hormigón es un material compuesto obtenido por el mezclado de cemento, agregados finos y gruesos, agua y componentes minoritarios (aditivos, fibras, etc.).

Esta tesis tiene como finalidad la obtención de un hormigón de determinadas características (forma, dimensiones, peso, resistencia, estética, uniformidad) variando las proporciones de cada uno de sus componentes en la masa total y evaluando su comportamiento en estado fresco y endurecido. Se buscará lograr el cumplimiento de todos los requisitos a partir de la elaboración de hormigones con distintas dosificaciones y todos los recaudos prácticos necesarios.

## 2. Abstract

Concrete is a composite obtained by mixing cement, coarse and fine aggregates, water and minor ingredients (additives, fibers, etc.).

This thesis aims at obtaining a concrete with certain characteristics (shape, size, weight, toughness, aesthetics, uniformity) varying the proportions of each of its components in the total mass and evaluating its behavior in fresh and hardened. We will seek to achieve compliance with all requirements from the development of concrete with different dosages and all practical precautions necessary.

## 3. Fundamentos

Se plantea el diseño de una mezcla de hormigón para ejecutar un elemento que cumpla con ciertos requisitos. Para lograrlo no sólo hay que tener en cuenta la dosificación del mismo. Los recaudos que se tomen en cada estado del hormigón harán del él un material eficaz.

A continuación se presentarán los requisitos que tendrá que cumplir el elemento final:

- Forma esférica de diámetro dado:

Para lograr un elemento de hormigón esférico se procedió a la búsqueda de un molde de cualquier material que resista las tensiones internas del hormigón en el fraguado y que a su vez no sufra deformaciones durante este proceso. Además, otro ítem a tener en cuenta, a la hora de elegir el molde, es su diámetro, teniendo que estar comprendido entre 207 y 240 mm.

El valor del diámetro corresponde a la media de las determinaciones, tomadas según los tres planos ortogonales según el centro de la esfera.

- Peso

El peso fue un requisito que se trató de cumplir en base a los agregados gruesos a utilizar y con respecto a la diferencia de densidades de aquellos que se tenía a disposición. El tamaño máximo nominal del agregado utilizado debió ser de 19 mm.

Debido a que las dimensiones pedidas como requisito eran grandes con respecto al peso demandado (menor a 8000 gr), se forzó la utilización de un agregado grueso poco denso para elaborar un hormigón “liviano”.

El agregado elegido fue arcilla expandida por cocción (de origen artificial).

- La mayor resistencia a compresión posible.

Para lograr la mayor resistencia del elemento final se puso énfasis a cada etapa del hormigón.

(1) Becario del Área Estructuras y Materiales de Construcción - LEMaC Centro de Investigaciones Viales – Departamento de Ingeniería Civil

(2) Tutor de la Tesis



En primer lugar, se verificó todas las condiciones de premezclado, como realizar una buena dosificación en base a los comportamientos deseados en el hormigón, verificar el estado y la calidad de los agregados antes de efectuar la mezcla y el tipo de aditivo a utilizar. Se efectuó la mezcla de todos los componentes en base a la norma IRAM 1534.

Y en segundo lugar se controlaron los procesos de curado de los elementos finales para que se realice una correcta hidratación de las partículas de cemento

- El mejor aspecto estético posible.

El buen aspecto estético de la esfera se basa en estado superficial interior del molde. A mayores irregularidades en el molde, mayores van a ser las apariciones de discontinuidades en la superficie del elemento.

Los aspectos a tener en cuenta fueron: la uniformidad de color las esferas, la calidad de la terminación superficial, la prevención de manchas y/o defectos procedentes de la compactación o del agente desmoldante.

- Superficie uniforme.

Este requisito esta directamente relacionado a la capacidad de deformación del molde. Un molde poco deformable llevará a la obtención de una esfera casi perfecta.

#### **4. Desarrollo experimental.**

##### **4.1. Elección de molde y adaptación para su llenado**

El molde elegido fue de poliestireno expandido presentado en dos mitades capaz de unirse y formar una esfera perfecta. Su diámetro interno estaba en el orden de los 21,5 cm, lo que facilitó el cumplimiento del requisito "dimensiones".

Sin embargo, no se contaba con la presencia de un orificio que permita el llenado del molde, por lo que se prosiguió a realizar una abertura circular en el centro de alguno de los dos casquetes que lo conformaban, con un radio capaz de facilitar su llenado. A continuación, una foto del molde ya listo:



**Foto 1: Moldes esféricos.**

##### **4.2. Elaboración de hormigones de distintas dosificaciones**

Para lograr hormigones que cumplan con los requisitos estipulados anteriormente se procedió a diseñar distintas dosificaciones. Aquella que cumpla o se comporte mejor en base a lo esperado será la elegida para conformar el elemento final.

A- Primeramente, se dosificó un hormigón para, a partir de allí, ir evaluando cuáles serán los cambios a realizar. Este hormigón constituido por cemento CPC 40, agregados finos (tales como arena silíceo o fina y arena de trituración o gruesa), agregados gruesos (piedra granítica de TMN= 9,5mm), agua y aditivo (se utilizó Protex 20-10 superfluidificante).

Primera Dosificación			
Materiales	Densidad Relativa	P [kg/m <sup>3</sup> ]	V [m <sup>3</sup> ]
Agua	1,00	228	0,228
Cemento CPC 40	3,10	414	0,134
Agregado Grueso	2,65	720	0,272
Agregado Fino	2,66	891	0,335
Aire			0,030
Aditivo	1,05	2,07	0,002
a/c	0,55		1,000

**Tabla 1: Primera Dosificación.**

Con esta primera dosificación (Tabla 1) se moldearon dos probetas cilíndricas de 15x30 a las cuales se determinó: peso, dimensiones y resistencia a la compresión.

1ra Dosificación			
	Probeta 1	Probeta 2	Promedio
Peso [Kg]	12,362	12,403	12,382
Diámetro [m]	0,1518	0,1516	0,151
Resistencia (7 días edad)[Mpa]	19,3	18,6	18,95

**Tabla 2: Características de las probetas del primer dosaje.**

A partir de esta tabla se obtuvo lo que pesaría la esfera de 21,5 de diámetro con este hormigón:

$$PUV = \frac{P}{V} = \frac{12,3825 \text{ kg}}{0,00541 \text{ m}^3} = 2288,81 \text{ kg/m}^3$$

Siendo:  
 PUV: peso por unidad de volumen.  
 P: peso promedio de las probetas.  
 V: volumen promedio de las probetas.

$$PUV = \frac{Pe}{Ve} \Rightarrow Pe = PUV \cdot Ve = 2288,81 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,0052 \text{ m}^3 = 11,910 \text{ kg}$$

Siendo:

Pe: peso de la esfera.

Ve: volumen de la esfera de diámetro 21,5 cm.

Sus resistencias a compresión a los 7 días de edad fueron de 19,3 y 18,6 MPa, las cuales resultaron ser muy aceptables. Sin embargo, se notó que si se utiliza este hormigón en las esferas, tendrán un peso muy por encima del requerido, lo que llevó a decidir cambiar el tipo de agregado grueso a utilizar: arcilla expandida por cocción (de nombre comercial: "Ripiolita". Foto 2). Al analizarla se obtuvieron los siguientes resultados:

Tamices	% Pasa acumulado
¾"	100
½"	99,7
3/8"	94,6
#4	38,4
#8	4,6
#16	1,72
#50	1,68
#100	1,5

**Tabla 3: Granulometría de arcilla expandida por cocción.**

Arcilla Expandida	
Absorción	21%
P.U.V [gr/cm <sup>3</sup> ]	0.8
TMN [mm]	9,5 mm
Módulo Finura	5,55



**Tabla 4: Características del agregado.**

**Foto 2: Arcilla expandida por cocción.**

B- En cuanto a la segunda dosificación lo único que se cambió fue el agregado grueso (usado en estado de saturado y superficie seca) manteniendo las proporciones de la Tabla 1. Con ésta mezcla se moldearon 6 probetas de 10x20.

De las seis probetas obtenidas, tres se ensayaron a compresión a 7 días de edad y las otras tres a 14 días, obteniendo los siguientes resultados:

Edad	Resistencia promedio [MPa]
7 días	12,6
14 días	17,6

**Tabla 5: Resistencia de las probetas del segundo dosaje.**

C- Las resistencias obtenidas (Tabla 5) resultaron estar por debajo de lo esperado por lo que se decidió proceder a una tercera y última dosificación. Esta tuvo como gran variante la disminución en la relación agua/cemento. Se redujo la cantidad de agregado fino y se incrementó las del cemento y del aditivo, teniendo así la siguiente dosificación:

Tercera Dosificación			
Materiales	Densidad Relativa	P [kg/m <sup>3</sup> ]	V [m <sup>3</sup> ]
Agua	1,00	208	0,208
Cemento CPC 40	3,06	460	0,150
Agregado Grueso	1,60	720	0,450
Arena de trituración	2,65	425	0,160
Aire			0,030
Aditivo	1,05	2,30	0,002
a/c	0,45		1,000

**Tabla 6: Tercera dosificación.**

Con este hormigón, de 1 cm de asentamiento, se llenaron tres moldes esféricos y una probeta de 15x30 para ensayar a compresión. A sus 7 días de edad, esta probeta ofreció una resistencia de 20,9 MPa, resultado que denotó una gran mejora con respecto a las dosificaciones anteriores, ya que sus probetas, a una edad mayor, habían logrado una resistencia menor a la lograda en este caso.

El llenado de los moldes esféricos se detallará a continuación.

#### **4.3. Realización de las esferas (moldeado y curado).**

El moldeado de las esferas de hormigón se llevó a cabo con la segunda y tercer dosificación. Los moldes esféricos, una vez listos, fueron colocados en baldes con arena para reducir deformaciones en el llenado.

En la segunda dosificación el hormigón fue compactado con 25 varilladas en dos capas. Se notó que al desmoldar, las esferas presentaban oquedades a nivel superficiales. Debido a esto se decidió cambiar el método de compactación en la tercer y última dosificación usando un vibrador normalizado.



**Foto 3: Compactación.**



**Foto 4: Moldes recién llenados.**

Pasadas las 24 horas se desmoldaron y fueron sumergidas en un piletón con agua y cal como método de curado junto con las probetas.



**Foto 5: Esferas terminadas.**

Las pequeñas imperfecciones en su superficie fueron corregidas con pasta de cemento. Su curado tuvo una duración de aproximadamente 60 días, lo que llevó a que resistan una carga de compresión de 139,1 y 139,9 kN en dos esferas idénticas.



**Foto 6: Esfera recién ensayada a compresión.**

## **5. Análisis de Resultados**

Los resultados finales del presente trabajo se pueden evaluar con solo ver los elementos finales. La uniformidad y la regularidad en su superficie son consecuencias visibles de una adecuada elección y utilización del molde, no sólo en su preparado pre-llenado sino también el método utilizado en la compactación. La resistencia a la compresión fue el aspecto que más preocupación deparó.

Al utilizar agregado liviano en el dosaje de la mezcla se sabía que la resistencia final no iba ser igual de buena que con piedra granítica. La acertada decisión de utilizar el compactador vibrante permitió que la esfera rompa perfectamente en dos mitades gracias a la correcta distribución de los agregados, la reducción de imperfección en su superficie y la obtención de un hormigón más denso. Todo esto junto con una disminución en la relación agua/cemento facilitaron buena resistencia, así como también lo hicieron los apropiados pasos realizados hasta culminar en el elemento final.

## **6. Conclusiones**

Con la culminación del presente trabajo se llegó a la conclusión de que todas las características de un hormigón cualquiera pueden alterarse, modificarse o adaptarse para lograr otras específicas.

Los medios para llegar a esto, son ilimitados. Contienen tanto conocimientos teóricos como empíricos, que correctamente utilizados y sincronizados nos facilitan buenos resultados. Con esto se buscó explicar que no sólo el dosaje de la mezcla fue importante, sino también los métodos de mezclado, moldeado, compactación, curado, etc.

## **7. Bibliografía**

-IRAM 1534: 2004 - Hormigón. Preparación y curado de probetas en laboratorio para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral.

-IRAM 1536: 1978 - Hormigón fresco de cemento portland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono.

-IRAM 1546: 1978 - Hormigón de cemento portland. Método de ensayo de compresión.

-Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU., 2004.

# “DESARROLLO DEL HONGO ASPERGILLUS NIGER EN PROBETAS DE CEMENTO CON DIFERENTES ADITIVOS”

Becaria: Alonso, Agustina Belen <sup>(1)</sup>  
Directora: Dra. Vilma G. Rosato <sup>(2)</sup>

## 1. Resumen

En algunas construcciones de morteros se observa crecimiento de mohos que, además de su apariencia, alteran su composición química. El objetivo de esta tesis es observar el crecimiento del hongo *Aspergillus niger* en probetas con diferentes aditivos. Para poder concluir si la composición del cemento afecta el hongo o no.

## 2. Abstract

## 3. Fundamentos

Como vimos en años anteriores el crecimiento del moho *Aspergillus niger* en morteros de cements y hormigones puede, no solo presentar daños estéticos, físicos y químicos en las estructura, sino también provocar daños en la salud de las personas que habitan en su interior. En esta ocasión, para poder demostrar el desarrollo del hongo, se realizaron probetas con diferentes adiciones y se le agregó 1 ml de una suspensión de esporas con aproximadamente  $2 \times 10^6$ , medido por conteo en una cámara de Neubauer.

## 4. Desarrollo experimental

Se confeccionaron cinco tríos de probetas de 16 x 4 x 4 cm, a las cuales se las adicióno con:

Materiales [gr]	1	2	3	4	5
Agua	250	250	250	250	250
CPC40	0	0	500	0	0
CPN50	500	400	0	0	500
CPF40	0	0	0	500	0
Escoria	0	100	0	0	0
Agua	1500	1500	1500	1500	1500
a/mc	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Estas fueron mezcladas y moldeadas según la norma IRAM 1622 Cemento Portland “Métodos de determinación de las resistencias a la compresión y a la flexión”.

Luego del curado correspondiente se les realizó ensayos de compresión y flexión a 7 y 28 días, para determinar la resistencia de los morteros, de porosidad y absorción, cuyos resultados se expresan en la siguiente tabla:

(1) Becaria del Área Estructuras y Materiales de Construcción, LEMaC Centro de Investigaciones Viales. Dpto. Ingeniería Civil.

(2) Tutora de la Tesis



Tabla de resistencia:

Mortero	Edad (días)	Compresión (MPa)	Flexión (MPa)
CPN50 - 1	7 días	29,35	5,82
	28 días	33,40	5,0
	90 días	46,7	4,3
CPN50 - 2	7 días	30,77	6,02
	28 días	46,55	5,4
	60 días	43,50	5,54
CPN50 - 3	7 días	26,91	3,37
	28 días	47,40	2,8
CPC40 -1	7 días	5,75	5,7
	28 días	33,50	3,2
CPC40 -2	7 días	26,12	3,09
	28 días	44,20	1,5
CPN50 + E	7 días	29.11	4,53

Tabla de Absorción y Porosidad de morteros:

Muestra	PS	PH	PH-PS	% Abs.	vol	Peso específico	% Porosidad
CPN50-2	108,13	115,19	7,06	6,52	47	2,29	15,02
CPN50 + E - 2	70,6	74,31	3,71	5,25	32	2,2	11,59
CPF50	269,94	285,7	15,76	5,83	132	2,045	11,93
CPC40	277,09	296,9	19,81	5,83	137	2,022	14,45
CPN50-1	182,58	196,8	14,22	7,78	86	2,12	9,04
CP50 + E-1	71,8	77,19	5,39	7,5	38	1,88	19,73

Luego se les agrego 1 ml de una suspensión de esporas con aproximadamente  $2 \times 10^6$ , medido por conteo en una cámara de Neubauer y se colocaron en recipientes estériles con vermiculita autoclavada y humedecida con 50 ml. de agua destilada estéril para crear una cámara húmeda. Se las dejó inoculadas durante dos meses y medio en estufa de cultivo a 30-32° C. (Luego de este periodo, se las observó mediante microscopio estereoscópico- lupa)

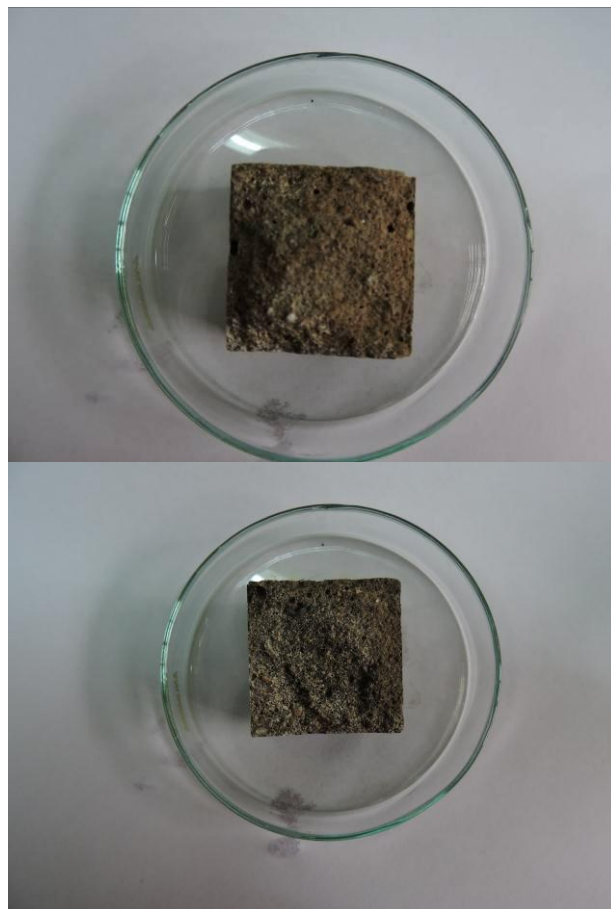
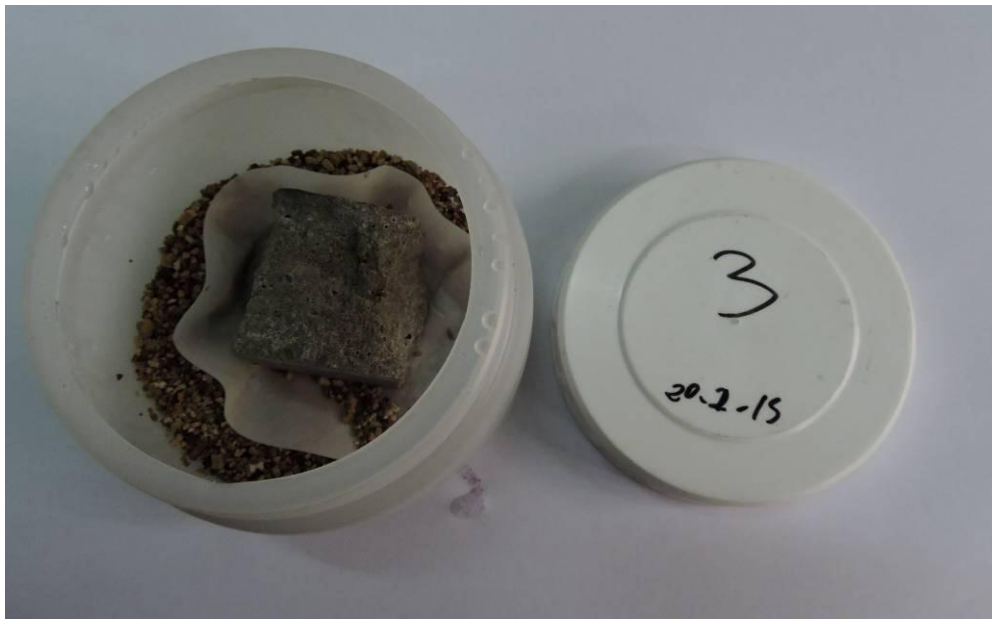
## 5. Análisis de Resultados

Los ensayos de resistencia dieron muy por debajo de lo establecido, se repitió la pasta pero los valores, nuevamente, dieron por debajo de lo que marcan las normas. No se encontró motivos por el cual pueda fallar este ensayo, dado que la pasta se realizó bajo la norma IRAM 1622 Cemento Portland "Métodos de determinación de las resistencias a la compresión y a la flexión". Para despejar dudas se enviaron probetas al LEMIT para ser ensayadas y sus resultados fueron mucho más cercanas a lo establecido a las normas, por lo que se llegó a la conclusión que los elementos de ensayos fueron los que fallaron en esta etapa.

En cambio los resultados de absorción y porosidad se correspondieron bien con el tipo de cemento empleado en cada caso (excepto la última muestra identificada como CP-50 + E1. La alta absorción se atribuye a grietas y fisuras originadas tras el ensayo.)



No hubo crecimiento del hongo: puede deberse a que la carbonatación no fue suficiente para bajar el pH a valores adecuados al crecimiento de *A. niger* o bien que la superficie no tuvo rugosidad adecuada para permitir la colonización.



## 6. Conclusiones

Al haber poco crecimiento en las probetas obtenidas se llegó a la conclusión de que el causante de esta situación podrían ser dos:

La primera conclusión a la que llegamos fue que el tiempo de las probetas incubadas fue insuficiente y estos no llegaron a desarrollarse como es debido. Y la segunda conclusión es que la superficie de las probetas eran poco porosas, por lo que, se podría decir, el hongo no pudo aferrarse a la superficie, por lo que no pudo desarrollarse.

Se descartó el hecho de que la carbonatación de las probetas no fue suficiente para bajar el PH de las mismas, dado que estas estuvieron en cubeta con cal hasta el día de ensayo a la edad requerida.

## 7. Bibliografía

- IRAM 1622 Cemento Portland “Métodos de determinación de las resistencias a la compresión y a la flexión”.
- Prunell S. B., Rosato V. G., Sota J.D. 2012 Adiciones en el cemento Portland y su relación con el biodeterioro. *V Congreso Internacional de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 19ª Reunión Técnica “Ing. Oscar R. Batic” y 4º Concurso Nacional de alumnos, Bahía Blanca, 7-9 de Noviembre de 2012.* ISBN 978- 987 -21660- 6-9 pp. 15-21
- Vilma G. Rosato, Jorge D. Sota, Marcelo Barrera, Anahí López, Agustina B. Alonso. 2014. Pruebas de crecimiento acelerado del moho *Aspergillus niger* sobre pastas de cemento con pigmentos de ftalocianato cúprico Encuentro Materiales Tecnológicos en Argentina- Matte@r 2014. UTN, Facultad Regional La Plata, 13 al 15 de mayo de 2014.
- Rosato V. G., Sota J. D. y Prunell S. B. 2013- Influence of cement materials' composition on microbiological colonization of dams. EN: Khlifi, S. (Ed.): “Dams: structure, performance and safety management.”, Nova Publishing Group, Londres. , pp. 265- 278. ISBN 978-1-62417-702-6

# “CORRELACIÓN ENTRE PARÁMETROS MARSHALL Y MÓDULO DINÁMICO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS, ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS”

Becaria: Ana Lighuen APAS <sup>(1)</sup>

Director: Mg. Ing. Luis Agustín RICCI <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:

“Análisis modulares de laboratorio y obra para diseño mecanicista de pavimentos flexibles”

Código UTN: UTI-1619 Código de Incentivos 25/I-053

---

## 1. Resumen

El presente trabajo describe las experiencias realizadas para establecer una correlación entre parámetros característicos de una mezcla asfáltica y su comportamiento modular dinámico. Se trabajó sobre testigos de una mezcla asfáltica densa convencional en caliente a los cuales se les determinaron distintos parámetros característicos para luego vincularlos entre sí por medio de modelos matemáticos, buscando una correlación con una adecuada bondad de ajuste.

## 2. Abstract

This paper describes the experiments carried out to establish a correlation between characteristic parameters of an asphalt mixture and its dynamic modular behavior. We worked about witnesses of a dense mix asphalt hot conventional to which different characteristic parameters were determined for link them together by mathematical models, seeking a acceptable correlation

## 3. Fundamentos

El Módulo de Rigidez es una relación de tensiones y deformaciones, que particularmente en las mezclas asfálticas no se presenta como un valor único como en el caso de otros materiales, sino como dependiente de la Temperatura de ensayo y la Frecuencia de aplicación de la carga. Para estos materiales, el Módulo de Rigidez valora la respuesta del pavimento asfáltico ante sollicitaciones dinámicas, considerando el rango de temperaturas que pueda sufrir el pavimento en servicio. De ello que la norma UNE 12697- 26 que rige el ensayo, propone el estudio del módulo a distintas Temperaturas y Frecuencias de carga. La variación de las propiedades dinámicas por el cambio de la Temperatura provoca una disminución apreciable en el valor del Módulo de Rigidez a medida que esta aumenta. El efecto de la Frecuencia de aplicación de la carga se manifiesta a través del movimiento de los vehículos pesados sobre la estructura, y genera módulos mayores a medida que la velocidad se incrementa, es decir a medida que aumenta la Frecuencia de carga.

El módulo se determina en laboratorio por medio de distintos procedimientos sometiendo a las muestras a deformación en su rango lineal, bajo cargas repetidas o cargas con velocidad de deformación controlada. Durante el ensayo se registran ambos esfuerzos. Para su determinación es necesario un complejo y costoso equipo que se debe implementar en laboratorio. El mencionado equipo de ensayo deberá contar con una cámara de acondicionamiento térmico, prensa de actuación dinámica neumática o hidráulica, celda de carga, LVDT, transductores de las señales de los instrumentos a una computadora y un programa adecuado para el registro continuo de las cargas y deformaciones como también para los cálculos necesarios para determinar el valor del Módulo de Rigidez. Dentro de los tantos procedimientos para

(1) Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC. UTN FRLP

(2) Director de Beca

ejecutar el ensayo de Módulo Dinámico, es el de Tracción Indirecta por compresión diametral el procedimiento más empleado y el cual se llevó a cabo para las determinaciones del presente trabajo.



Figura N°1. Ensayo de Módulo de Rigidez, Tracción Indirecta

Si bien el procedimiento para ejecutar el ensayo de Módulo de Rigidez sobre una mezcla asfáltica es sencillo, y su valoración es de gran interés en lo referente al diseño mecánico-empírico de las mezclas asfálticas, la dificultad del mismo radica en el acceso a su instrumental y es por ello que se intensifican los esfuerzos por encontrar una expresión simple que permita estimarlo a partir de valores de sencilla determinación. Existen ecuaciones que correlacionan algunas características de la mezcla asfáltica (viscosidad del asfalto, contenido de asfalto, granulometría, etc) y el Módulo de Rigidez (Witczak), pero en el trabajo precursor a este se las estudió y afectó con parámetros regionales, sin obtenerse la confiabilidad buscada. Es por ello que en esta oportunidad se busca encontrar, mediante modelos de aproximación matemáticos, una expresión que con el mismo fin anterior, arroje el valor del Módulo de Rigidez en función de parámetros Marshall de sencilla determinación y la Frecuencia de interés, con una aceptación lo suficientemente confiable.

A partir de los distintos valores de Módulo obtenidos para las distintas frecuencias y las distintas temperaturas, se puede construir la Curva Maestra de la mezcla. Siendo compleja su construcción, y ya que permite tener un valor aproximado del módulo para cualquier Frecuencia a una Temperatura de referencia, es que se desea llegar a una solución, vinculando parámetros característicos, como lo son los parámetros Marshall, con una expresión que “redibuje” las Curvas Maestras de los testigos, y arroje el valor del Módulo de Rigidez estimado para una Frecuencia elegida. Para esto se recurre a los modelos de regresiones como respuesta a la aproximación buscada, ya que permiten explicar una variable dependiente en función de una o más variables independientes más un término independiente que explica aquella porción de la variable dependiente que no se puede explicar en términos de las variables independientes consideradas.

#### **4. Desarrollo experimental**

El análisis estadístico se realizó sobre una muestra de mezcla asfáltica para la cual se conocían parámetros característicos como ser la Densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ); Vacíos (%); Relación Estabilidad/Fluencia ( $\text{Kg/mm}$ ); Contenido de Cemento Asfáltico (%) por el método de recuperación y Granulometría de los áridos. Por otro lado se conocía también el valor del Módulo de Rigidez de la misma mezcla, ya que se ensayaron un grupo de testigos extraídos del pavimento en que fue colocada la mezcla. El ensayo

de módulo de rigidez se llevó a cabo según norma UNE-EN 12697-26 Anexo C: Tracción Indirecta sobre probetas cilíndricas, variando la Temperatura en rangos de 5°C; 10°C y 20°C. A su vez cada testigo fue ensayado en cuatro Frecuencias por cada Temperatura: 0,5Hz; 1,0Hz; 2,0Hz y 5,0Hz.

Ensayados los testigos, se determinó la Densidad de cada uno, los Vacíos y la Relación Estabilidad/Fluencia, se los disgregó, se determinó el Contenido de Cemento Asfáltico y la Granulometría de los áridos. Luego, realizando un remoldeo según el método Marshall se determinó la Relación Estabilidad/Fluencia. En cuanto a los vacios fueron determinados con la Densidad Rice y la Densidad Marshall de cada testigo.

Con los valores del Módulo de Rigidez para cada Frecuencia y Temperatura de ensayo se construyeron las Curvas Maestras. Para lo cual se selecciona una Temperatura de Referencia (en este caso 10°C) y se desplazan los valores de módulo obtenidos para otras Temperaturas en forma horizontal sobre el eje de las Frecuencias Rreducidas, es decir la Frecuencia a que se ensayó afectada por un factor de corrección, procurando sea mínima la suma del cuadrado de los errores entre el valor del módulo y su estimación. En la Figura 2 se muestra la construcción de una Curva Maestra.

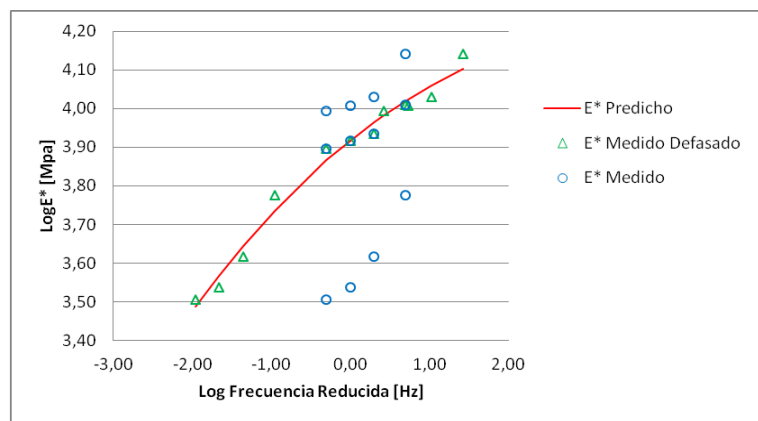


Figura 2. Armado de Curva Maestra

La Curva Maestra de cada testigo se busca “redibujarla”. Para ello se encuentra que el modelo de regresión sinusoidal simple es el que más se adapta a la gráfica de las Curvas Maestras, arrojando los Coeficientes de Correlación ( $R^2$ ) más próximos a la unidad. Apoyados sobre el software “TCWin” e ingresando con los logaritmos del Módulo estimado y de la Frecuencia Reducida, obtenidos de cada Curva Maestra, se encuentra que la forma de la Ecuación N°1 responde a la aproximación con un alto grado de aceptación ( $R^2 \approx 0,99$ ), lo cual se puede visualizar en la Figura N°3.

$$\log E = a + b \cdot \text{sen}\left(\frac{\log Fr}{d} + c\right) \quad \text{Ecuación N°1}$$

Dónde:

$E$  = Módulo de Rigidez estimado,  $Fr$  = Frecuencia reducida,  $a$  ;  $b$  ;  $c$  ;  $d$  = constantes

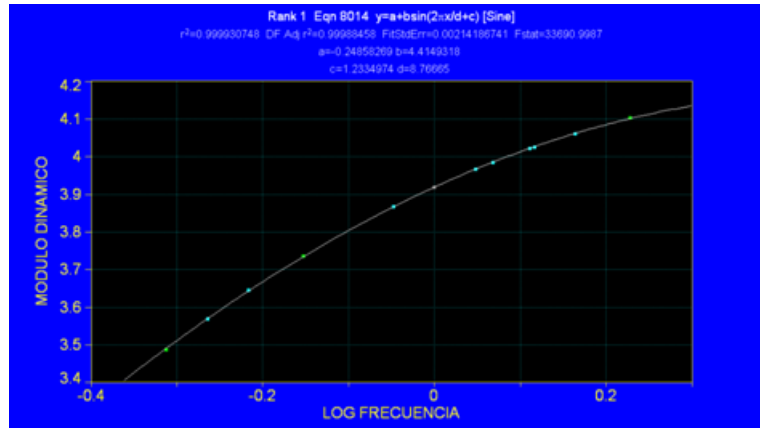


Figura 3. Regresión Sinusoidal Simple

La expresión de la Ecuación N°1 se determinó para cada testigo, de este modo se tiene para cada uno un valor distinto en las constantes de la ecuación.

Finalmente para llegar a vincular el Módulo de Rigidez y los parámetros Marshall, se propone relacionarlos con las constantes de esta última expresión. Para ello se recurre al software “Statgraphics” ingresando los valores de los parámetros Marshall de cada testigo para cada constante. De esta manera gracias a una regresión lineal múltiple para cada constante se tiene una ecuación (Ecuaciones N°2) que a partir de parámetros Marshall permite determinar el valor de la constante.

$$\begin{aligned}
 a &= \alpha \times (CA) + \beta \times (E/F) + \gamma \times (PT3/4'') + \delta \times (V) + \varepsilon \\
 b &= \alpha \times (CA) + \beta \times (E/F) + \gamma \times (PT3/4'') + \delta \times (V) + \varepsilon \\
 c &= \alpha \times (CA) + \beta \times (E/F) + \gamma \times (PT3/4'') + \delta \times (V) + \varepsilon \\
 d &= \alpha \times (CA) + \beta \times (E/F) + \gamma \times (PT3/4'') + \delta \times (V) + \varepsilon
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} a \\ b \\ c \\ d \end{aligned}} \right\} \text{Ecuaciones N}^\circ 2$$

Donde

CA = contenido de asfalto (%)

E/F = relación estabilidad/fluencia (Kg/mm)

PT3/4'' = retenido acumulado en el tamiz 3/4"

V = porcentaje de vacíos

a ; b ; c ; d = variable independiente

$\alpha$  ;  $\beta$  ;  $\gamma$  ;  $\delta$  = coeficientes

$\varepsilon$  = termino independiente

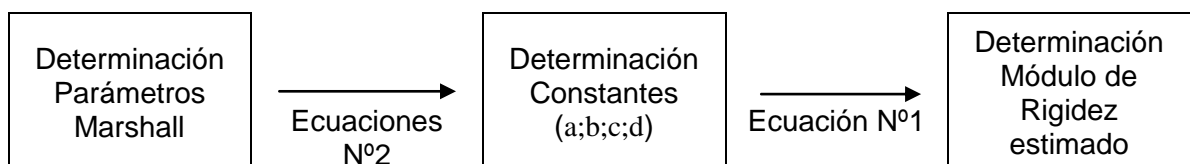
Coefficientes Vble indep	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\varepsilon$	R <sup>2</sup>
a	-2,65526	-0,0168216	1,93036	-2,86593	-123,691	1,00
b	2,03312	0,0128145	-1,3539	2,13824	87,3667	1,00
c	0,17387	0,00094238	-0,136076	0,138562	10,8454	1,00
d	8,300448	0,0186817	-0,939678	3,5952	0,969791	1,00

Tabla N°1. Coeficientes para cada variable independiente

## 5. Análisis de Resultados

Teniendo los valores de los parámetros Marshall de una mezcla asfáltica, se podrá ingresar en las Ecuaciones N°2 y establecer el valor de cada constante para luego introducirlas en la Ecuación N°1 junto con la Frecuencia que se establezca y determinar el valor estimado del Módulo de Rigidez de la mezcla analizada.

El flujo de trabajo sería:



Se muestra a continuación un ejemplo numérico para su mayor comprensión y como validación del modelo.

I. Con los valores de los parámetros Marshall (Tabla N°2a) y los coeficientes indicados en la Tabla N°1, se ingresa en las Ecuaciones N°2 y se determinan los valores de las constantes a ingresar en la Ecuación N°1 (Tabla N°2b).

	% CA	E/F	%PT3/4	%Vacios	a	b	c	d
Muestra 1	5,6	2637	100	3,8	-0,81	5,31	1,22	16,46
Muestra 2	5,4	2061	99,1	6,5	-0,09	4,53	1,15	14,62

Tabla N°2a. Parámetros Marshall

	a	b	c	d
Muestra 1	-0,81	5,31	1,22	16,46
Muestra 2	-0,09	4,53	1,15	14,62

Tabla N°2b. Solución a Ecuaciones N°2

II. Con los valores obtenidos y el logaritmo de la Frecuencia de interés se ingresa a la Ecuación N°1 y se determina el logaritmo del Módulo de Rigidez para la mezcla, (Tabla N°3a) finalmente aplicando antilogaritmo se conocerá el valor del Módulo de Rigidez (Tabla N°3b)

Frec [hz]	Log (E)				E			
	0,5	1	2	5	0,5	1	2	5
Log (Frec)	-0,3	0	0,3	0,7	-0,3	0	0,3	0,7
Muestra 1	4,15	4,18	4,21	4,25	14071	15204	16366	17947
Muestra 2	3,99	4,03	4,07	4,12	9877	10811	11787	13143

Tabla N°3a. Solución a Ecuación N°1

	0,5	1	2	5
Muestra 1	14071	15204	16366	17947
Muestra 2	9877	10811	11787	13143

Tabla N°3b. Valor del Módulo de Rigidez

III. Finalmente se comparan los resultados obtenidos en el modelo de aproximación con los valores obtenidos en el ensayo de Módulo según norma UNE-EN 12697-26 Anexo C a 10°C y frecuencias 0,5 ; 1 ; 2 y 5hz.

Frec [hz]	0,5			1			2			5		
	Eest	Ereal	Dif%	Eest	Ereal	Dif%	Eest	Ereal	Dif%	Eest	Ereal	Dif%
M1	14071	14715	-4	15204	15127	0	16366	16067	2	17947	18473	-3
M2	9877	10763	-8	10811	10846	-7	11787	11682	1	13143	13991	-6

Tabla N°4. Validación del modelo

## 6. Conclusiones

Dado que se obtienen coeficientes de ajuste adecuados en ambas regresiones ( $R^2 \approx 0,99$ ) se puede afirmar una primera aproximación a los objetivos buscados de manera confiable.

Como la muestra de datos resultó pequeña no se pudo ampliar la cantidad de variables dependientes en la regresión lineal múltiple, quedará para futuros trabajos la posibilidad de ampliar la muestra de testigos ensayados e introducir más parámetros característicos que puedan explicar el módulo de rigidez de la mezcla.

## 7. Bibliografía

- British Standard. (2012). "BS-EN 12697-26:2012 Bituminous Mixtures, Test methods for hot mix asphalt, part 26: Stiffness". UK.
- AeNOR. (2006). "EN 12697-26 Mezclas Bituminosas, Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente, parte 26: Rigidez". España.
- Bari J., Witczak M. (2006). "Development of a new revised version of the Witczak E\* predictive model for hot mix asphalt mixtures". Arizona Department of Transportation, Phoenix, Arizona. EEUU.
- NCHRP. (2004). "Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures". EEUU.



# “MÓDULO RESILIENTE, GENERACIÓN DE ECUACIÓN CONSTITUTIVA Y ANÁLISIS DE MODELO DE UZAN PARA SUELOS TIPO I”

Becario: Ignacio Celi<sup>1</sup>  
Director: Luciano Brizuela<sup>2</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:  
“Análisis modulares de laboratorio y obra para diseño mecanicista de pavimentos flexibles”  
Código: 25/I-053

---

## 1- Resumen

Los materiales que constituyen el paquete estructural se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tráfico. Para poder analizar y comprender la naturaleza cíclica de esas cargas, así como el comportamiento no lineal y resiliente de los materiales, se han realizado trabajos experimentales, tanto en modelos a escala natural<sup>3</sup> como en muestras de material probadas en el laboratorio<sup>4</sup>, obteniéndose información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales.

De aquí se desprende el concepto de módulo resiliente, el cual está definido como el cociente entre el esfuerzo desviador, repetido aplicado en compresión triaxial, y la deformación axial recuperable. Así pues, el concepto de módulo resiliente está ligado invariablemente a un proceso de carga repetida.

Como se ha observado en los estudios llevados a cabo sobre módulo resiliente, este parámetro no es una propiedad constante del material, sino que depende de muchos factores. El objetivo principal de la tesis es analizar la ecuación de Uzan en un mismo suelo, en este caso suelo tipo I, bajo las mismas condiciones de ensayo. Para ello se han realizado en el laboratorio ensayos y fueron comparados para poder analizar los valores de su fórmula y obtener las distintas constantes.

## 2- Abstract

The materials constituting the structural package are subjected to dynamic loads of various magnitudes that are transmitted by traffic. To analyze and understand the cyclical nature of these charges as well as the nonlinear and resilient behavior of materials, experimental studies have been performed both on scale models natural<sup>3</sup> material samples and tested in the laboratorio<sup>4</sup>, obtaining information about the stress-strain behavior of materials.

Hence the concept of resilient modulus, which is defined as the ratio between the deviator stress, applied in repeated triaxial compression and axial deformation

---

<sup>1</sup>Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC Depto de Ing. Civil.

<sup>2</sup>Director de becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC Depto de Ing. Civil

<sup>3</sup>“Empleo del Light Weight Deflectometer para establecer el numero estructural efectivo en vías a ser pavimentadas” Autor: Brizuela Luciano

<sup>4</sup>“Aplicación y ajuste del procedimiento para el moldeo de probetas de suelo granular en el ensayo de módulo resiliente” Autor: Ignacio Celi

recoverable follows. Thus, the module concept is resilient invariably linked to a process of repeated loading.

As observed in studies conducted on resilient modulus, this parameter is not a constant material property, but depends on many factors. The main aim of the thesis is to analyze the equation Uzan resilient modulus in the same soil, in this case field type I, under the same conditions. To this end have been made in the laboratory tests and were compared to analyze the values of their formula and obtain the various constants.

### **3- Fundamentos**

La metodología actual para diseño de pavimentos utilizada por el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) considera que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales constitutivos de la sección de una carretera es el parámetro denominado módulo resiliente.

La norma AASHTO T307-99 divide a los suelos en 2 grandes grupos, suelos tipo 1 y tipo 2. Define a los suelos tipo 1 a aquellos materiales que tienen un índice de plasticidad de 10 o inferior y pasa menos del 70% el tamiz N°10 (2mm) y menos del 20% el tamiz N°200 (75um). Los materiales tipo II son los que no cumplan los criterios del material tipo I.

Para poder obtener un suelo tipo I se necesitó conformar un estabilizado granular que se adecúe a las necesidades que se tiene, se hace una granulometría de cada material que lo conforma ya sea agregado de distinta granulometría y suelo, y conjuntamente con las Curva Mínima y Máxima impuesta por el pliego, en este caso el pliego de Vialidad de la provincia de Bs As se va variando los porcentajes que intervienen de cada material para que la curva del estabilizado quede comprendida entre estas 2 curvas.

Al suelo también se lo clasifica pero no es de mucha importancia el resultado, si es importante la granulometría para poder conformar el estabilizado.

Se realizó al estabilizado granular el ensayo de Proctor Modificado, dando como resultado una Densidad seca máxima de 2,208 gr/cm<sup>3</sup> y una Humedad Óptima de 5,5%.

Además se le realizó el ensayo de Valor Soporte Relativo dando como resultado 268%.

### **4- Desarrollo experimental**

La norma estipula que la compactación del suelos Tipo 1 sea del tipo vibratoria con la utilización de un molde particionado. Las probetas fueron compactadas en seis capas con fuerzas vibratorias generadas por un martillo de impacto sin acción de amasado. Estas capas se realizan pesando la cantidad de suelo necesaria para formar cada una de ellas. La compactación se efectúa hasta que se obtiene el espesor buscado, habiendo medido previamente la altura desde el borde del molde al borde superior de la capa.

En cuanto al contenido de humedad y densidad de la muestra, se establecieron los valores obtenidos del ensayo Proctor Modificado.

La norma establece la ejecución del ensayo triaxial dinámico sobre una probeta cilíndrica sometida a un tensor desviador  $\sigma_d$  (carga vertical) pulsante con una duración de 0,1 segundos y una duración de ciclo carga-descarga de 1

segundo. El espécimen está sujeto a su vez a una presión de confinamiento  $\sigma_3$ , provista dentro de una cámara triaxial.

El protocolo del ensayo prevé quince condiciones de carga diferente con distintas combinaciones de tensor desviador aplicado y presión de confinamiento, para poner de manifiesto la dependencia de Modulo Resiliente con la magnitud de tensiones aplicadas.

Como consecuencia de los estados de sollicitaciones aplicados, se produce una deformación axial resiliente (recuperable) que es medida y usada para el cálculo del Módulo Resiliente como:

$$M_r = \sigma_d / \varepsilon_r$$

Ecuación 1. Módulo Resiliente

Dónde:

$\sigma_d$  : Tensor desviador aplicado

$\varepsilon_r$  : Deformación específica vertical

El tensor desviador y la presión de confinamiento están condicionadas, además de por tipo de suelo, por el posicionamiento del suelo en el paquete estructural; el estabilizado propuesto se calculó para una base, y estos son los datos con los que se ensayó

Secuencia Nº	Presión de Confinamiento $S_3$		Máxima Tensión Axial $S_{m\acute{a}x}$		Tensión Cíclica $S_{c\acute{i}clica}$		Tensión Constante $0,1S_{m\acute{a}x}$		Nº de Aplicación de cargas
	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	
Acondicionamiento	103,4	15	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	500-1000
1	20,7	3	20,7	3	18,6	2,7	2,1	0,3	100
2	20,7	3	41,4	6	37,3	5,4	4,1	0,6	100
3	20,7	3	62,1	9	55,9	8,1	6,2	0,9	100
4	34,5	5	34,5	5	31,0	4,5	3,5	0,5	100
5	34,5	5	68,9	10	62,0	9,0	6,9	1,0	100
6	34,5	5	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	100
7	68,9	10	68,9	10	62,0	9,0	6,9	1,0	100
8	68,9	10	137,9	20	124,1	18,0	13,8	2,0	100
9	68,9	10	206,8	30	186,1	27,0	20,7	3,0	100
10	103,4	15	68,9	10	62,0	9,0	6,9	1,0	100
11	103,4	15	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	100
12	103,4	15	206,8	30	186,1	27,0	20,7	3,0	100
13	137,9	20	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	100
14	137,9	20	137,9	20	124,1	18,0	13,8	2,0	100
15	137,9	20	275,8	40	248,2	36,0	27,6	4,0	100

Tabla 1 – Secuencias de ensayo para Materiales de Base/sub-base

Se obtienen 15 valores de módulo resiliente en función del tensor desviador y de la presión de confinamiento promediando los últimos cinco ciclos de cada secuencia.

Modelo de Uzan:

$$M_r = k_1 p_a \left( \frac{\theta}{p_a} \right)^{k_2} \left( \frac{\sigma_d}{p_a} \right)^{k_3}$$

Ecuación 2. Modelo de Uzan

Siendo:

$P_a$ =Presión atmosférica = 0,1 MPa

$M_r$ = Modulo Resiliente [MPa]

$\theta$ = Invariante de tensiones [MPa]

$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_d + 3\sigma_3$

$\sigma_1$ =Tensión principal mayor [MPa]

$\sigma_2$ =Tensión principal intermedia [MPa]

$\sigma_3 = \sigma_2$ = para el ensayo de MR en especímenes cilíndricos = Tensión principal menor/presión de confinamiento [MPa]

$k_1$ = constante propia del material

$k_2$ = constante propia del material

$k_3$ = constante propia del material

Con el modelo de Uzan y los valores obtenidos se genera una curva constitutiva que describe el comportamiento del material en función de las diferentes sollicitaciones a las cuales se encuentra sometida.

## 5- Análisis de resultados

Al realizar un ensayo de Modulo Resiliente, el software de cálculo nos da una tabla de información general del mismo (tabla 2), y nos da de cada ciclo los últimos cinco valores de Presión de cámara, Tensión axial cíclica, Deformación unitaria y Modulo Resiliente (tabla 3).

Tipo de ensayo:	1
Área de probeta:	181,4582384
LVDT utilizado:	2
Longitud de probeta	299,42
Celda de carga utilizada:	3
KLVDT1:	0,00069589
KLVDT2:	0,00074056
KCelda:	0,1350146
Cero LVDT1:	-3886,21
Cero LVDT2:	-3904,51
Cero Celda:	4118
Ancho del Trazo:	1

Tabla 2. Información general del ensayo

Ciclo 3	Presión Cámara [psi]	Tensión Axial Cíclica [psi]	Deformación Resiliente unitaria [mm/mm]	Módulo Resiliente [psi]
	2,865	5,837	5,01E-04	11650,850
	2,852	8,294	5,34E-04	15520,921
	2,827	7,397	5,01E-04	14764,590
	2,815	5,470	4,68E-04	11697,870
	2,796	8,364	5,34E-04	15652,224

Tabla 3. Un ciclo de los 15 obtenidos del ensayo de Modulo Resiliente

La tensión axial cíclica se obtiene de medir una presión axial máxima fuera de la cámara y restarle la fricción que hay entre el vástago y los cojinetes utilizados para evitar la salida del aire; por norma esta tensión debe ser el 90% de la tensión máxima.

Para obtener la deformación unitaria se colocan 2 LVDT y se miden las deformaciones recuperables en mm, se promedian y a ese valor se lo divide ésta por la longitud de la probeta.

El Modulo Resiliente se obtiene dividiendo la tensión axial cíclica con la deformación unitaria

De cada ciclo obtenido del software, para el cálculo se hace un promedio de los valores de Presión de cámara, Tensión axial cíclica, Deformación unitaria y Modulo Resiliente y con los 15 ciclos se conforma una tabla (tabla 4) con los valores de Modulo Resiliente en función de la presión de confinamiento y el tensor desviador. Estos valores representan 15 puntos en el espacio.

Valores obtenidos del ensayo				Valores utilizados para el modelo de Uzan			
PASO	Mr med	$\sigma_3$	$\sigma_d$	$\theta$	log Mr	log( $\theta$ )	log( $\sigma_d$ )
2	50	0,020	0,020	0,079	1,702	-1,102	-1,691
3	76	0,019	0,035	0,093	1,879	-1,029	-1,456
4	96	0,020	0,049	0,107	1,980	-0,969	-1,312
5	85	0,033	0,033	0,133	1,931	-0,876	-1,477
6	110	0,033	0,059	0,158	2,040	-0,800	-1,233
7	120	0,034	0,090	0,192	2,078	-0,717	-1,044
8	130	0,068	0,058	0,262	2,113	-0,581	-1,238
9	132	0,068	0,083	0,286	2,120	-0,544	-1,083
10	142	0,068	0,061	0,265	2,154	-0,576	-1,214
11	156	0,102	0,064	0,371	2,194	-0,431	-1,195
12	151	0,102	0,083	0,390	2,180	-0,409	-1,080
13	163	0,103	0,062	0,370	2,213	-0,432	-1,205
14	169	0,137	0,083	0,492	2,228	-0,308	-1,083
15	187	0,137	0,105	0,515	2,271	-0,288	-0,979
16	192	0,137	0,076	0,485	2,284	-0,314	-1,121

Tabla 4. Tabla de regresión múltiple para calcular los valores de  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$ .

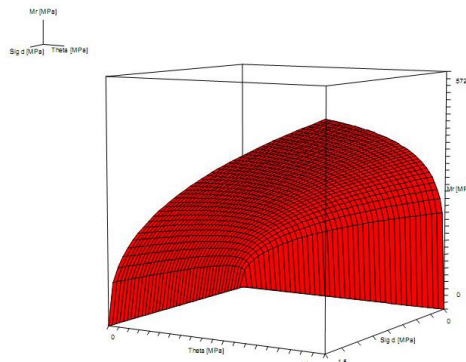
Mediante el Modelo de Uzan se genera la curva constitutiva, que describe el comportamiento del material en función de las diferentes solicitaciones a las cuales se encuentra sometida, esta curva indica la valoración del comportamiento no lineal del mismo, es decir, si el comportamiento del suelo fuera lineal los valores del Módulo Resiliente para cada solicitación deberían ser iguales ya que el MR es la pendiente de la recta, pero para distintos estados de solicitación se obtienen distintos valores de Modulo Resiliente.

Para encontrar los valores de  $k_1$   $k_2$   $k_3$  que mejor representen a los valores medidos fue necesario hacer una transformación de los 15 valores ya obtenidos de MR,  $\sigma_d$  y  $\theta$  para linealizar la ecuación de Uzan. Al ser ésta una ecuación potencial se debe aplicar logaritmo a cada variable para que represente correctamente al modelo. Luego utilizando la regresión lineal de Microsoft Excel se obtuvieron éstos valores de  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  y el coeficiente de determinación  $R^2$  (tabla 5) siendo más preciso cuando más próximo a uno sea.

		Resumen
$k_1$	481,857	
$k_2$	0,403	
$k_3$	0,277	
		<i>Estadísticas de la regresión</i>
		Coeficiente de correlac 0,97425139
		Coeficiente de determir 0,94916577
		R <sup>2</sup> ajustado 0,9406934
		Error típico 0,03923988

Tabla 5. Coeficientes de ajustes

Obtenidos estos valores y mediante el Modelo de Uzan queda definida la curva constitutiva.



Gafico1. Superficie de la Ec. Constitutiva.

De esta manera, queda claro que no existe un único valor de Modulo resiliente, si no que existen infinitos valores para cada combinación que haya de  $\theta$  y  $\sigma_d$ .

## 6- Conclusiones

Como conclusión, se observó que el Modelo de Uzan representa adecuadamente a los Suelos Tipo I. Además éste tiene la ventaja de ser un modelo universal, y al ser adoptado en la gran mayoría de los software de cálculo nos permite caracterizar cualquier tipo de material.

Además se concluye que con los temas abordados en la presente tesis y complementariamente con las tesis anteriores el LEMaC ya cuenta con una metodología completa para poder lograr una adecuada caracterización de los materiales no ligados que intervienen en un paquete estructural flexible.

## 7- Bibliografía

- <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3252/10/50777-10.pdf>
- AASHTO T 307-99, "Determinación del Módulo Resiliente de Suelos y Agregados"; (2003).
- Norma de Dirección de Vialidad Nacional VN -- E5 - 93: "Compactación de suelos"
- Norma de Dirección de Vialidad Nacional VN -- E6 - 84: "Determinación del valor soporte e hinchamiento de suelos"
- Ings. Silvia Angelone Fernando Martinez y Jorge Tosticarelli "Modulo resiliente de suelos y materiales no tratados. Su aplicación al diseño estructural de pavimentos en argentina"

# “Correlación de ensayos viales clásicos y los parámetros de la ecuación de Uzan para $M_r$ Resiliente en suelos tipo II”

Becarios: **Domínguez Mauro, Verdú Constanza**<sup>(1)</sup>  
Director: Luciano Brizuela<sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia: Análisis modulares de laboratorio y obra para diseño mecanicista de pavimentos flexibles. Código: 25/I-053

---

## 1- Resumen

El módulo resiliente ( $M_r$ ) es un parámetro fundamental para caracterizar a los suelos y materiales granulares. El ensayo del mismo, aplicable a suelos de subrasante y materiales de base/subbase sin tratar, intenta reproducir las condiciones de campo mediante la aplicación de cargas axiales dinámicas simulando el paso del tránsito y de una presión de confinamiento ( $\sigma_3$ ) representando el entorno dentro del paquete estructural. El valor obtenido constituye la razón entre la tensión axial cíclica aplicada ( $\sigma_d$ ) y la deformación específica recuperable.

Este ensayo se basa en la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials): T 307-99(2003), la cual cubre los procedimientos para la preparación y el ensayo, otorgando una serie de valores que permiten contar con los datos necesarios para la construcción de la ecuación constitutiva, que representa el valor del  $M_r$  en función del confinamiento y su tensión axial, para de esta manera ser utilizado en modelos de análisis de respuesta estructural

El objetivo principal de la tesis es generar una metodología adecuada para obtener una base de datos de ensayos de  $M_r$  de los suelos tipo 2 (cohesivos) disponibles en la región, a fin de contar en un futuro con los datos suficientes para poder desarrollar una estimación, con un cierto grado de confianza, de la ecuación constitutiva de un suelo en particular apoyado en ensayos más simples sin la necesidad de realizar un ensayo complejo y muchas veces inalcanzable como puede ser el ensayo de  $M_r$ .

## 2- Abstract

The resilient module ( $M_r$ ) is a fundamental parameter to characterize soils and granular materials. This test, applicable to sublow SOILS and materials of base/subbase without treating, tries to reproduce the field conditions by means of the application of dynamics axiles loads, simulating the traffic and of a pressure of confinement ( $\sigma_3$ ) representing the environment inside the structural package. The obtained value constitute the reason between the axial cyclical applied tension ( $\sigma_d$ ) and the specific recoverable deformation.

This test is based on the norm AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials): T 307-99 (2003), which covers the procedures for the preparation and the test, granting a series of values that allow to rely on the necessary information for the construction of the constitutive

(1) Becarios del Área Materiales Viales, LEMaC Centro de Investigaciones Viales. Dpto. Ingeniería Civil.

(2) Tutor de la Tesis



equation, that represents the value of the  $M_r$  depending on the confinement and his axial tension, to be used in analysis models of structural response.

The principal aim is to generate a methodology adapted to obtain a database of  $M_r$ 's tests of the SOILS type 2 (cohesive ones) available in the region, in order to possess in a future the sufficient information to be able to develop an estimation, with a certain degree of confidence, of the constitutive equation of a soil especially rested on simpler tests without the need to realize a complex test and often unattainable as can be test of  $M_r$ .

### 3- Fundamentos

Las metodologías actuales para diseño de pavimentos consideran que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales constitutivos de la sección de una carretera, es el parámetro denominado  $M_r$ . Tal es el caso del método AASHTO (2008) (American Association of State Highway and Transportation Officials), que especifica las metodologías de ensayo según el tipo de suelo en la norma AASHTO T 307-99.

En esta metodología de diseño, como en la mayoría de las metodologías mecanicistas, la ecuación constitutiva del  $M_r$  es requerida a través de un modelo específico. Actualmente la tendencia es la utilización de un único modelo universal para todos los materiales no ligados que conforman el paquete, ya sea para materiales friccionales o cohesivos. Este modelo es el denominado modelo de Uzan.

$$M_r = k_1 p_a \left( \frac{\theta}{p_a} \right)^{k_2} \left( \frac{\sigma_d}{p_a} \right)^{k_3}$$

Formula de Uzan

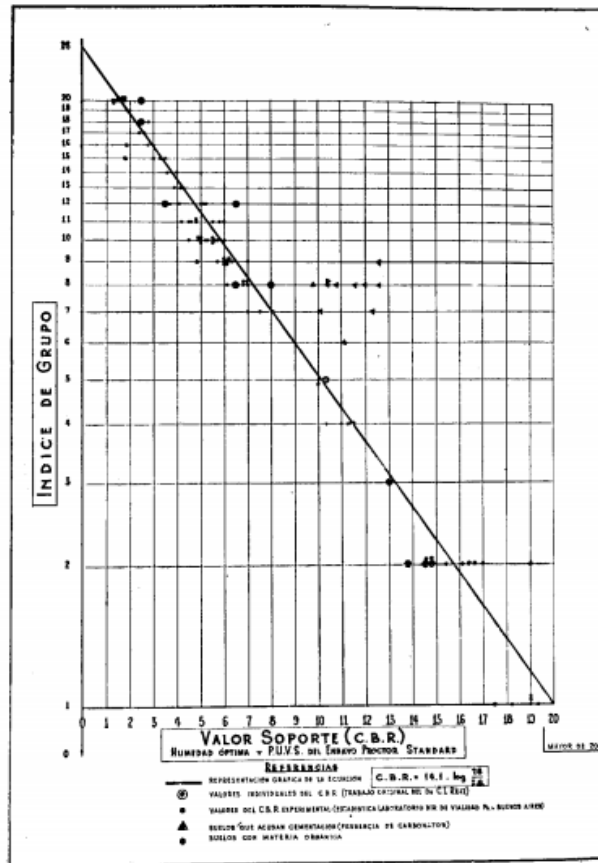
Este modelo predictivo permite generar la curva constitutiva del material mediante el ajuste de los parámetros  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  con un coeficiente de determinación  $R^2$ . El cual debería ser lo más cercano a la unidad para que la ecuación resulte representativa.

Como referencia de fórmulas para obtener valores estimados, se estudió el modelo del Ingeniero Ruiz basados en suelos argentinos para estimar el Valor Soporte Relativo.

$$VSR = 14,6 \times \log \frac{26}{IG}$$

Se recurrió a esta aplicación debido a las siguientes ventajas:

- Sencillez: solo se requieren los ensayos de LL, LP y análisis granulométrico para determinar el índice de grupo.
- Precisión: cada suelo queda clasificado en su grupo sin intervenir el criterio del operador.
- Utilidad: la introducción del concepto de índice de grupo nos permite diferenciarlos cuantitativamente por un número (de cero a veinte, siendo 0 para suelos muy buenos y 20 para los pésimos) dentro de un mismo grupo de la clasificación.



VIALIDAD — REVISTA DE LA D.V.B.A. — EN.-FEB.-MZO. 1959. Nº 6

Este método establece claramente un límite para aquellos suelos que tienen un Índice de grupo mayor a veinte (20) ya que está basado en estudios no recientes y se concluye que esta desactualizado.

#### 4- Desarrollo experimental

Para poder emprender la investigación, se necesitó extraer suelos de los cuatro laterales de una cantera ubicada en la ciudad de La Plata (Figura 1).



**Figura 1. Cantera**

A las muestras se las sometió a los ensayos característicos de los suelos para poder clasificarlos según la metodología HRB, Proctor (obtención de la densidad seca máxima y humedad óptima) y valor soporte relativo (resistencia al punzonamiento).

Para la confección de las probetas de material tipo 2 se recurrió a los valores obtenidos del ensayo Proctor y para la compactación de dichos especímenes se usó la densidad humedad máxima, estos valores se utilizaron para la determinación del peso de cada capa, ya que el volumen de cada una es determinado por las dimensiones del molde.

Para la confección de las 3 probetas de cada tipo de suelo, se empleó el método de compactación estática (apéndice c- de la norma AASHTO T 307) [Figura 2]

Una vez completado el moldeo se coloca la membrana cuidadosamente y se procede al ensayo dentro de la cámara triaxial. [Figura 3]



**Figura 2. Máquina de compactación.**



**Figura 3. Probeta pre-ensayo.**

#### 4- Análisis de resultado

En primer lugar, al analizar los resultados obtenidos de la fórmula de Ruiz y los del laboratorio se tiene lo siguiente:

Suelo	Denominación	Ind. Grupo	Valor soporte obtenido (%)	Valor soporte calculado (%)
1	A 7-5	15	4,5	3,49
2	A 7-5	12	1,64	4,90
3	A 7-6	34	0,53	-1,70
4	A 7-5	43	0,27	-3,19

Claramente se observa una discordancia entre ambos valores y con respecto a lo anteriormente mencionado, para los dos últimos suelos (con índices de grupo mayores a 20) podría decirse que les corresponde un Valor Soporte nulo. Este método no es totalmente confiable porque no discrimina el tipo de suelo para obtener su resultado.

En segundo lugar el ensayo de MR arrojó los valores de  $\sigma_3$ ,  $\sigma_d$  y  $M_r$  medido, entendiéndose este último como la relación entre el tensor desviador y la deformación axial unitaria.

Utilizando el modelo de Uzan (modelo universal), y aplicando la regresión lineal se obtuvo el ajuste de los parámetros  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  para que la ecuación resulte representativa.

$$M_r = k_1 p_a \left( \frac{\theta}{p_a} \right)^{k_2} \left( \frac{\sigma_d}{p_a} \right)^{k_3}$$

Formula de Uzan

Dónde:

$M_r$ : Modulo Resilente Medido

$K_1, K_2, K_3$ : constantes de ajustes

$P_a$ : presión atmosférica

$\theta$ : Invariante de tensiones

$\sigma_d$ : Tensor desviador

Teniendo en cuenta lo concluído para suelos tipo 2, respecto a tesis anteriores se tomaron los siguientes supuestos:

- $K_1$ : proporcional al módulo de Young (módulo elástico longitudinal)
- $K_2$ : relacionado con el invariante de tensiones.
- $K_3$ : relacionado con la cohesión del material

Debido a los resultados obtenidos del ensayo de Mr en esta tesis, se pone de manifiesto la versatilidad del modelo de Uzan, respecto a la manera de cuantificar la importancia de una variable u otra para la obtención del Mr.

Es decir las constantes  $K_2$  y  $K_3$  tomarán valores tales, que el mismo modelo represente adecuadamente tanto los suelos tipo 1 (de naturaleza friccional) y los suelos tipo 2 (de naturaleza cohesiva).

Luego de realizar la regresión se obtuvieron por ejemplo, para el suelo 4, los siguientes valores:

Suelo 4			
Probeta	k1	k2	k3
1	9,003	-0,020	-0,868
2	19,262	-0,198	-0,547
3	14,836	-0,130	-0,673
Promedio	14,367	-0,116	-0,696

La siguiente tabla muestra un resumen del análisis de todos los suelos:

Suelo	Denominación	Ind. Grupo	Parámetros promediados de la ecuación de Uzan			R <sup>2</sup>
			k1	k2	k3	
1	A 7-5	15	65,118	0,096	-0,399	0,61
2	A 7-5	12	1,273	-0,050	-1,331	0,93
3	A 7-6	34	7,451	-0,215	-0,813	0,66
4	A 7-5	43	14,367	-0,116	-0,696	0,88

Debido a la insuficiente cantidad de probetas, no se pudo establecer una estadística y por ende tampoco una curva de distribución normal. Se logra rescatar la efectividad de los valores de R<sup>2</sup>.

A futuro se proyecta tener como mínimo 10 probetas de cada tipo de suelo, para poder realizar lo anteriormente mencionado, y analizar dentro de la distribución normal el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, denominándose curtosis, y la simetría que nos permite identificar si los datos se distribuyen de forma uniforme alrededor del punto central (Media aritmética).

## **5- Conclusiones**

Se puede concluir que para obtener el resultado final, es decir los parámetros componentes de la ecuación constitutiva del Mr se aprendieron durante el transcurso del año conceptos y ensayos desconocidos, como ser lo relacionado con los ensayos clásicos de suelos y el de Mr propiamente dicho.

Se planea para el próximo año, poder establecer una relación directa entre la clasificación de los suelos y la obtención de los parámetros  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$ , para facilitar el ingreso de datos en el programa BackVid, utilizado para el cálculo del diseño del paquete estructural de un camino.

## **6- Bibliografía**

- Normas de ensayo. Dirección Nacional de Vialidad. (Año 1998)
- AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials): T 307-99(2003)
- Vialidad. Revista de la Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas. Editada por Resolución N° 1610 de fecha 17-IX-57.
- “Fundamentos Teóricos y Desarrollo del Procedimiento de ensayo de Modulo Resiliente” Natalia Alderete (Año 2011)



# “CARACTERIZACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES BITUMINOSOS”

Becaria: **Carolina Gerardi** <sup>(1)</sup>  
Directora: Ing. Cecilia J. Soengas <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:

“Metodología teórico práctica para el diseño de tratamientos superficiales bituminosos bajo condiciones de servicio”

Código UTN – 1618. Disposición 315/11

---

## 1. Resumen

En base a estudios anteriores sobre tratamientos superficiales bituminosos, la presente tesis tiene por objeto analizar la dosificación de los mismos, por medio de la Regla de Tagle, usando la curva granulométrica propuesta por el Pliego General de Vialidad Nacional en cuanto al tratamiento y la curva propuesta por la Sección 1003 “Agregado para Capa de Sellado” del MoDOT (Departamento de Transporte de Materiales de Construcción del Estado de Missouri).

Por otra parte, se evaluó la incidencia de la compactación por el método dinámico del nuevo equipo compactador, denominado “compactador de rodillo” sobre el estabilizado granular donde se “apoya” el tratamientos superficiales.

Uno de los mayores inconvenientes encontrados en trabajos anteriores, fue la aplicación de la emulsión sobre el estabilizado granular. Esto se vio resuelto adquiriendo una pistola “presurizada” donde se puede lograr una “lluvia” continua de emulsión, que permite cubrir de forma uniforme toda la superficie del estabilizado granular permitiendo una correcta adherencia árido ligante sobre toda la superficie.

## 2. Abstract

Based on previous studies on bituminous surface treatments, this thesis aims to analyze the dosage of the same, through the Rule of Tagle, using the grading curve given by the General Statement of National Highways in the treatment and curve proposed by the Section 1003 "Added to sealing layer" of MoDOT (Department of Transportation Building Materials of the State of Missouri).

Moreover, the incidence of compaction was evaluated by the method of dynamic compactor new computer, called "roller compactor" granular stabilized on which "supports" the surface treatments.

One of the major problems found in previous work was the application of the emulsion on the granular stabilized. This was solved by acquiring a gun "pressurized" where you can achieve continuous "rain" emulsion, allowing evenly cover the entire surface of the granular aggregate stabilized allowing a correct binder adhesion over the entire surface.

## 3. Fundamentos

Podemos definir un tratamiento superficial como un revestimiento aplicable sobre distintos tipos de calzada, conformando una capa de rodamiento delgada compuesta por la superposición de dos elementos básicos: un material bituminoso (emulsión asfáltica) y agregados pétreos. La emulsión tiene como finalidad impermeabilizar la superficie de asiento y fijar los agregados, mientras que los áridos deberán resistir la circulación de vehículos y asegurar una correcta evacuación del agua superficial.

(1) Becaria del Área Materiales Viales, LEMaC Centro de Investigaciones Viales. Dpto. Ingeniería Civil.

(2) Tutora de la Tesis

Éstos materiales se colocan en capas alternadas conformando tratamientos superficiales simples, dobles o triples respectivamente, de acuerdo a la cantidad de capas. La elección del tipo de tratamiento y las características del mismo esta condicionada por la disponibilidad y calidad de materiales cercanos a la obra, el tránsito que deberá soportar, el tipo de base a ser protegida y las condiciones climáticas del lugar.

Estos revestimientos se construyen para cumplir con los siguientes objetivos:

- Aportar impermeabilidad, es decir, impedir que se modifique el contenido de humedad de la base.
- Suministrar mejores condiciones de resistencia a la abrasión y desgaste por acción del tránsito.
- Eliminar irregularidades superficiales.
- Contribuir a la seguridad de la calzada suministrando una textura superficial que provee una adecuada fricción entre el rodado y la misma.

Se recomienda que todo tratamiento superficial lleve una capa de sellado, como la propuesta por la Sección 1003 “Agregado para Capa de Sellado” del MoDOT. Este sellado consiste en recubrir al propio tratamiento con un riego de emulsión asfáltica adicional, seguida de una dotación de agregados de entre 3 a 7 l/m<sup>2</sup>.

La especificación mencionada presenta tres curvas granulométricas en base al tamaño del agregado que se presentan a continuación en la siguiente tabla:

TAMIZ	A		B		C	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
	% PASA	% PASA	% PASA	% PASA	% PASA	% PASA
1/2	100	100	100	100	100	100
3/8"	97	100	95	100	95	100
N° 100	0	12	0	25	0	35
N° 200	0	1	0	2,5	0	3,5

Tabla 1. Curvas granulométricas sección 1003 del MoDOT.

### 3.1. Diseño del estabilizado granular

Con el fin de simular las condiciones de obra, se optó en primer lugar, por realizar un estabilizado granular como base del tratamiento propiamente dicho. Se define así a un estabilizado físico conformado por la mezcla de áridos de distintas granulometrías y suelo, con el objetivo de modificar su resistencia y plasticidad y así mejorar su aptitud vial.

La curva granulométrica del material conformado deberá estar comprendida entre las curvas límites impuestas por el pliego de la provincia de Buenos Aires. De esta manera se consigue que el estabilizado granular sea resistente y cohesivo.

### 3.2. Dosificación de tratamientos superficiales

Existen diversos métodos propuestos para la dosificación de tratamientos superficiales, como el “Método teórico”, el “práctico” y los empíricos de cálculo. Dentro de éstos últimos se encuentra el formulado por el ingeniero E. F. Tagle comúnmente denominado 9 – 5 – 3, siendo el de mayor aplicación en el país y el elegido para presente trabajo.

Tagle propone por un lado determinar el volumen de agregados capaz de cubrir, sin superposición de material, un tablero de ¼ de metro cuadrado. Por otra parte, la cantidad de material bituminoso expresada en volumen de cemento asfáltico, están

relacionadas con el volumen de agregado pétreo suelto, por los siguientes porcentajes:

Tipo de Tratamiento	Aplicación Bituminosa	Relaciones	Porcentajes
Simple, Doble y Triple	Total	Betún - Piedra (en Vol. de agregado suelto)	9
Doble y Triple	1º Riego	Betún - Tamaño Máximo Efectivo (del agregado grueso)	5
Triple	2º Riego	Betún - Agregado Grueso (en Vol. de agregado grueso)	3

Tabla 2. Regla de Tagle.

#### 4. Desarrollo experimental

##### 4.1 Diseño del estabilizado granular

El estabilizado granular utilizado como base del tratamiento superficial fue conformado por:

- Piedra partida granítica 6:20 como material granular grueso.
- Piedra granítica partida 6:12 como material granular intermedio.
- Arena de trituración granítica 0:6
- Suelo seleccionado tipo A4 de clasificación HRB como material fino.

Los áridos mencionados son provenientes de una cantera de la zona de Olavarría. Se obtuvo, a través de tanteos, una composición final cuya curva granulométrica cumple con los límites impuestos por el pliego único de especificaciones de vialidad de la provincia de Buenos Aires.

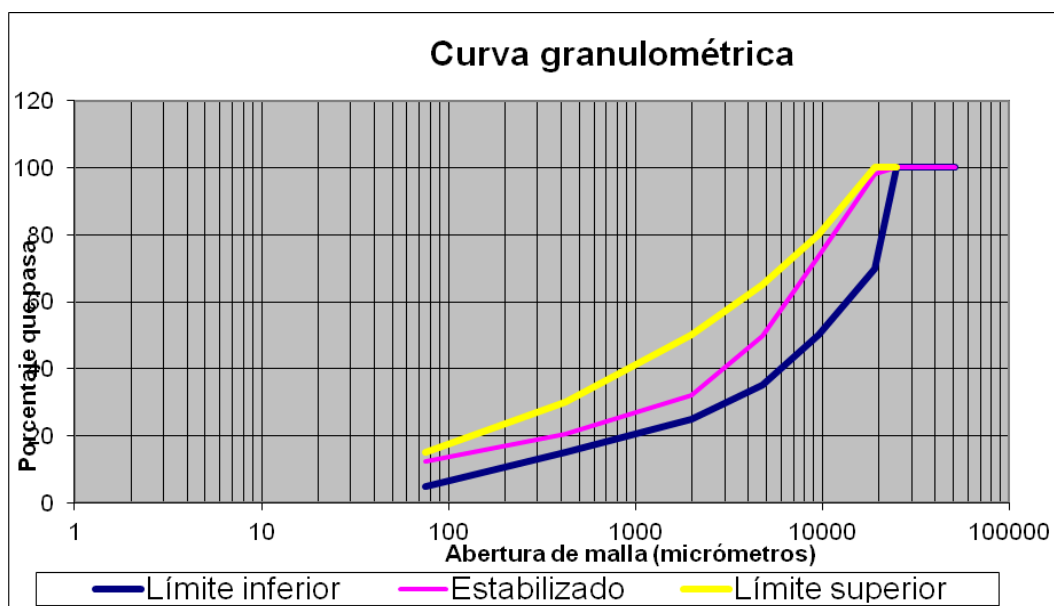


Gráfico 1. Curva Granulométrica del estabilizado granular.

Una vez conformado el estabilizado se le realiza el ensayo de proctor modificado, con el fin de determinar la humedad óptima con la cual se obtiene el mayor valor de peso unitario llamado densidad seca máxima. Se obtuvieron los siguientes valores:

Densidad Seca Máxima = 2.208  
Humedad Óptima = 5,5%

Estos parámetros sirven para estimar la cantidad de suelo húmedo que debemos colocar en la probeta para que luego de compactada se llegue a la densidad deseada. Es decir que teniendo el volumen de la probeta y la densidad seca máxima del suelo, solo resta saber el peso del suelo a colocar.

#### 4.2 Diseño del tratamiento superficial

Para realizar la dosificación tratamiento superficial se aplicó el método de Tagle. Por otra parte, se planteó el uso de la curva granulométrica A (tabla 1) propuesta por el Pliego General de Vialidad Nacional para materializar el tratamiento. Fueron analizados distintos tipos de agregados, y finalmente se decidió utilizar una piedra partida 6:20 ya que fue la que mejor se adaptaba a los límites impuestos por el pliego.

Para el sello se resolvió utilizar un agregado 6:12, que cumple con los límites de la curva C propuesta por la Sección 1003 del MoDOT, con el fin de poder analizar posteriormente la resistencia a la abrasión mediante el ensayo de raspado de superficies bituminosas.

A continuación se adjuntan las granulometrías elegidas:

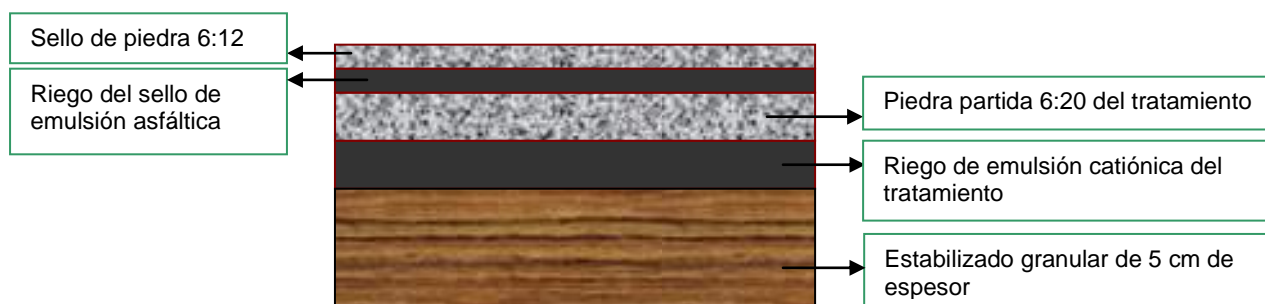
Granulometría según vialidad Nacional		
TAMIZ	CURVA "A"	
	MIN	MAX
	serie1	serie2
3/4"	100	100
5/8"	90	100
1/2"	40	70
3/8"	0	15
1/4"	0	2

Tabla 3. Curva "A" Vialidad Nacional

Granulometría según MoDOT 1003		
TAMIZ	"C"	
	MIN	MAX
	% PASA	% PASA
1/2"	100	100
3/8"	95	100
N° 100	0	35
N° 200	0	3,5

Tabla 4. Curva "C" MoDOT 1003

La probeta quedó conformada de la siguiente manera:



Para confeccionar la probeta se utilizó un molde del ensayo WTT (Wheel Tracking Test) de 30 x 30 x 5cm. Primero se colocó el estabilizado granular con la humedad y densidad óptima, compactándolo con un rodillo neumático. En comparación con experiencias anteriores donde el método de compactación fue a través de un martillo neumático, en esta oportunidad se observó una terminación de la superficie más uniforme y compacta, que permitió un mejor comportamiento de la probeta frente a los ensayos posteriormente realizados.

A continuación se presentan imágenes del método utilizado y el estabilizado compactado terminado.



Imagen 1. Compactación con rodillo



Imagen 2. Estabilizado compactado

Tanto el riego de emulsión catiónica del tratamiento superficial como el del sello se realizaron por medio de una pistola “presurizada”. Este método de esparcimiento permitió un recubrimiento uniforme de toda la superficie tanto del estabilizado granular en la primer regada, como sobre la capa de agregados durante el segundo riego. Se observó además una mejor adherencia entre el árido y el ligante.

A la probeta conformada se le realizó el ensayo de raspado de superficies bituminosas propuesto por el MoDOT, con el cual se puede determinar el porcentaje de pérdidas que presenta el sello una vez finalizado el ensayo. Se obtuvieron perdidas menores al 15 % que son las que se exigen como máximo en peso.

## 5. Conclusiones

- Las probetas confeccionadas en un molde de WTT, con una base de estabilizado granular, hace que el tratamiento sea más representativo de las condiciones de la obra.
- La utilización de un rodillo neumático para la compactación del estabilizado granular permitió lograr una superficie más uniforme, por otra parte se alcanzó la densidad óptima a la hora del moldeo.
- El esparcimiento de la emulsión bituminosa con la pistola presurizada resultó ser lo más representativo a la colocación en obra, uniforme en toda la superficie y a su vez se consiguen menos errores en la dotación de la misma.

## 6. Bibliografía

- Norma IRAM 1684 “Agregados para tratamientos superficiales bituminosos, simples o múltiples”.
- Norma de ensayo VN – E5 – 93 “Compactación de suelos”. Dirección Nacional de Vialidad
- Tratamientos superficiales. Botasso, H.G; Rebollo, O; Soengas, C. CPA. Rosario. 2008.
- Pliego de especificaciones técnicas generales de la Dirección nacional de vialidad, edición 1998.
- Ing. Luis María Zalazar “Tecnología para el desarrollo de caminos secundarios”. Asociación Argentina de carreteras. Buenos Aires.
- Ing. Eleodoro A. Musuriara “Las emulsiones asfálticas en las construcciones viales”.
- Missouri. Sección 1004 del MoDOT “Zahorra de superficie bituminosa”
- Missouri. Método de ensayo MoDOT T72 “ensayo de raspado de superficies bituminosas”. Departamento de transporte de materiales de construcción.

# “EXPERIENCIAS CON EL USO DEL DIFRACTÓMETRO LASER”

Becario: Zapata Ferrero Ignacio<sup>(1)</sup>

Directora: Ing. Alderete Natalia<sup>(2)</sup>

---

## 1. Resumen

La difracción de rayos láser es una técnica ampliamente utilizada para el análisis de tamaño, forma y cantidad de partículas de diferentes materiales. Esta técnica está basada en la interacción de las partículas con la luz y la posterior transformación de los patrones de difusión mediante modelos matemáticos.

En esta tesis se describen los fundamentos teóricos más importantes de la difracción láser, la metodología desarrollada para emplear el analizador de partículas, y experiencias realizadas con emulsiones y esferas de vidrio.

## 2. Abstract

Laser diffractometry is a widely used technique for the analysis of particle size, shape and quantity of different materials. This technique is based on the interaction of light with particles and the subsequent transformation of diffusion patterns by means of mathematical models.

In this thesis the most important theoretical fundamentals of the laser diffraction, the methodology developed for the use of the particle analyzer, and experiences with emulsions and glass spheres are presented.

## 3. Fundamentos teóricos

La difracción de la luz es un fenómeno complejo, pero puede ser asimilado a la generación de las ondas concéntricas que se forman al tirar una piedra al agua. Las ondas cercanas al sitio del impacto son intensas, mientras que la intensidad de la onda disminuye con la distancia. Este patrón de ondas varía con el tamaño de las piedras [Stojanovic, 2010]. La Figura 1 muestra dos patrones de difusión para partículas pequeñas (izquierda) y para partículas grandes (derecha). Análogamente, cuando un haz de luz atraviesa una muestra con una dada distribución de tamaño de partículas (dtp) se producirá un cierto patrón de difusión. La utilización de la difracción láser está basada en el hecho de que la distribución espacial del patrón de difusión es una función del tamaño de partícula.

Para conocer el patrón de difusión que genera una muestra de partículas es necesario entender la interacción de la luz con las partículas. La espectroscopia surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia como función de la longitud de onda ( $\lambda$ ). Cuando un rayo de luz atraviesa una partícula ocurren diferentes fenómenos, descritos brevemente a continuación:

Difracción: desviación de las ondas al encontrar un obstáculo.

Refracción: cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Se produce solamente si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de ambos medios y si estos tienen índices de refracción distintos.

1. Becario del Centro de Investigaciones Viales, LEMaC, Dpto. Ingeniería Civil  
2. Tutora de la Tesis de Investigación

Absorción: captación de la radiación por la materia. La energía luminosa es absorbida, en cierta parte, por todas las superficies con las que se pone en contacto y en la mayor parte de los casos se convierte en calor.

Reflexión: cambio de dirección de una onda, que entra en contacto con la superficie de separación entre dos medios diferentes.

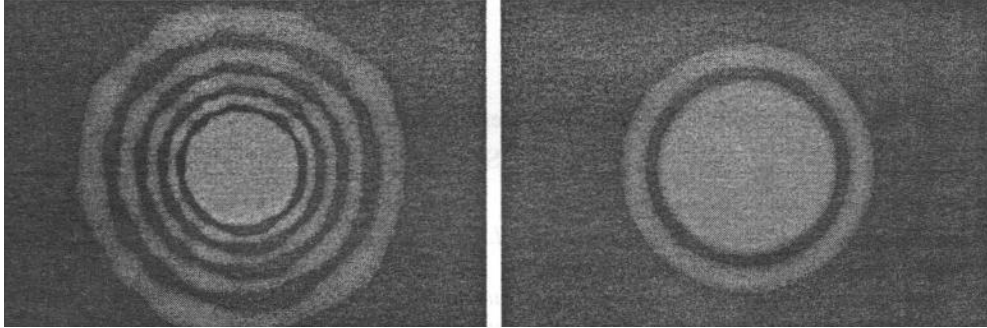


Figura 1. Patrones de difusión

En el ensayo de difracción láser una muestra representativa del material en estudio se hace pasar a través de un haz monocromático de luz láser. La luz es dispersada en distintos ángulos y es registrada mediante diferentes detectores que asignan diferentes valores para su posterior análisis [ISO 13329, 1999]. La Figura 2 muestra un esquema general de los componentes de un difractómetro láser.

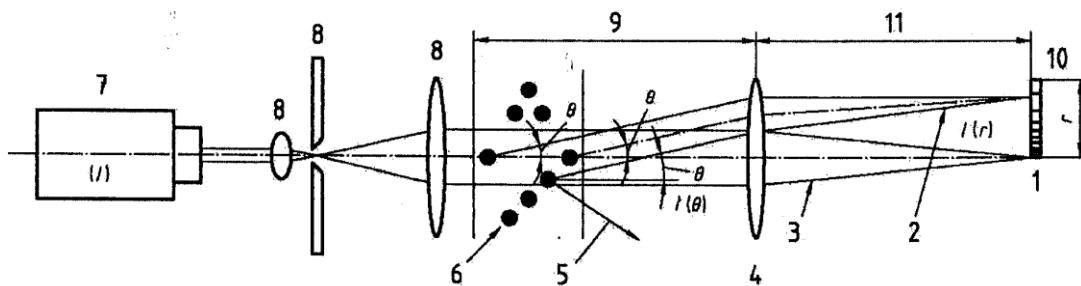


Figura 2. Esquema de los componentes de un difractómetro láser

- |   |   |
|---|---|
| 1. Detector de obscuración                  | 6. Conjunto de partículas                   |
| 2. Haz de laser dispersado                  | 7. Fuente de luz laser                      |
| 3. Haz de laser directo                     | 8. Unidad de procesamiento del haz de laser |
| 4. Lente de Fourier                         | 9. Distancia de trabajo de la lente 4       |
| 5. Luz refractada no captada por el lente 4 | 10. Detector de elementos múltiples         |
|   | 11. Distancia focal al lente 4              |

Una vez registrados los datos sobre la interacción del láser con la muestra se utilizan diferentes modelos matemáticos para transformar los valores asignados en cada detector una dtp en volumen, este proceso se llama deconvolución. Los modelos son soluciones a las Ecuaciones de Maxwell para la dispersión de radiación electromagnética por partículas esféricas. Generalmente, además de la dtp, se caracteriza a la muestra a partir de los siguientes diámetros característicos: Dv10: tamaño de partículas por debajo del cual se encuentra el 10% del volumen de la muestra.



Dv50: tamaño de partículas por debajo del cual se encuentra el 50% del volumen de la muestra.

Dv90: tamaño de partículas por debajo del cual se encuentra el 90% del volumen de la muestra.

Una medida de control entre los valores medidos y la dtp devuelta por el modelo óptico adoptado es el valor residual. El mismo es medido automáticamente por el programa y representa la “correcta” adopción de los parámetros ópticos. Resulta significativo también destacar que se parte de la base de considerar partículas con características ópticas isotrópicas, que puedan asimilarse a esferas equivalentes y no magnéticas, que en muchos casos se reflejan las características de los materiales a ensayar.

### 3.1. Aproximación de Fraunhofer

Esta aproximación es aplicable a tamaños de partículas grandes, clasificando a las partículas grandes como aquellas que tienen un mayor tamaño que la longitud de onda de luz incidente, aproximadamente 40 veces mayor. Esta teoría no tiene en cuenta datos significativos como los efectos de absorción y transmisión (reflexión, refracción, difracción) de la luz. Esta aproximación se utiliza frecuentemente en partículas que son opacas y transmiten una pequeña cantidad de luz.

### 3.2. Solución de Mie

La solución de Mie [ISO 13320 - 1999] (Ecuación 1) es aplicable para partículas más pequeñas que en el caso del modelo de Fraunhofer, y tiene en cuenta todos los efectos de dispersión (absorción, difracción, reflexión y refracción) de la luz alrededor de las partículas.

$$I(\theta) = E \left\{ k^2 D^4 [J_1]^2 \theta^1 + [K_2 \theta]^3 + [K_3 \theta]^5 + \frac{k^4 D^6 (m-1)^2 \theta^6}{8\pi} \right\}$$

Ecuación 1: Expresión simplificada de la solución de Mie a las ecuaciones de Maxwell

Dónde:

I: intensidad de luz dispersada

E: flujo de la luz incidente por unidad de área

k, K: constantes

D: diámetro de partículas

J1: función de Bessel de primer orden

$\theta$ : ángulo de dispersión

m: índice de refracción complejo

Para utilizar este modelo es necesario conocer el índice complejo de refracción (m) del material a ensayar. Este índice (m) está formado por una parte real, el índice de refracción (n), y una parte imaginaria, el coeficiente de absorción (k) [Webb, 2000]. Los valores adoptados reflejan las propiedades ópticas del material, considerando de esta manera los efectos de la interacción de la luz con las partículas (Ecuación 2). A su vez se debe conocer el índice de refracción del medio de dispersión.

$$m = n - ik, \text{ donde } i = \sqrt{-1}$$

Ecuación 2: Índice complejo de refracción

Si bien la teoría de Mie es más precisa y abarcadora ya que permite introducir los parámetros ópticos, la complejidad radica en la determinación de los mismos. El índice refractivo depende fundamentalmente de la composición de la partícula. El coeficiente de absorción es generalmente cero para materiales transparentes y se

vuelve más importante para materiales opacos. Este último especialmente relevante en la fracción fina de la dtp [Ferraris et al., 2004].

#### 4. Desarrollo experimental y resultados

Como primer paso se realizó la validación del equipo, Particle Size Analyzer CILAS 990 (Figura 3), mediante la calibración con un material de referencia. Conocida la dtp se verificó su coincidencia con los resultados obtenidos, certificando las mediciones del aparato y cumpliendo con las exigencias de la ISO 13320. Seguidamente, se planteó el desarrollo de un Procedimiento de Operación Estándar (POE), que permitiera fijar ciertos parámetros para disminuir los errores introducidos por la variabilidad de los operadores. Para ello se buscó aquellos parámetros más adecuados para las mediciones de acuerdo al tipo de material y su influencia relativa. En cada POE están fijados los tiempos de medición, la cantidad de mediciones, tiempo entre mediciones, tiempo de ultrasonido, tiempo de mezclado, velocidad de ultrasonido, nivel de obscuración y utilización del ultrasonido durante la medición de la muestra.



Figura 3. Analizador de Partículas CILAS 990

En las sucesivas mediciones se realizaron ensayos de calibración interna del equipo con esferas de vidrio cuya dtp se encuentra principalmente entre los tamices N° 120 (abertura de malla de 125  $\mu\text{m}$ ) y N°140 (abertura de malla de 105  $\mu\text{m}$ ), para evaluar la influencia de la transparencia de los materiales en los resultados.

A su vez se ensayó una muestra de emulsión asfáltica de corte rápido (EBCR), evaluando la dtp con los parámetros ópticos adoptados.

Ambos materiales ensayados fueron analizados con la solución de Mie y la aproximación de Fraunhofer. El resultado final, es decir la transformación de los valores registrados en dtp mediante el software del equipo, se puede visualizar mediante un gráfico de barras, en el cual se indica en porcentaje el volumen de la muestra que tiene determinado tamaño de partículas. Los gráficos N°1 y N°2 muestran los resultados de la dtp para los modelos de Mie y Fraunhofer obtenidos de la EBCR y las esferas de vidrio, respectivamente. La Tabla N°1 muestra los diferentes parámetros ópticos (índice de refracción y coeficiente de absorción) y parámetros de trabajo (velocidad de ultrasonido y obscuración) adoptados para cada material. La Tabla N° 2 muestra los valores de Dv 10, Dv 50 y Dv 90 para ambos materiales.

En ambos casos, la aproximación de Fraunhofer brindó un menor valor de residual, es decir un mejor ajuste del modelo con los valores registrados. Generalmente, la aproximación de Fraunhofer tiene mejores resultados en muestras que se presenten visualmente opacas, y errores cercanos al 30% si las muestras tienen un aspecto transparente. Esto se evidenció en el caso de las esferas de vidrio, ya que se obtuvo un mayor porcentaje de partículas finas (0,6 - 3  $\mu\text{m}$ ) en comparación con la solución de Mie. Esta sobrestimación de la fracción fina es atribuida generalmente al hecho de que no se consideran las propiedades de refracción de las partículas. La luz refractada por partículas grandes se confunde con luz difractada por partículas pequeñas [Cyr y Tagnit-Hamou, 2001]. También se ve una gran diferencia entre los modelos para el rango entre 125 y 100  $\mu\text{m}$ , donde debería encontrarse la mayor cantidad de partículas, y se evidencia el gran error de subestimación que introduce el modelo de Fraunhofer, en compensación por la sobreestimación de las partículas más pequeñas.

Para el caso de la EBCR, ya que se trata de una muestra con partículas opacas, los parámetros no resultan en extremo influyentes, aunque sí se puede observar cierta discrepancia.

Tabla N°1. Resumen de parámetros utilizados para ambos materiales

Parámetros	Esferas de vidrio	EBCR
Índices de refracción	1,464	1,585
Coefficiente de absorción	0,01	0,1
Velocidad ultrasonido	500 rpm	500 rpm
Obscuración	9%	12%

Tabla N°2. Valores de Dv10, Dv 50 y Dv 90 para ambos materiales

Diámetros característicos	Esferas de vidrio		EBCR	
	promedio		promedio	
	Mie	Fraunhofer	Mie	Fraunhofer
Dv 10 ( $\mu\text{m}$ )	62,9	9,6	0,2	0,2
Dv 50 ( $\mu\text{m}$ )	108,6	14,1	5,7	5,1
Dv 90 ( $\mu\text{m}$ )	187,9	10,4	34,6	40,2

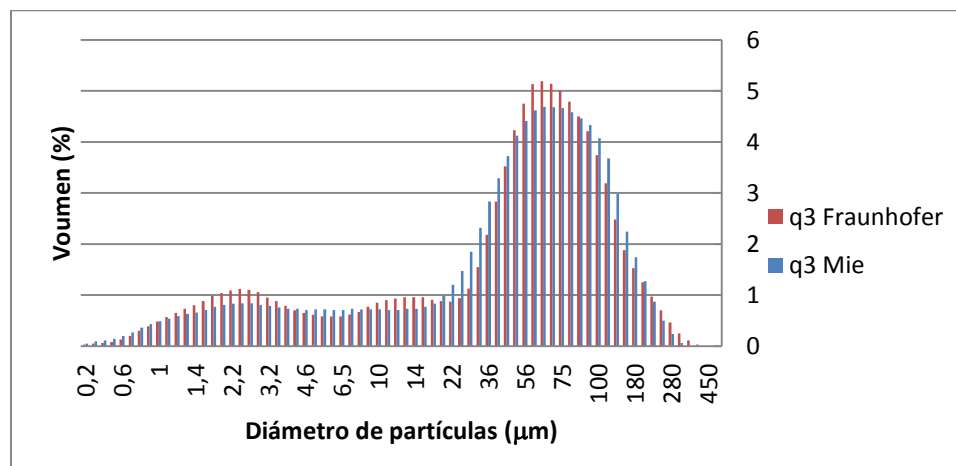


Gráfico N°1 Resultados de la EBCR con ambos modelos

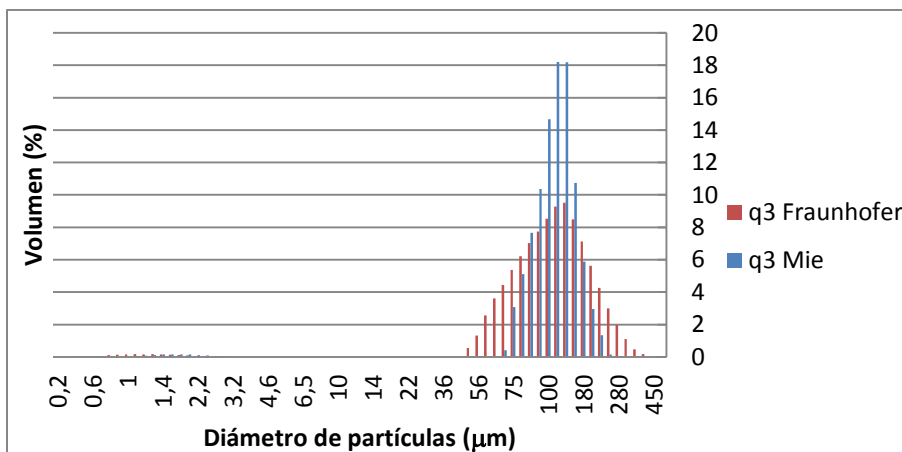


Gráfico N°2 Resultados de las esferas de vidrio con ambos modelos

## 5. Conclusiones

La determinación de la dtp mediante difracción láser es un ensayo que requiere el conocimiento de los parámetros ópticos de los materiales a ensayar. A su vez, también es importante la influencia del modelo óptico adoptado, lo que se comprobó utilizando la solución de Mie en comparación a la aproximación de Fraunhofer.

La aproximación de Fraunhofer, tiene mejores resultados en muestras que se presenten visualmente opacas, y se obtienen errores cercanos al 30% si las muestras tienen un aspecto transparente. Evidenciado esto último con los valores de residual obtenidos en cada caso. Esta variación se observa en el caso de las esferas de vidrio mediante la sobrestimación de la fracción más fina.

En el caso de la muestra de emulsión asfáltica, no existe en términos generales, grandes variaciones entre ambos modelos. Podría aceptarse la utilización de ambos, pero teniendo en cuenta que en la de Mie es influyente la correcta elección de las propiedades ópticas del material podría ser más efectivo en este caso emplear Fraunhofer, al menos para el caso de EBCR.

## 6. Bibliografía

- Amaveda. Tesis doctoral: Generación de gotas microscópicas y caracterización de aerosoles. 2003. Universidad de Zaragoza.
- Cyr y Tagnit-Hamou. Particle size distribution of fine powders by LASER diffraction spectrometry. Case of cementitious materials. 2001. Mat. & Struct, Vol. 34, pp 342-350
- ISO 13320-1999(E) Particle size analysis - Laser diffraction methods.
- Ferraris, Hackley, Aviles. Measurement of particle size distribution in portland cement powder: Analysis of ASTM Round Robin Studies. CCA, Vol. 26, No. 2, 2004.
- Frontini G. Identificación de propiedades con mediciones de dispersión de luz. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Mie G. Consideraciones sobre la óptica de los medios turbios, especialmente soluciones. 1908. Annalen der physik. N° 4. vol. 25, pp. 377-445.
- Fernández Arteaga A. 2006. Preparación, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones O/W. Universidad de Granada
- Stojanovic Z. y Markovic S.. Determination of particle size distributions by laser diffraction. 2012, Technics and new materials, Vol 21. pp 1-20.
- Webb P. A primer on particle sizing by static laser light scattering, 2000.

# “Modelo de correlación para la corrección por alabeo térmico de lecturas de IRI por diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura de la losa en pavimentos de hormigón”

**Becaria:** Prunell Sabrina <sup>(1)</sup>  
**Director:** Ing. Julián Rivera <sup>(2)</sup>

Proyecto de I+D+i de pertenencia:

“Análisis modulares de laboratorio y obra para diseño mecanicista de pavimentos flexibles”  
(25/I-053)

---

## 1. Resumen

Los pavimentos rígidos son proclives a sufrir el fenómeno de alabeo térmico en los distintos periodos del día y en las diversas estacionalidades del año. Si se quiere efectuar sobre ellos el seguimiento de su deterioro y la medición en tal sentido del IRI se realiza en diversas épocas del año y momentos del día, lograr una medida comparativa se torna imposible dado la existencia de una componente de la medición debida al alabeo que no implica un deterioro en sí mismo. En busca de atender a tal efecto, se decide encarar un estudio basado en mediciones a lo largo de un año y ante diversos rangos de temperatura en una vía tipo, cuyos resultados luego por regresión permitan la obtención de un modelo de ajuste que subsane la situación planteada. Se arriba mediante esta metodología a un modelo preliminar, que no cumple acabadamente con las bondades de ajuste impuestas, pero que permite una aproximación al tratamiento del tema.

## 2. Introducción

Cuando comienza la vida útil de un pavimento rígido, las losas que lo componen quedan expuestas a los cambios climáticos propios de la zona por variaciones de temperatura y humedad en determinadas horas del día. Estos cambios producen modificaciones en la forma de las losas, las cuales en gran magnitud generan fisuras prematuras. Dicho fenómeno se define con el nombre de alabeo higrotérmico, porque combina tanto la incidencia de fenómenos relacionados con la temperatura como con la humedad.

El alabeo térmico es el resultado de la variación de temperatura a través de la masa de hormigón. Cuando la temperatura en la superficie es mayor que en el fondo, la parte superior de la losa se expande más que en el fondo y esto provoca una curvatura de forma convexa, de manera inversa, cuando la temperatura en la superficie es menor que en el fondo (situación normal por la noche), la losa tiende a curvarse en forma cóncava.

El alabeo por humedad es un factor que se opone al alabeo por temperatura. Durante el día, se genera un diferencial de humedad desde la parte superior hasta el fondo de la losa. La parte superior se encuentra más seca que el fondo de la losa y la disminución en el contenido de humedad provoca una contracción, mientras que un incremento provoca expansión.

A los efectos del presente trabajo, se ha decidido encarar el estudio relacionado con el alabeo térmico, pues se conoce que tiene mayor incidencia en la deformación total registrada, considerando en principio que los efectos del alabeo por la humedad, al menos en el caso en estudio, resultarían despreciables.

## 3. Fundamentos

El presente trabajo tiene por objetivo analizar las variaciones del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) de un pavimento rígido, ante distintas temperaturas combinadas de aire y pavimento, manteniendo el mismo estado de deterioro, y desarrollar, a partir de esto, los modelos de corrección correspondiente para una situación en donde no se produzca el alabeo y la lectura puntualmente tomada se deba sólo al deterioro propiamente dicho.

Para un mismo estado de deterioro de un pavimento de hormigón se tendrían distintas temperaturas combinadas del aire y del pavimento a lo largo del día y de las consecuentes estacionalidades, y a su vez distintos registros de IRI. Dada esta situación, que complica la realización de estudios comparativos, sería útil contar con un sistema de corrección de las mediciones en función de estas relaciones de temperaturas, para llevar a todas las mediciones a una situación de referencia, en donde no hubiera alabeo. De esta forma, todas las mediciones corregidas serían comparables entre

(1) Becario de Investigación del Centro de Investigaciones Viales, LEMaC, Dpto. Ing. Civil

(2) Tutor de la tesis

sí, pudiéndose observar el real incremento de los daños al efectuar mediciones corregidas a lo largo del tiempo sobre un mismo tramo.

Para poder determinar esta sistemática de corrección, lo que se idea como metodología, es efectuar mediciones sobre una vía afectada con muy bajo nivel de tránsito y con una edad en donde no es esperable ni incrementos iniciales de IRI por ser una obra nueva ni incrementos del deterioro importantes por ser una obra con estado avanzado del mismo.

#### 4. Desarrollo experimental

Para la obtención de los datos de análisis se realizaron mediciones de IRI con el equipo MERLIN sobre el centro, borde izquierdo y borde derecho de 17 losas de hormigón en una vía urbana de ancho 3,5 m y largo 7m durante un período de 8 meses correspondientes al año 2014.

A su vez, previo a medir con el equipo, se midió con termómetro de mercurio la temperatura ambiente a la sombra (siempre en la misma ubicación) y la temperatura superficial de la losa (con el mismo termómetro y en un hueco relleno con agua, efectuado a tal efecto en el pavimento). Ambas mediciones se realizaron por lo tanto individualmente siempre en el mismo sitio.



Los resultados puntuales obtenidos de las experiencias, y toda una serie de datos adicionales, fueron volcados en una tabla completa de variables considerables

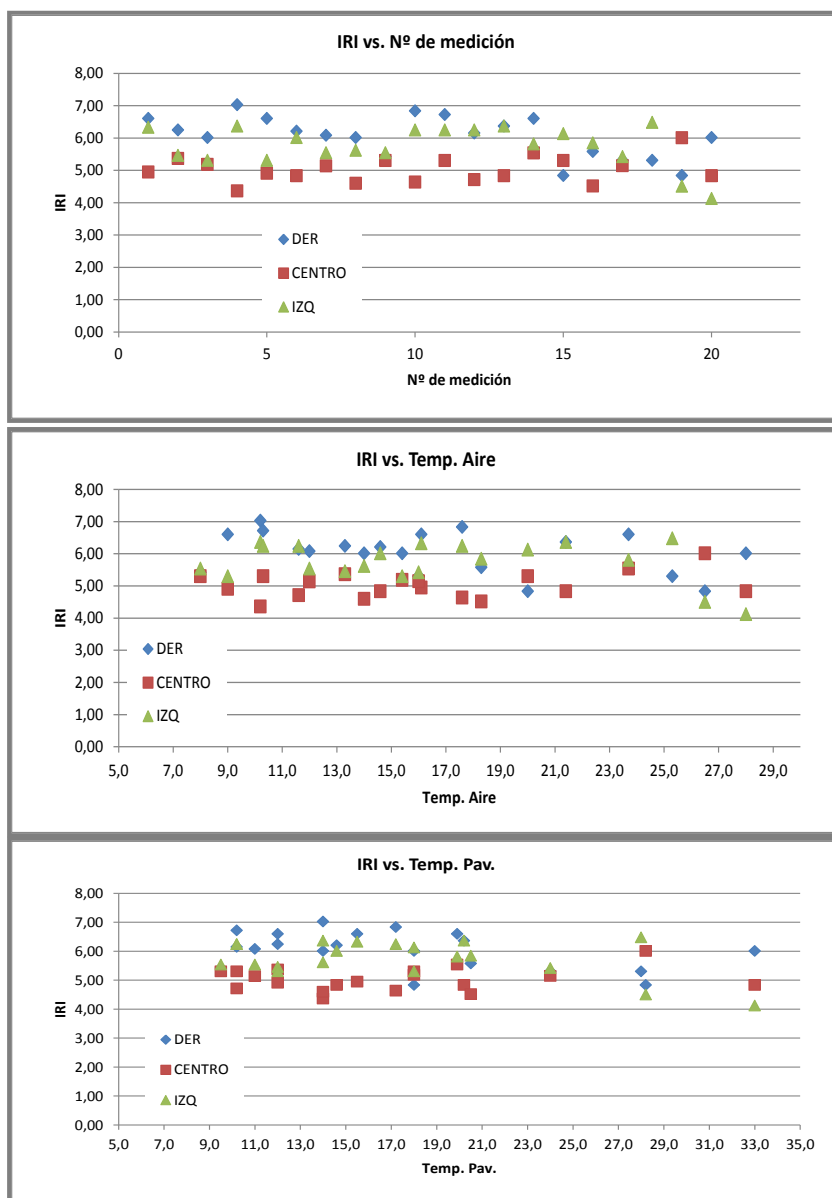
#### 5. Análisis de Resultados

Se transcribe a continuación la tabla completa obtenida, la cual una vez analizados los datos se redujo tomando sólo los de IRI,  $T_{\text{aire}}$  y  $T_{\text{Pav}}$ , con los cuales se realizaron gráficos IRI vs N° de medición, IRI vs  $T_{\text{aire}}$ , IRI vs  $T_{\text{Pav}}$

Nº MEDICION	FECHA	HORA INICIO	DATOS PROPIOS				DATOS SMN			BORDE	"D"	IRI
			CLIMA	TEMP. AIRE	TEMP. PAV.	HUM. RELAT.	CLIMA	TEMP. AIRE	HUM. RELAT.			
1	29/05/2014	9:30	NUBLADO	16,1	15,5	56%	NUBLADO	14,9	87%	DER	127,5	6,60
										CENTRO	92,5	4,95
										IZQ	121,7	6,32
2	06/06/2014 m	9:30	DESPEJADO	13,3	12,0	45%	PARCIALMENTE NUBLADO	9,3	89%	DER	120,0	6,25
										CENTRO	101,3	5,36
										IZQ	103,3	5,46
3	06/06/2014 t	13:15	DESPEJADO	15,4	18,0	sd	ALGO NUBLADO	14,9	43%	DER	115,0	6,01
										CENTRO	97,5	5,19
										IZQ	100,0	5,30
4	19/06/2014	10:30	DESPEJADO	10,2	14,0	45%	DESPEJADO	9,5	61%	DER	136,6	7,03
										CENTRO	80,0	4,36
										IZQ	122,5	6,36
5	25/06/2014	9:40	NIEBLA DENSA	9,0	12,0	sd	NIEBLA DENSA	7,0	98%	DER	127,5	6,60
										CENTRO	91,7	4,91
										IZQ	100,0	5,30
6	03/07/2014	11:00	DESPEJADO	14,6	14,6	sd	ALGO NUBLADO	12,4	75%	DER	119,2	6,21
										CENTRO	90,0	4,83
										IZQ	115,0	6,01
7	04/07/2014	10:10	DESPEJADO	12,0	11,0	sd	ALGO NUBLADO	12,3	87%	DER	116,5	6,08
										CENTRO	96,5	5,14
										IZQ	105,0	5,54
8	11/07/2014	11:00	DESPEJADO	14,0	14,0	sd	ALGO NUBLADO	9,4	96%	DER	115,0	6,01
										CENTRO	85,0	4,60
										IZQ	106,7	5,62
9	18/07/2014	8:30	DESPEJADO	8,0	9,5	SD	ALGO NUBLADO	5,1	100%	DER	102,5	5,42
										CENTRO	100,0	5,30
										IZQ	105,0	5,54
10	01/08/2014	10:45	NUBLADO	17,6	17,2	SD	NUBLADO CON NEBLUNA	16,6	91%	DER	132,5	6,83
										CENTRO	85,8	4,63
										IZQ	120,0	6,25
11	11/08/2014	9:20	NUBLADO	10,3	10,2	SD	PARCIALMENTE NUBLADO	11,3	100%	DER	130,0	6,72
										CENTRO	100,0	5,30
										IZQ	120,0	6,25
12	12/08/2014	9:26	DESPEJADO	11,6	10,2	SD	DESPEJADO	5,9	60%	DER	118,0	6,15
										CENTRO	87,5	4,71
										IZQ	120,0	6,25
13	21/08/2014	9:30	DESPEJADO	21,4	20,2	sd	despejado	15,8	96%	DER	122,5	6,36
										CENTRO	90,0	4,83
										IZQ	122,5	6,36
14	08/09/2014	10:00	DESPEJADO	23,7	19,9	SD	PARCIALMENTE NUBLADO	16,8	76%	DER	127,5	6,60
										CENTRO	105,0	5,54
										IZQ	110,8	5,81
15	11/09/2014	10:30	DESPEJADO	20,0	18,0	sd	PARCIALMENTE NUBLADO	17,6	76%	DER	90,0	4,83
										CENTRO	100,0	5,30
										IZQ	117,5	6,13
16	25/09/2014	11:30	PARCIALMENTE E NUBLADO	18,3	20,5	SD	PARCIALMENTE NUBLADO	18,2	59%	DER	105,8	5,58
										CENTRO	83,3	4,52
										IZQ	111,5	5,84
17	02/10/2014	13:00	PARCIALMENTE E NUBLADO	16,0	24,0	sd	PARCIALMENTE NUBLADO	14,7	58%	DER	100,0	5,30
										CENTRO	96,6	5,14
										IZQ	102,5	5,42
18	30/10/2014	15:30	DESPEJADO	25,3	28,0	sd	ALGO NUBLADO	23,2	52%	DER	100,0	5,30
										CENTRO	125,0	6,48
										IZQ	125,0	6,48
19	03/12/2014	15:00	DESPEJADO	26,5	28,2	SD	DESPEJADO	26,9	37%	DER	90,0	4,83
										CENTRO	115,0	6,01
										IZQ	83,0	4,50
20	09/12/2014	15:00	despejado	28,0	33,0	sd	DESPEJADO	28,5	38%	DER	115,0	6,01
										CENTRO	90,0	4,83
										IZQ	75,0	4,13

GRAFICO					
Nº	DER	CENTRO	IZQ	TEMP AIRE (°c)	TEMP PAV (°c)
1	6,60	4,95	6,32	16,1	15,5
2	6,25	5,36	5,46	13,3	12,0
3	6,01	5,19	5,30	15,4	18,0
4	7,03	4,36	6,36	10,2	14,0
5	6,60	4,91	5,30	9,0	12,0
6	6,21	4,83	6,01	14,6	14,6
7	6,08	5,14	5,54	12,0	11,0
8	6,01	4,60	5,62	14,0	14,0
9	5,42	5,30	5,54	8,0	9,5
10	6,83	4,63	6,25	17,6	17,2
11	6,72	5,30	6,25	10,3	10,2
12	6,15	4,71	6,25	11,6	10,2
13	6,36	4,83	6,36	21,4	20,2
14	6,60	5,54	5,81	23,7	19,9
15	4,83	5,30	6,13	20,0	18,0
16	5,58	4,52	5,84	18,3	20,5
17	5,30	5,14	5,42	16,0	24,0
18	5,30		6,48	25,3	28,0
19	4,83	6,01	4,50	26,5	28,2
20	6,01	4,83	4,13	28,0	33,0

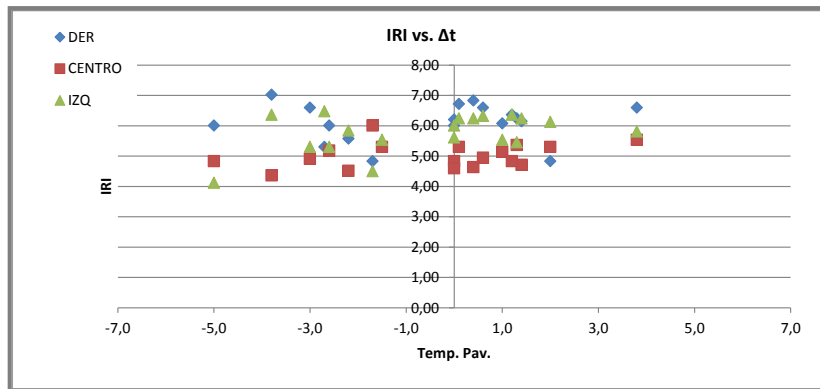




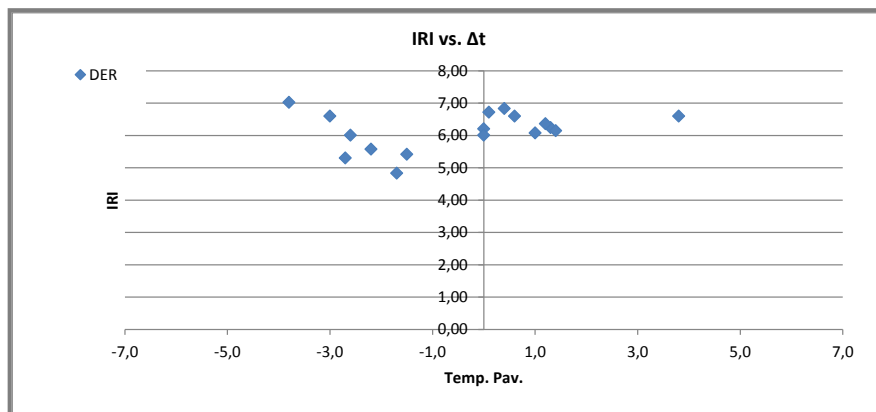
Al analizar estas gráficas se observa que no puede registrarse en forma marcada una tendencia que permita predecir un modelo del comportamiento registrado. Analizando la situación se llega a la conclusión de que deben considerarse en rigor no las temperaturas por separado entre sí, sino en conjunto por medio de su diferencia relativa, que sería en vigor lo que da origen al alabeo. Por tal razón la tabla se completa con el análisis del  $\Delta t$  en tal sentido, siendo igual a la temperatura del aire menos la temperatura del pavimento.

A partir de esta gráfica si puede comenzar a registrarse una tendencia y a descubrir puntos anómalos obtenidos. Es por esto que de los datos observados, se decide descartar las mediciones Nº 20 y Nº 15 ya que sus valores de IRI para los lados izquierdo y derecho varían considerablemente, por lo que no se condice con lo observado en el resto de las mediciones en donde los resultados obtenidos fueron muy ajustados entre sí. Por otra parte, se descarta la medición Nº 17 por encontrarse en un rango muy por fuera de lo medido, lo que lleva a pensar que pudieron existir errores de medición en las respectivas temperaturas. También se observa que la tendencia toma mejor forma al considerar el lado derecho (análogo al izquierdo) y no en el centro en donde la variabilidad, como podría pensarse, es mucho menor.

GRAFICO						$\Delta T$
Nº	DER	CENTRO	IZQ	TEMP AIRE (°c)	TEMP PAV (°c)	Ta-Tp
1	6,60	4,95	6,32	16,1	15,5	0,6
2	6,25	5,36	5,46	13,3	12,0	1,3
3	6,01	5,19	5,30	15,4	18,0	-2,6
4	7,03	4,36	6,36	10,2	14,0	-3,8
5	6,60	4,91	5,30	9,0	12,0	-3,0
6	6,21	4,83	6,01	14,6	14,6	0,0
7	6,08	5,14	5,54	12,0	11,0	1,0
8	6,01	4,60	5,62	14,0	14,0	0,0
9	5,42	5,30	5,54	8,0	9,5	-1,5
10	6,83	4,63	6,25	17,6	17,2	0,4
11	6,72	5,30	6,25	10,3	10,2	0,1
12	6,15	4,71	6,25	11,6	10,2	1,4
13	6,36	4,83	6,36	21,4	20,2	1,2
14	6,60	5,54	5,81	23,7	19,9	3,8
15	4,83	5,30	6,13	20,0	18,0	2,0
16	5,58	4,52	5,84	18,3	20,5	-2,2
17	5,30	5,14	5,42	16,0	24,0	-8,0
18	5,30		6,48	25,3	28,0	-2,7
19	4,83	6,01	4,50	26,5	28,2	-1,7
20	6,01	4,83	4,13	28,0	33,0	-5,0

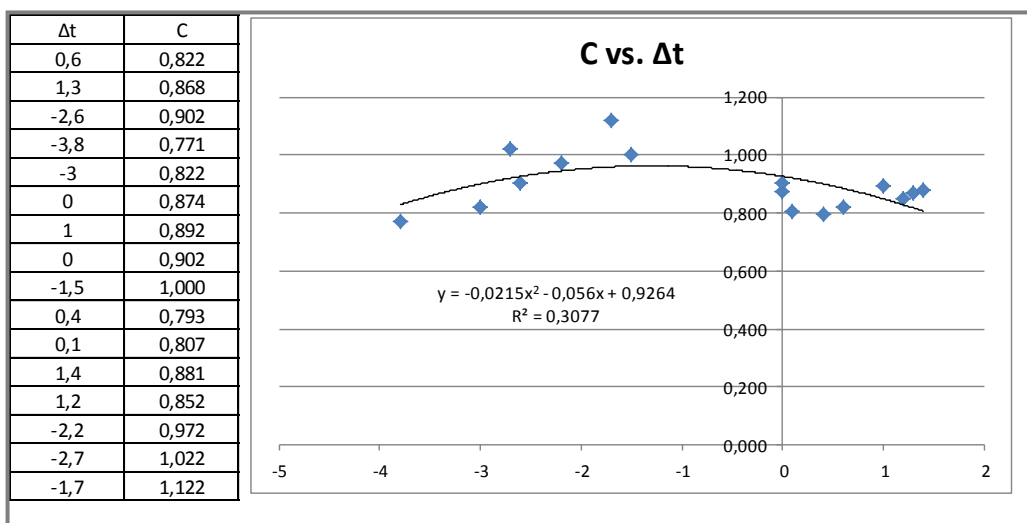


Dado lo dicho se llega a la siguiente gráfica a ser analizada.



Tomando como válidos estos datos se observa como la mínima del IRI se obtiene en el entorno del  $\Delta t$  de -1,5. Esto indica que es en ese punto cuando debe considerarse no existe el alabeo, de acuerdo claro a la sistemática de tomado de temperaturas empleada, por lo cual se toma como base. A partir de aquí es que se calculan los coeficientes que permitirían arribar a la lectura corregida partiendo de la base. La corrección toma la forma:

$$\text{IRI}_{\text{corregido}} = \text{IRI}_{\text{medido}} \times C$$



Como puede observarse la bondad de ajuste indicada por el coeficiente de determinación  $R^2$  no es estadísticamente válida, pero dada la ausencia de mayores fuentes a las que recurrir se decide dar por finalizado el análisis.

## 6. Conclusiones

En función de los trabajos realizados, no es posible arribar a un modelo estadísticamente confiable en cuanto a la corrección de las mediciones de IRI por fenómeno de alabeo a partir de la diferencia de temperatura registrada en el aire y en la fibra superior del pavimento de hormigón. Si de todos modos se desea instrumentar alguna decisión en tal sentido, la mejor formulación obtenida indicaría el empleo del modelo:

$$\text{IRI}_{\text{corregido}} = \text{IRI}_{\text{medido}} \times (-0,0215 \Delta t^2 - 0,0560 \Delta t + 0,9264)$$

## 7. Bibliografía

- Manual del usuario Merlín. Camineros S.A.C.
- Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos con equipos de bajo costo y gran precisión Por Ing. Pablo del Aguila Rodríguez
- Rugosidad de Pavimentos. Hugo Poncino, Marta Pagola, Oscar Giovanon, Mario Noste y Jorge Tosticarelli.

Páginas web de interés:

<http://revistavial.com/index.php/publicaciones/2014/vial-96/item/2037-rugosidad-en-pavimentos-de-hormigon-influencia-de-la-temperatura>

<http://www.revistavial.com/Revistas/96/files/assets/basic-html/page21.html><http://pavimentacion.serviurm.cl/doc/seminario/IntCementoHormigon.pdf>