

# Ligantes asfálticos

## Estudio de la afinidad de un agregado basáltico triturado utilizando asfaltos convencionales y aditivos promotores de adherencia

Dr. Jorge Alarcón Ibarra  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México  
[jorge.alarcon@upc.edu](mailto:jorge.alarcon@upc.edu)  
M. en I. Julio Alejandro Chávez Cárdenas  
[juliochavez51@yahoo.com](mailto:juliochavez51@yahoo.com)  
Dr. Carlos Chávez Negrete, P.I.C. Limbert Ramón Cortés Bautista

### Resumen

Las metodologías tradicionales, para el análisis de la calidad de los agregados pétreos para pavimentos, incluyen pruebas como el Desgaste de Los Ángeles, Densidad, Absorción, etc. ensayos que nos indican las propiedades físicas del agregado pétreo, sin embargo difícilmente se analiza el comportamiento que tiene en combinación con el asfalto. El presente trabajo pretende demostrar la importancia de analizar la afinidad entre el pétreo y el asfalto de una forma mecánica, para garantizar que las mezclas asfálticas se comporten adecuadamente y la conveniencia del empleo de aditivos promotores de adherencia en ciertos casos.

Por todo lo anterior, se decidió realizar en el laboratorio de Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo un estudio completo sobre la afinidad que existe entre un agregado pétreo de la región de Morelia, México y un asfalto tipo AC-20 utilizando dos tipos de aditivos en diferentes proporciones. Para éste análisis se decidió utilizar el Método UCL<sup>®</sup> (Método Universal de Caracterización de Ligantes), ya que muestra de una forma sencilla y clara, el comportamiento de diferentes tipos de asfalto en combinación con diferentes agregados, además de permitirnos observar su comportamiento en un amplio rango de temperaturas de trabajo que pueden variar desde los -10° C, hasta los 60° C de temperatura, rangos que cubren las posibilidades que se presentan en condiciones reales en la región.

Se decidió analizar un material Triturado del Municipio de Tarímbaro Michoacán, que cumple con todas las normas para ser empleado en mezclas asfálticas pero que ha presentado problemas de afinidad en diferentes obras, este material se mezcló con un asfalto convencional tipo AC-20 de Salamanca y se utilizaron también diferentes aditivos promotores de adherencia proporcionados por una empresa de Guadalajara Jalisco para ver la variación de las pérdidas en el Método UCL<sup>®</sup>.

Los resultados obtenidos dejan claro que este ensayo nos muestra una información muy valiosa que complementa a los ensayos convencionales para la caracterización de los asfaltos que se utilizarán para la construcción de pavimentos y que nos sirve en la toma de decisiones para elegir los aditivos más adecuados para cada situación.

**Palabras clave:** agregado, asfalto, aditivo, adherencia, método UCL, ligantes asfálticos.

### Abstract

Traditional methodologies for quality analysis of the stone aggregates for pavements use include tests such as Los Angeles Abrasion, Density,

Absorption, etc., these tests show physical properties of the stone aggregate. However, it's very difficult to analyze their performance when aggregates are mixed with asphalt. This research is intended to show the importance of analyze the affinity between aggregate and asphalt in a mechanical way, to guarantee that the asphalt mixtures perform adequately and the convenience to use additives that enhance adhesiveness in certain cases.

In addition, a decision was taken to do in the Laboratory of Materials of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a complete research of the affinity that exists between a stone aggregate of the region of Morelia, Mexico and an asphalt type AC-20 using two types of additives in different proportions. For this analysis, the department decided to use the UCL Method (Universal Method of Characterization of Binders), because it shows in a clear and simple way the performance of different types of asphalt in combination with different aggregates. Besides, this analysis allows observing their behavior in an extensive work temperatures range that can vary from the -10° C to 60° C. These temperature ranges cover the possibilities that are presented in real conditions on the region.

It was decided to analyze a crushed material of the Municipality of Tarímbaro Michoacán that complies with all the standards to be use in asphalts mixtures, but it has faced some affinity problems in different projects. This material was mixed with a conventional asphalt type AC-20 of Salamanca and also used different additives that enhance adhesiveness, well provided by a Guadalajara Jalisco Company, to see any variation of the losses in UCL Method.

The results obtained clarify that this test shows very valuable information that complements the conventional tests of asphalts characterization that will be used for pavements construction and that it's useful to take decisions regarding to choose the most adequate additives for each situation.

**Keywords:** aggregate, asphalt, additive, adhesion, UCL method, asphalt binders.

### 1. Introducción

En la actualidad cada día es más común que en la construcción de pavimentos asfálticos para carreteras, se utilicen aditivos promotores de adherencia para mejorar las condiciones físicas de las mezclas asfálticas.

Figura 1

Probetas ensayadas mediante el método UCL®



Por todo lo anterior, se decidió realizar en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, un completo estudio sobre la influencia que tienen algunos aditivos que se ofrecen en el mercado mexicano, en el comportamiento de las mezclas asfálticas bajo ciertas condiciones de temperatura.

El Método UCL® (Método Universal de Caracterización de Ligantes) ampliamente conocido en su aplicación para la caracterización de ligantes asfálticos, será utilizado en este caso para analizar como la incorporación de aditivos promotores de adherencia permite mejorar la resistencia al desgaste y por consiguiente mejorar el comportamiento de las mezclas.

## 2. Método UCL®

Debido a los buenos resultados que ha generado y a la sencillez para llevarlo a cabo, se ha decidido utilizar el método UCL® para valorar la adhesividad del pétreo con un asfalto convencional tipo AC-20 y su variación al adicionar diferentes aditivos y cambiar la temperatura de ensayo.

En el método UCL® se valora la adhesividad y la cohesión a partir de la resistencia a la abrasión de una mezcla de referencia con características definidas, variando la temperatura de ensayo de las probetas.

El ensayo consiste en introducir en la máquina de Los Ángeles, una probeta tipo Marshall fabricada con una granulometría especial (sin finos) y un contenido de asfalto definido (4,5%) y someterla al ensayo sin colocar en el molino ninguna carga abrasiva (esferas).

Durante el ensayo se van desprendiendo por impacto y abrasión los áridos más superficiales de la probeta, determinándose, tras cumplirse 300 revoluciones, la pérdida de peso de la probeta referida, en tanto por ciento del peso inicial, de acuerdo con la ecuación 1.

$$P_d = [(P_i - P_f) / P_i] \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:  $P_d$  = Pérdidas por Desgaste (%)

$P_i$  = Peso inicial (gr.)

$P_f$  = Peso final (gr.).

Las vueltas en la máquina de Los Ángeles dan lugar a un proceso de deterioro en las probetas, similar al que hacen las cargas del tráfico en los pavimentos, en la figura 1 se observa la máquina para el ensayo de la prueba de Los Ángeles y diferentes probetas ensayadas con el método UCL®.

Tabla 1

Series fabricadas para el estudio mediante el método UCL®

Probetas	Granulometría del material pétreo				Asfalto	Tipo de aditivo	% de Aditivo
	Pasa	Ret.	Pasa	Ret.			
	Malla #4	Malla # 8	Malla #8	Malla # 30			
1 a 15	80 (%)		20 (%)		AC-20	A-1	0,5 (%)
16 a 30	80 (%)		20 (%)		AC-20	A-2	0,5 (%)
31 a 45	80 (%)		20 (%)		AC-20	A-2	1,0 (%)
46 a 60	80 (%)		20 (%)		AC-20	A-1	1,0 (%)
61 a 75	80 (%)		20 (%)		AC-20	Sin aditivo	0,0 (%)

Hasta el momento se han realizado algunos estudios para analizar el comportamiento del material pétreo en combinación con el asfalto y se ha observado la influencia que puede tener la incorporación de diferentes porcentajes de aditivo en la durabilidad de las mezclas. El tipo y dosificación del aditivo es fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas ya que éste es el encargado de proporcionar una de las propiedades fundamentales para su adecuado funcionamiento: la adhesividad con el pétreo.

Una parte de la energía que se genera en cada impacto es absorbida por la deformación elástica del material, otra parte se elimina con las deformaciones plásticas y el resto que no pueden eliminar las probetas es la que causa la fisuración, rotura o disgregación.

Este ensayo nos da una idea clara sobre la capacidad de los aditivos para mejorar la adhesividad y la cohesión en las mezclas dado que, si las uniones son dúctiles y tenaces, las pérdidas por desgaste y abrasión en las probetas son bajas, y cuando resultan frágiles o poco consistentes, las pérdidas se incrementan.

En este trabajo se analizaron dos factores que influyen directamente en el comportamiento de las mezclas asfálticas, la temperatura y el tipo de aditivo que se adicionará, para esto se ensayaron mediante el método UCL® un total de 75 probetas.

### 3. Materiales empleados

**Material pétreo:** El pétreo empleado en este estudio ha sido suministrado por una planta industrial ubicada en el municipio de Tarimbaro Mich., después de haber pasado por un proceso de trituración y homogeneización.

Para este caso, será necesario utilizar una misma granulometría para la realización de todas las probetas, con un 80% de material pétreo comprendido entre la malla No.4 y la malla No.8, y un 20% de material pétreo comprendido entre la malla No.8 y la malla No.30.

**Aditivos promotores de adherencia:** Los aditivos utilizados en el presente trabajo fueron suministrados por una empresa de Guadalajara, Jalisco a los cuales denominaremos A-1 y A-2, estos aditivos han sido utilizados en diversos proyectos carreteros en el país y han presentado resultados satisfactorios, sin embargo, intentaremos definir las ventajas de su aplicación para el caso específico del pétreo de la región de Morelia.

El aditivo A-1 tiene un índice de amina mayor a 320 y un porcentaje de nitrógeno entre 5,8 y 6,1.

El aditivo A-2 tiene el punto de inflamación entre 172°C y 185°C; una densidad de 1 a 1,03; una viscosidad a 20°C de 11,110 cp y una viscosidad a 50°C de 330 cp.

**Asfalto de aportación:** En este trabajo se utilizó un asfalto convencional tipo AC-20 procedente de la refinería de PEMEX ubicada en la ciudad de Salamanca, Gto.

Resultados de las probetas fabricadas utilizando aditivo A-1 al 0,5%

Tabla 2

Descripción	No. de probeta	Temp. de ensayo (°C)	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	% de pérdidas	Promedio (%)
AC-20 con aditivo A-1 al 0,5%	1	-10	0,827	0,347	58,041	58,682
	2		0,800	0,308	61,500	
	3		0,830	0,361	56,506	
	4	5	0,829	0,390	52,955	52,357
	5		0,831	0,402	51,625	
	6		0,823	0,391	52,491	
	7	20	0,830	0,632	23,855	19,056
	8		0,829	0,725	12,545	
	9		0,833	0,660	20,768	
	10	40	0,815	0,782	4,049	4,493
	11		0,826	0,794	3,874	
	12		0,828	0,782	5,556	
	13	60	0,830	0,557	32,892	43,851
	14		0,828	0,458	44,686	
	15		0,830	0,382	53,976	

Resultados de las probetas fabricadas utilizando aditivo A-2 al 0,5%

Tabla 3

Descripción	No. de probeta	Temp. de ensayo (°C)	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	% de pérdidas	Promedio (%)
AC-20 con aditivo A-2 al 0,5%	16	-10	0,818	0,194	76,284	65,562
	17		0,832	0,316	62,019	
	18		0,829	0,345	58,384	
	19	5	0,813	0,402	50,554	45,685
	20		0,832	0,465	44,111	
	21		0,828	0,477	42,391	
	22	20	0,828	0,666	19,565	16,576
	23		0,827	0,701	15,236	
	24		0,824	0,701	14,927	
	25	40	0,823	0,784	4,739	5,513
	26		0,825	0,776	5,939	
	27		0,836	0,787	5,861	
	28	60	0,827	0,460	44,377	47,312
	29		0,823	0,502	39,004	
	30		0,830	0,344	58,554	

### 4. Dosificación de las mezclas estudiadas

Para la realización del estudio de las probetas mediante el método UCL® fue necesario dosificar las mezclas con los diferentes contenidos de aditivo que se pretenden estudiar,

**Tabla 4** Resultados de las probetas fabricadas utilizando aditivo A-2 al 1,0%

Descripción	No. de probeta	Temp. de ensayo (°C)	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	% de pérdidas	Promedio (%)
AC-20 con aditivo A-2 al 1,0%	31	-10	0,827	0,147	82,225	83,218
	32		0,829	0,177	78,649	
	33		0,820	0,092	88,780	
	34	5	0,825	0,285	65,455	64,341
	35		0,827	0,249	69,891	
	36		0,827	0,350	57,678	
	37	20	0,826	0,720	12,833	12,275
	38		0,823	0,716	13,001	
	39		0,828	0,737	10,990	
	40	40	0,824	0,736	10,680	6,720
	41		0,819	0,782	4,518	
	42		0,826	0,785	4,964	
	43	60	0,823	0,220	73,269	66,586
	44		0,827	0,207	74,970	
	45		0,823	0,399	51,519	

## 5. Resultados del método UCL® a diferentes temperaturas

Una vez fabricadas las probetas con los diferentes tipos de aditivos y con las diferentes dosificaciones, se procedió a obtener las pérdidas por desgaste mediante el procedimiento descrito anteriormente a diferentes temperaturas (-10, 5, 20, 40, y 60 ° C).

A continuación se presentan las tablas 2, 3, 4, 5 y 6 y la gráfica 1 en donde se muestran los resultados del estudio.

Con los resultados de las tablas anteriores concluimos los ensayos de cada una de las mezclas, presentando los porcentajes de desgaste y graficándolos para tener una visión mas clara del comportamiento del agregado pétreo en combinación con el asfalto y los aditivos correspondientes.

Para elegir la mezcla asfáltica con mejores resultados y que es la que conviene a nuestros intereses, presentamos a continuación la gráfica 1 en donde podemos comparar todos los resultados anteriores y apreciar mejor el tipo de combinación que mejor se comportó ante el desgaste.

**Tabla 5** Resultados de las probetas fabricadas utilizando aditivo A-1 al 1,0%

Descripción	No. de probeta	Temp. de ensayo (°C)	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	% de pérdidas	Promedio (%)
AC-20 con aditivo A-1 al 1,0%	46	-10	0,824	0,347	57,888	60,054
	47		0,824	0,283	65,655	
	48		0,816	0,354	56,618	
	49	5	0,813	0,425	47,724	47,266
	50		0,816	0,413	49,387	
	51		0,828	0,458	44,686	
	52	20	0,829	0,723	12,786	13,279
	53		0,823	0,703	14,581	
	54		0,826	0,723	12,470	
	55	40	0,822	0,777	5,474	4,937
	56		0,821	0,779	5,116	
	57		0,829	0,794	4,222	
	58	60	0,824	0,455	44,782	46,165
	59		0,827	0,456	44,861	
	60		0,827	0,423	48,851	

## 6. Conclusiones

Hacer el análisis de las características de la mezcla asfáltica mediante ensayos convencionales es complicado y no nos garantiza el buen comportamiento entre el agregado pétreo y el asfalto. Es aquí, donde podemos destacar la gran importancia de estudiar el comportamiento entre éstos elementos mediante el método UCL®, ya que nos muestra de forma clara y sencilla, la variación de la cohesión de las mezclas al utilizar diferentes aditivos de aportación, así como su susceptibilidad al variar la temperatura.

En nuestro caso, después de ensayar las muestras con diferentes porcentajes de aditivo hemos podido comprobar que al aumentar la temperatura se pierde consistencia y se disminuye la cohesión entre las partículas, por otra parte, cuando se disminuye la temperatura, se fragiliza la mezcla y también se incrementan las pérdidas por desgaste.

es muy importante aclarar que solamente se usó asfalto convencional AC-20 y que todas fueron probadas bajo las mismas condiciones de temperatura (-10, 5, 20, 40 y 60° C).

En la Tabla 1 se muestran las diferentes series de probetas fabricadas en las que se menciona la granulometría, tipo de aditivo y porcentaje utilizado.

En este trabajo se ha podido analizar con la ayuda del método UCL® la resistencia al desgaste de las mezclas, de esta forma se ha podido observar, entre otras cosas, que la incorporación de estos aditivos resultó adecuada para la fabricación de mezclas con el pétreo utilizado, ya que en la mayoría de los casos presenta una mayor resistencia al desgaste y las pérdidas son menores que en el caso del asfalto convencional sin aditivos.

Sin duda alguna, la combinación que mejor se comportó bajo las diferentes condiciones de temperatura ensayadas fue el AC-20 con el 1,0% de aditivo tipo A-1, ya que presentó una disminución considerable de las pérdidas con respecto al asfalto convencional en todo el rango de temperaturas estudiadas, mejorando notablemente el comportamiento, sobre todo, en las temperaturas críticas altas y bajas.

Sin embargo, las combinaciones de AC-20 con los aditivos A-1 y A-2 en una proporción del 0,5%, también presentan una mejora sustancial en el comportamiento a diferentes temperaturas, pero la cantidad de aditivo necesaria se reduce a la mitad, lo que por supuesto se refleja en el costo total de la mezcla, que es un factor muy importante en cualquier tipo de obra.

La única combinación que presentó en las temperaturas críticas de la curva mayores pérdidas que el asfalto AC-20 convencional, fue el AC-20 con el 1% de aditivo tipo A-2, por lo tanto no se recomienda su empleo en esta proporción con este tipo de pétreo.

Como recomendación del presente trabajo, podemos decir que la combinación de asfalto tipo AC-20 con un 0,5% de aditivo tipo A-1, es la más recomendable desde el punto de vista funcional y económico, ya que mejora el comportamiento en las temperaturas críticas sin aumentar significativamente el precio de la mezcla.

Con todo esto concluimos, que el método UCL® es una herramienta de gran ayuda para la selección adecuada del tipo de aditivo de aportación necesario para la fabricación de una mezcla asfáltica, bajo las condiciones de temperatura que seleccionemos.

### Bibliografía

Anderson, K. (1996), "Advocates & Aggregates", TR News, Vol. 184, Transportation Research Board, National Research Council, N.W., Washington, D.C, pp. 8-13.

Asphalt Institute (1993), "Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types", Asphalt Institute, Manual Series No. 3.

Austrroads (1997), "APRG Report No. 18, Selection and Design of Asphalt Mixes", Australian Provisional Guide, Austrroads, Sydney.

Botasso, Balige, Mikelaite, Bisio, González y Rebollo (2003), "Nueva metodología para la valoración de la adherencia árido ligante", Buenos Aires, Argentina.

Departamento Técnico Pavimentación Asfaltos Chilenos S.A. (2001), "Experiencias y Estudios con Asfalto Multigrado", Chile, Chile

Kraemer, C., Morilla, I., del Val, M.A. (1999), "Carreteras II", Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Servicio de Publicaciones-Colegios Escuelas, Madrid.

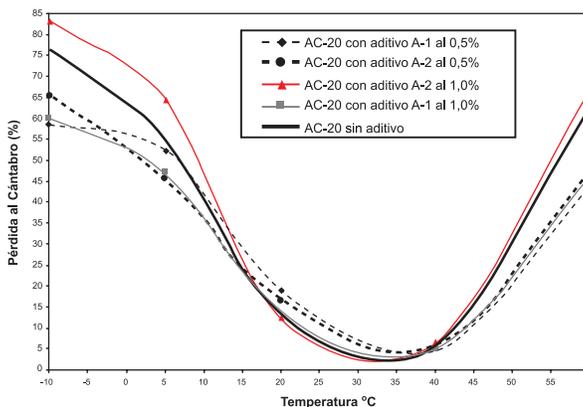
Resultados de las probetas fabricadas sin utilizar aditivo

Tabla 6

Descripción	No. de probeta	Temp. de ensayo (°C)	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	% de pérdidas	Promedio (%)
AC-20 sin aditivo	61	-10	0,823	0,282	65,735	76,447
	62		0,825	0,199	75,879	
	63		0,823	0,101	87,728	
	64	5	0,820	0,344	58,049	55,424
	65		0,821	,0349	57,491	
	66		0,820	0,404	50,732	
	67	20	0,823	0,704	14,459	13,081
	68		0,821	0,705	14,129	
	69		0,826	0,738	10,654	
	70	40	0,826	0,779	5,690	5,770
	71		0,824	0,782	5,097	
	72		0,828	0,774	6,522	
	73	60	0,821	0,203	75,274	63,100
	74		0,829	0,238	71,291	
	75		0,826	0,473	42,736	

Resultados de las combinaciones estudiadas de material pétreo, asfalto AC-20 y aditivos

Gráfica 1



Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España, (MOPU) (1981), "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes PG-3", Dirección General de Carreteras, Madrid.

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España, (MOPU) (1989), "Recomendaciones sobre mezclas bituminosas en caliente", Dirección General de Carreteras, Circular No. 299/89 T.

Normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes <www.normas.imt.mx>

Torrejón O. Julio (2003), "Asfalto: un Material con Múltiples Aplicaciones", Chile, Chile.

Yoder, E. J. y Witczak, M. W. (1975), "Principles of pavement design", John Wiley & Sons Inc., Second Edition, USA.