



Instituto
Mexicano del
Transporte

COORDINACION DE INFRAESTRUCTURA

INFORME DE INVESTIGACIÓN

PROYECTO No. : IE 10/09

Mejoramiento del valor de pulido por medio de mezclas de agregado

Responsable del proyecto:

M.C Mayra Flores Flores
Encargada área de Mecánica de Rocas, agregados y concretos

Aprobó:

Autorizó:

Dr. Paul Garnica Anguas
Jefe de la División de Laboratorios de Infraestructura

M.C Rodolfo Téllez Gutiérrez
Coordinador de Infraestructura

30 de Noviembre del 2009

Este trabajo fue realizado en la División de Laboratorios de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte por la investigadora M.C Mayra Flores Flores, técnicos Mario Antonio Pérez Gonzalez y Luis Alberto Pérez Cortés.

INDICE

I.	Antecedentes.....	4
II.	Objetivo y alcance.	4
1.	Introducción.	5
2.	Metodología.....	10
2.1	Selección del agregado y propiedades.....	11
2.2	Programa de ensayos de laboratorio.....	12
3.	Análisis de resultados.....	14
4.	Conclusiones	23
5.	Recomendaciones:.....	27
6.	Bibliografía.....	28

I. Antecedentes.

El uso de agregado con poca resistencia al pulido, como la caliza, es un factor que contribuye a que el pavimento adquiera una textura lisa y presente poca fricción cuando está mojado. Este tipo de agregado es el que generalmente se encuentra disponible en el estado de Nuevo León y ha traído como consecuencia problemas de falta de fricción en las carreteras, siendo ésta la segunda causa de accidentes en el estado, del total de accidentes registrados en el 2007, el 23,5% fueron causados por la falta de fricción debido al pavimento liso y mojado. Asimismo, frecuentemente se requiere llevar a cabo acciones de conservación, como la aplicación de riegos de sello, microcarpetas, entre otras; para mantener la superficie de rodamiento con un nivel de resistencia al deslizamiento apropiado. Concientes de la problemática descrita y con el interés de contar con alternativas viables para mejorar la fricción en sus carreteras la Unidad General de Servicios Técnicos de Nuevo León acordó con el Instituto Mexicano del Transporte llevar a cabo un estudio para evaluar la factibilidad de mejorar el valor de pulido del agregado disponible en Nuevo León por medio de mezclas de agregado.

II. Objetivo

Investigar la factibilidad de mejorar las características friccionantes de agregados con valor de pulido bajo mezclándolos con agregados de valor de pulido alto, y encontrar la proporción de mezclado más adecuada técnica y económicamente.

III. Alcance

Se contempla evaluar cuatro bancos de agregado del estado de Nuevo León, dos con valores de pulido alto y dos con valores de pulido bajo, y realizar mezclas de agregados en diferentes proporciones.

1 Introducción

La fricción es una de las características superficiales importantes del pavimento porque proporciona el agarre que los neumáticos requieren para mantener el control del vehículo especialmente cuando la superficie de rodamiento está mojada. En un pavimento de concreto hidráulico la fricción la proporciona principalmente el texturizado de la superficie de rodamiento y el agregado fino, el cual forma parte de la pasta de cemento. En el caso del pavimento de concreto asfáltico la fricción la provee la microtextura, que depende del agregado grueso; y la macrotextura que es determinada por el tamaño, forma y granulometría del agregado grueso, así como también de las técnicas constructivas empleadas en la colocación de la superficie de rodamiento del pavimento.

Los agregados pétreos que forman parte de la carpeta asfáltica son susceptibles al pulido o pérdida de la microtextura, debido al paso de los vehículos. El grado de pulido que cada agregado puede tener depende de sus características mineralógicas. Los agregados compuestos con minerales de diferente dureza, cementados en una matriz suave que se desgasta y deja expuestos los granos minerales, tienen una resistencia al pulido relativamente alta. El agregado compuesto de minerales que tienen la misma dureza se desgasta uniformemente y tiende a presentar una resistencia al pulido baja. La arenisca generalmente presenta una resistencia al pulido alta, el basalto, granito y cuarcita exhiben resistencia al pulido intermedia; y la caliza y el pedernal proporcionan valores de resistencia al pulido muy bajos.

Por sus características mineralógicas el agregado calizo es susceptible al pulido, debido al paso de los vehículos, y se recomienda no utilizarlo o limitar su uso en superficies de rodamiento con altos volúmenes de tránsito. Una manera de mejorar la resistencia al deslizamiento del agregado con valor de pulido bajo y elevarlo a valores aceptables, es mezclarlo con agregados de valor de pulido alto. La mezcla de agregado puede ser elaborada con agregados naturales o una combinación de agregado natural y sintético, como la escoria.

El porcentaje de agregado con valor de pulido alto necesario para mejorar la fricción es determinado por medio del ensayo de pulimento acelerado en mezclas de agregado grueso en diferentes proporciones.

El ensayo de pulimento acelerado consiste en elaborar pastillas con agregado que pasa la malla de 3/8" y se retiene en la malla de 1/4". Las pastillas se montan alrededor de la periferia de una rueda metálica y se pulen nueve horas, durante las cuales se suministra continuamente abrasivo y agua. Una vez pulidas se mide el grado de pulido de las pastillas de agregado con el péndulo de fricción y el resultado se expresa como Valor de Pulido Residual (RPV por sus siglas en inglés).



Fig. 1 Máquina de pulimento acelerado



Fig. 2 Péndulo de fricción



Fig. 3 Especímenes montados alrededor de la periferia de la rueda metálica



Fig. 4 Probetas y molde de metal

En laboratorio, en ensayos realizados a agregados y mezclas de agregado se ha observado que la mayor pérdida de valor de pulido ocurre en la primera hora del ensayo, en las horas subsecuentes la pérdida es poco significativa hasta llegar a un valor prácticamente constante al final de las nueve horas de pulido, Fig. 5 y 6.

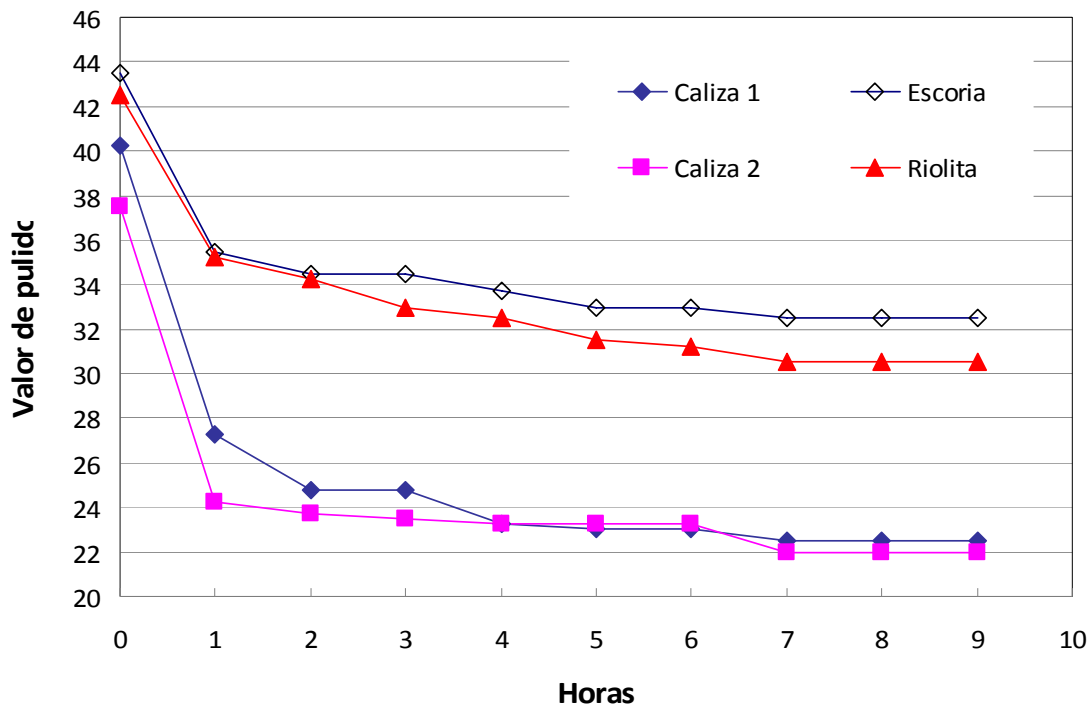


Fig.5 Evolución del valor de pulido en agregado durante el ensayo de pulimento acelerado

MEZCLA CALIZA-RIOLITA

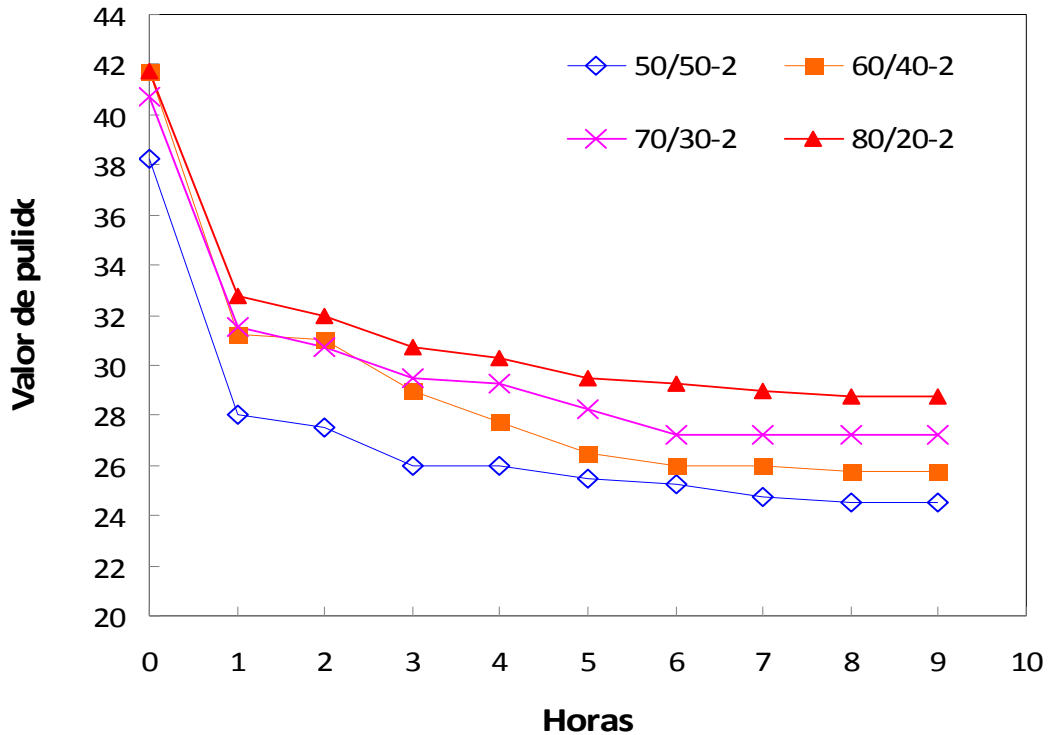


Fig.6 Evolución del valor de pulido en mezclas de agregado caliza-riolita

En campo en un pavimento nuevo, una vez que se ha eliminado la película superficial de asfalto, el coeficiente de fricción desciende rápidamente en los primeros meses de servicio tendiendo a fluctuar a lo largo de los años alrededor de un valor prácticamente constante, y con variaciones estacionales por temperatura y sequedad, Fig. 7. En esta etapa se llega a la fase de pulido o equilibrio; algunos investigadores asumen que la fase de pulido del pavimento ocurre después de 1 millón de ejes equivalentes de vehículos pesados o después de dos años de servicio, lo que ocurra primero; y la caída típica entre los valores de fricción inicial y de equilibrio es de aproximadamente 40%.

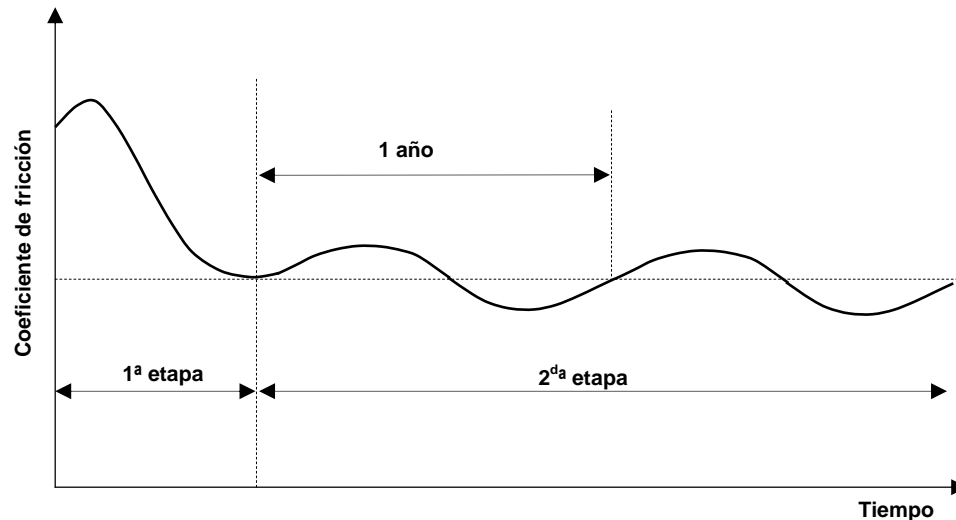


Fig. 7 Evolución del coeficiente de fricción con el tiempo

El valor final al que tiende el coeficiente de fricción es función tanto del valor de pulido del agregado como del tránsito de vehículos pesados en la carretera (mayor coeficiente de fricción para valores de pulido más elevados, y menor valor de pulido para intensidades de tránsito pesado elevados). Esto hace que no se pueda pretender tener en las carreteras en servicio, un coeficiente de fricción tan alto como al principio de su vida; y que, por tanto, en ellas no sean aplicables los valores mínimos establecidos para pavimentos nuevos.

Otro ensayo muy sencillo de realizar que proporciona el porcentaje de material sin carbonatos (residuo insoluble) en agregados calcáreos y sirve para caracterizar el desgaste-pulido característico de dichos agregados es el ensayo de Residuo Insoluble en ácido. Este ensayo consiste en colocar en un recipiente una muestra representativa de agregado que pasa la malla de 3/8"; previamente lavado y secado, se agrega una determinada cantidad de ácido clorhídrico para que el agregado reaccione; una vez que la reacción ha terminado, se adiciona otra cantidad de ácido clorhídrico para asegurar que la reacción ha terminado completamente, una vez que esta ha concluido, el residuo de agregado se lava y seca en el horno, luego se determina su masa. El residuo insoluble en ácido se expresa como la relación entre la masa del residuo de agregado y la masa inicial, en porcentaje. Este ensayo se recomienda como una prueba preliminar para evaluar las propiedades de desgaste-pulido del agregado

2. Metodología.

2.1 Selección del agregado y propiedades.

La Unidad General de Servicios Técnicos del Estado de Nuevo León proporcionó siete muestras de agregado provenientes de diferentes bancos. De acuerdo con la descripción que acompañaba a las muestras cuatro son calizas, dos dolomitas y un granito, Fig.8. A todas los agregados se les determinó el valor de pulido residual, sanidad del agregado por el uso de sulfato de magnesio y residuo insoluble en ácido, en la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para cada agregado. Los ensayos fueron realizados en muestras de agregado que pasa la malla de 9,0 mm (3/8") y retiene en 6,3 mm (1/4"). Con base en los resultados obtenidos del valor de pulido se seleccionaron dos agregados para mezclarlos con granito, el cual es el agregado con valor de pulido alto disponible en el Estado. Los agregados seleccionados fueron caliza del Banco El Pilar, dolomita del Banco Siderúrgica Más y granito del Banco Granix.



Fig. 8 Agregados evaluados

Tabla 1. Propiedades del agregado

Banco	Descripción	Valor de pulido residual	Residuo Insoluble en ácido %	Pérdida de Sanidad MgSO ₄ %
Granix	Granito	32	100	0,0
Siderúrgica Mas	Dolomita	26	46	3,0
Regio Cal	Dolomita	25	46	2,0
Matrimar	Caliza	24	42	1,0
Trituradora El Roble	Caliza	22	45	1,0
Trituradora Incasa	Caliza	23	44	2,0
Trituradora El Pilar	Caliza	22	44	1,0

2.2 Programa de ensayos de laboratorio.

Para evaluar la mejora de la resistencia al pulido se mezclaron los agregados en diferentes porcentajes. La mezcla de agregados se realizó respecto a la masa del agregado. Las proporciones de mezclado usadas fueron 30/70, 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 por ciento de agregado con valor de pulido residual alto y bajo, respectivamente.

A los agregados individuales y las mezclas se les asignó una nomenclatura y en lo sucesivo serán identificados como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2 Nomenclatura de los agregados y mezclas de agregados

Descripción	Nomenclatura
Agregado con valor de pulido alto, banco Granix	A1
Agregado con valor de pulido bajo, banco Trituradora El Pilar	B1
Agregado con valor de pulido bajo, banco Siderúrgica Mas	B2
Mezcla 50/50 de A1 y B1	50/50-1
Mezcla 60/40 de A1 y B1	60/40-1
Mezcla 70/30 de A1 y B1	70/30-1
Mezcla 80/20 de A1 y B1	80/20-1
Mezcla 30/70 de A1 y B2	30/70-2
Mezcla 50/50 de A1 y B2	50/50-2
Mezcla 60/40 de A1 y B2	60/40-2
Mezcla 70/30 de A1 y B2	70/30-2
Mezcla 80/20 de A1 y B2	80/20-2

Se ensayaron un total de cuatro probetas por cada agregado y mezclas de agregado. A cada agregado y sus mezclas se les determinó la fricción inicial con el péndulo británico, de acuerdo con el método de prueba ASTM E 303; y después fueron pulidos durante nueve horas en la máquina de pulimento acelerado de acuerdo con el método de prueba Tex 438-A.

Es importante aclarar que antes del pulido los valores medidos son registrados como Número de Péndulo Británico (NPB) y después de nueve horas de pulido como valor de pulido residual (VPR). El NPB es el promedio de cuatro deslizamiento consecutivos con el péndulo y el valor de pulido residual es el valor constante obtenido después de varios deslizamientos consecutivos con el péndulo británico. También, se determinó la tasa de pulido de cada agregado y de las mezclas de agregado. La tasa de pulido es la diferencia entre el coeficiente de fricción inicial (NPB) y el valor de pulido residual (VPR), dividido entre el coeficiente de fricción inicial. En la Tabla 3 se incluyen los valores del NPB, el valor de pulido residual y la tasa de pulido obtenido para los agregados individuales y mezclas de agregado evaluadas.

Tabla 3 Resultados del valor de pulido y tasa de pulido

Descripción	Nomenclatura	NPB	Valor de pulido residual	Tasa de Pulido %
Trituradora El Roble	--	39	22	44
Trituradora Incasa	--	39	23	41
Triturados Matrimar	--	37	24	35
Regio Cal	--	43	25	42
Granix	A1	47	32	32
Trit. El Pilar	B1	37	22	41
Siderúrgica Más	B2	44	26	41
Mezcla 50/50 de A1 y B1	50/50-1	40	24	40
Mezcla 60/40 de A1 y B1	60/40-1	43	25	42
Mezcla 70/30 de A1 y B1	70/30-1	42	26	38
Mezcla 80/20 de A1 y B1	80/20-1	44	27	39
Mezcla 30/70 de A1 y B2	30/70-2	44	26	41
Mezcla 50/50 de A1 y B2	50/50-2	45	27	40
Mezcla 60/40 de A1 y B2	60/40-2	43	28	35
Mezcla 70/30 de A1 y B2	70/30-2	45	29	36
Mezcla 80/20 de A1 y B2	80/20-2	44	30	32

3. Análisis de resultados

El valor de pulido de las calizas se encuentra en un rango de 22 a 24 y para las dolomitas de 25 a 26.

En la Tabla 3, se observa que la tasa de pulido obtenida para los agregados individuales es de 32% y 41% para el granito, calizas y dolomitas, respectivamente. En el caso de las mezclas de agregado, la mezcla caliza-granito presentó tasas de pulido más altas con respecto a la mezcla dolomita-granito. La tasa de pulido para la mezcla caliza-granito es de 38 a 42% mientras que para la mezcla dolomita-granito de 32 a 41 %. En las figuras 9 y 10 se presentan gráficamente las tasas de pulido de las proporciones de mezclado evaluadas, las cuales están entre la tasa de pulido de los agregados individuales. La tendencia es que a medida que se incrementa la proporción de agregado resistente al pulido la tasa de pulido disminuye.

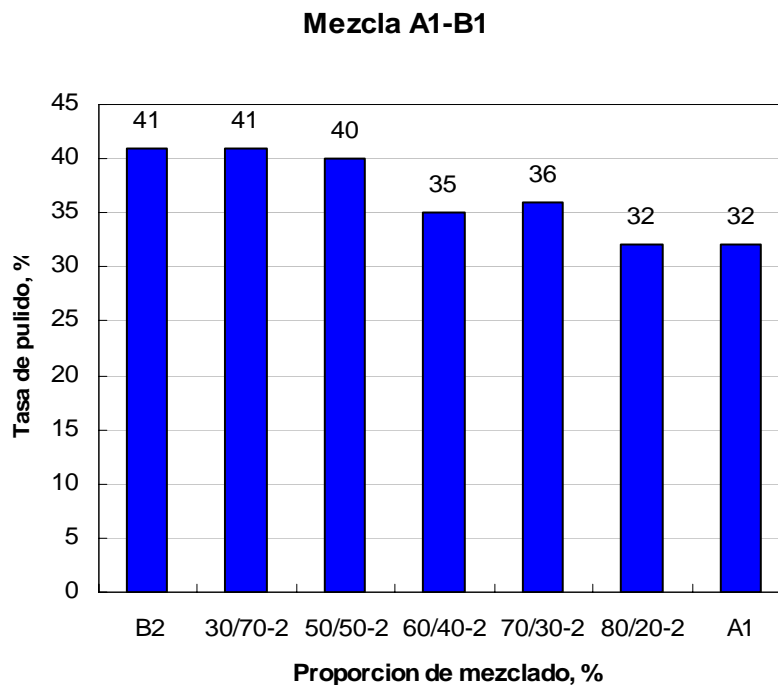


Fig.9 Tasa de pulido de la mezcla A1-B1

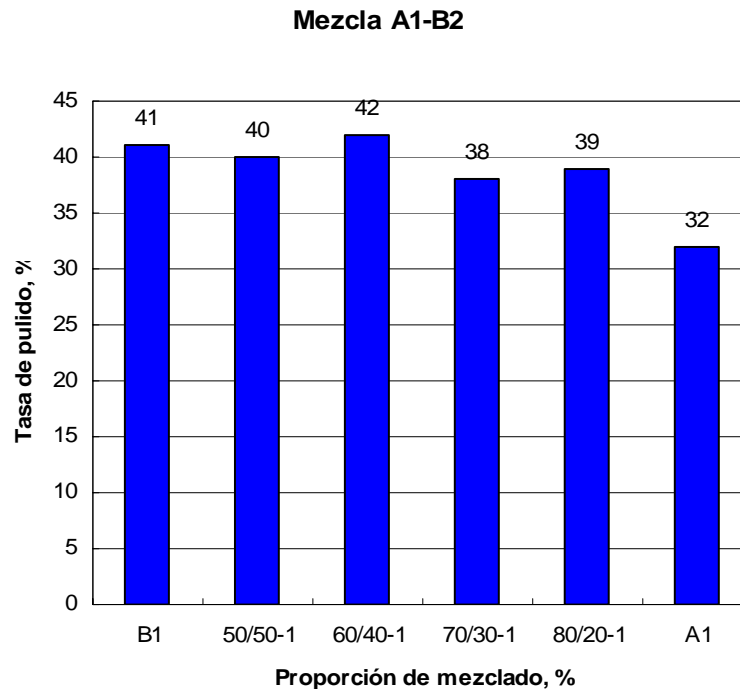


Fig. 10 Tasa de pulido de la mezcla A1-B2

El mejoramiento del valor de pulido residual del agregado con baja resistencia al deslizamiento es mostrado en las figuras 11 y 12, puede verse que en ambas mezclas el valor de pulido residual se incrementa una unidad por cada incremento de 10% en la proporción de agregado con valor de pulido alto. Para la mezcla caliza-granito y dolomita-granito el incremento máximo en el valor de pulido es de 4 y 5 unidades, respectivamente, con la proporción 80%-20%.

En las Figuras 13 y 14 se muestra el coeficiente de fricción inicial (NPB) y el valor de pulido residual después de 9 horas de pulido de las proporciones de mezclado evaluadas en ambas mezclas.

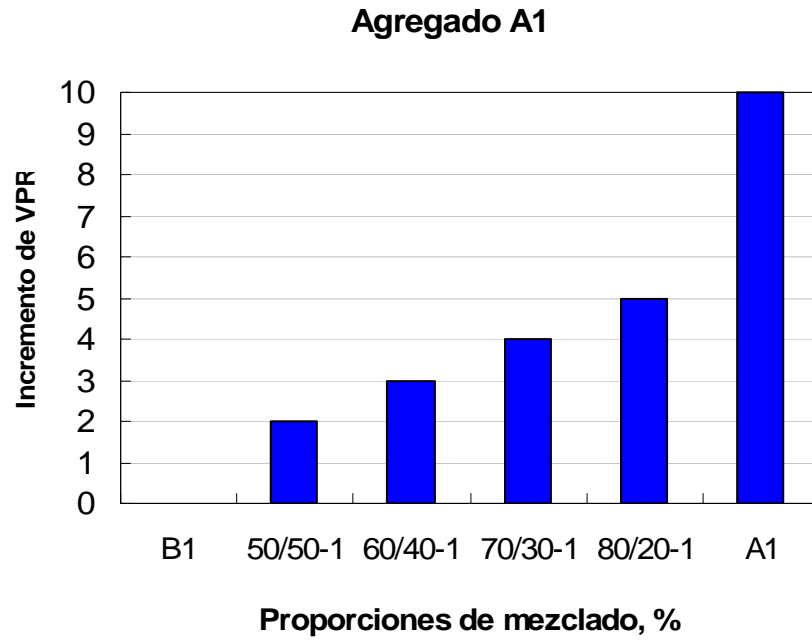


Fig. 11 Mejoramiento del valor de pulido del agregado con baja resistencia al deslizamiento, B1

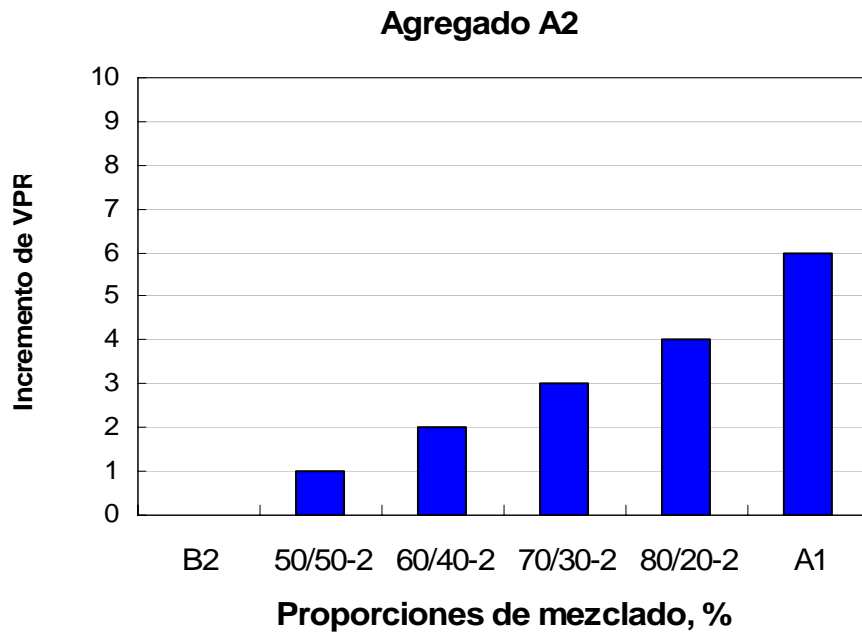


Fig.12 Mejoramiento del valor de pulido del agregado con baja resistencia al deslizamiento, B2

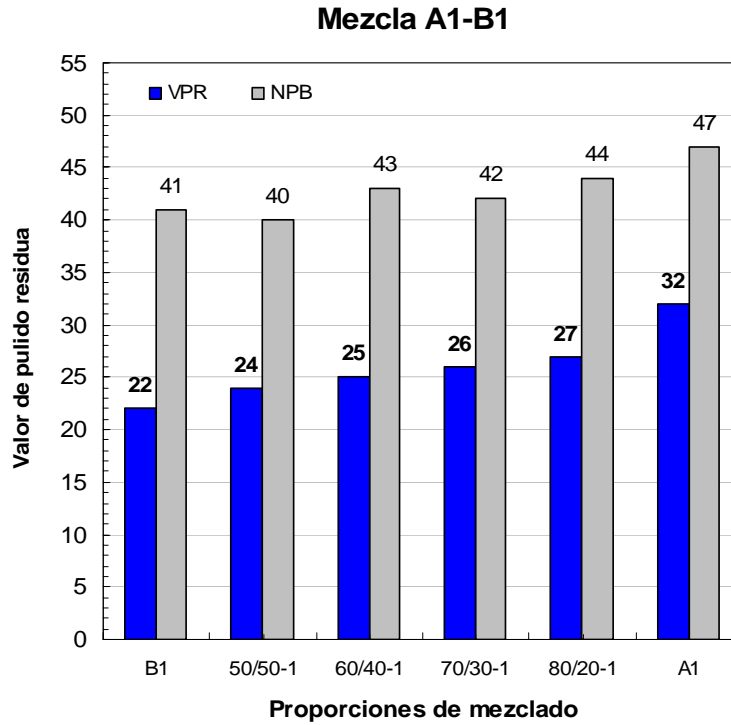


Fig.13 Coeficiente de fricción inicial y valor de pulido residual de la mezcla A1-B1

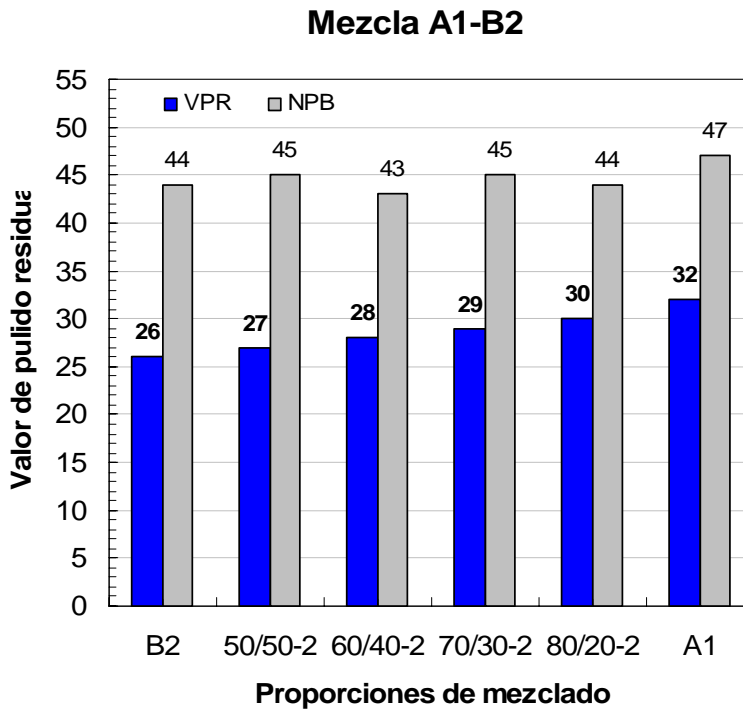


Fig.14 Coeficiente de fricción inicial y valor de pulido residual de la mezcla A1-B2

Para definir la proporción de mezclado más adecuada es necesario referirse a una especificación de valor de pulido. En México no existe una especificación de valor de pulido y es arriesgado referirse a especificaciones de otros países. A pesar de lo anterior y debido a que los ensayos de pulimento se realizaron de acuerdo con el método de prueba del Tx DOT se toma como referencia la especificación de valor de pulido de dicho organismo. La especificación del valor de pulido depende del volumen de tránsito que solicita el pavimento, para volúmenes de tránsito altos se requiere un valor de pulido alto.

El Tx DOT tiene como práctica para controlar la resistencia al deslizamiento de sus carreteras, evaluar las propiedades friccionantes del agregado a través de pruebas de laboratorio y el comportamiento en campo del agregado.

Las propiedades friccionantes del agregado a utilizar en mezclas asfáltica en caliente se evalúan de la siguiente manera:

- Se determina el porcentaje de residuo insoluble en ácido del agregado grueso de acuerdo con la Norma Tex 612-J y el porcentaje de sanidad del agregado grueso por el uso de sulfato de magnesio de acuerdo con la Norma Tex 411-A. Si el porcentaje de AIR es $\geq 70\%$ y la pérdida de sanidad por el uso de sulfato de magnesio es $\leq 25\%$, el agregado se clasifica como tipo A y no es necesario realizar otros ensayos, ya que se considera que tienen bajo contenido de carbonato de calcio.
- Si el agregado grueso no cumple con el criterio anterior, se realiza el ensayo de pulimento acelerado de acuerdo con la Norma Tex 438-A, y se clasifica con base en el Valor de Pulido Residual (RPV, por sus siglas en inglés) y la pérdida de sanidad por el uso de sulfato de magnesio. Estos agregados se clasifican en cuatro categorías (A,B,C o D) como se aprecia en la Figura 15.

Para mejorar las características friccionantes se permite mezclar agregados gruesos de clase A y B. Cuando un agregado de clase A es requerido en las especificaciones, al menos el 50% (por masa) del material retenido en la malla de 4,75 mm (No 4) debe ser clase A. Los

agregados deben ser mezclados por volumen si la gravedad específica neta de la clase A y la clase B, difieren más de 0,30. No se permite mezclas agregados clase C y D.

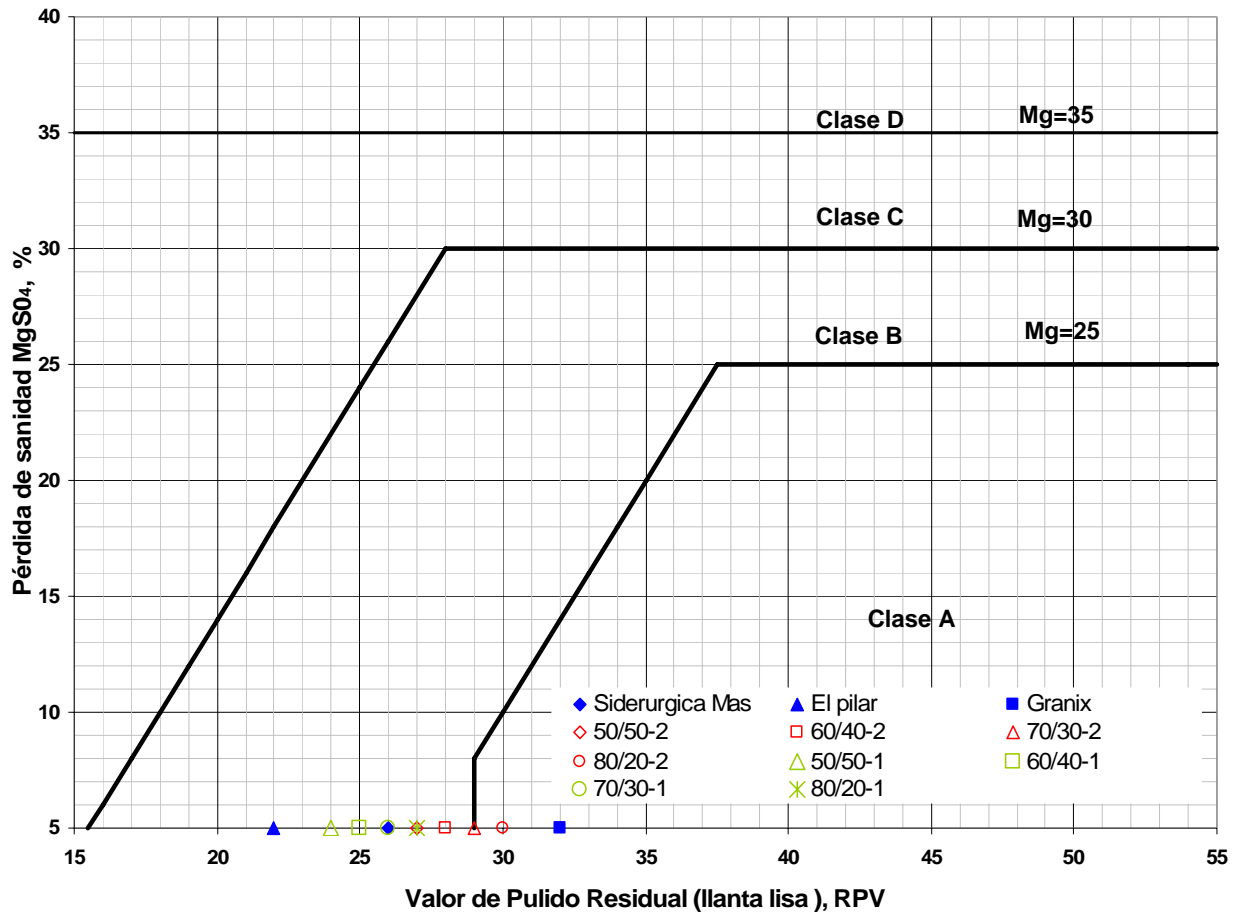


Fig. 15 Clasificación del agregado (mezcla asfáltica en caliente)

El comportamiento del agregado (evolución del pulido del agregado) lo monitorean a través de mediciones de fricción en campo con el skid trailer (ASTM E 274). Con las mediciones de fricción determinan el volumen de tránsito para el cual el agregado alcanza su estado de equilibrio o pulido y las correlacionan con el valor de pulido de laboratorio y el volumen de tránsito para determinar el modelo que estima la resistencia al deslizamiento de la superficie de rodamiento. Es muy importante mencionar que en México el equipo utilizado para medir la fricción en campo es el Mu meter y las mediciones de dicho equipo no son comparables directamente con el skid trailer sin un estudio de correlación, por lo que no hay manera de

verificar la resistencia al deslizamiento de la superficie de rodamiento. Asimismo, no existe una especificación de coeficiente de fricción para carreteras en servicio.

En lo que respecta a la pérdida de sanidad de las mezclas evaluadas, ésta se calculó a partir del porcentaje de pérdida individual de cada componente ponderada con respecto al porcentaje presente en la mezcla y para fines de verificación únicamente se realizó el ensayo de sanidad a las mezclas 70/30-1 y 50/50-2. Los resultados se presentan en la Tabla 4, en ésta puede observarse que para la mezcla granito-caliza la pérdida calculada difiere significativamente de la pérdida obtenida del ensayo, y en la mezcla granito-dolomita la pérdida de sanidad es prácticamente igual. En todas las mezclas la pérdida de sanidad es menor al 5% por lo que para fines de clasificación del agregado se considera una pérdida de sanidad del 5%.

Tabla 4 Pérdida de sanidad de las mezclas de agregado

Descripción	Nomenclatura	Pérdida de sanidad MgSO ₄ %
Mezcla 50/50 de A1 y B1	50/50-1	0,5
Mezcla 60/40 de A1 y B1	60/40-1	0,4
Mezcla 70/30 de A1 y B1	70/30-1	0,3/1,2*
Mezcla 80/20 de A1 y B1	80/20-1	0,2
Mezcla 30/70 de A1 y B2	30/70-2	2,1
Mezcla 50/50 de A1 y B2	50/50-2	1,5/1,3*
Mezcla 60/40 de A1 y B2	60/40-2	1,2
Mezcla 70/30 de A1 y B2	70/30-2	0,9
Mezcla 80/20 de A1 y B2	80/20-2	0,6

* Determinada por medio del ensayo de sanidad del agregado

De acuerdo con los resultados obtenidos del ensayo de pulimento acelerado y pérdida de sanidad, el agregado dolomítico es relativamente adecuado para volúmenes de tránsito menores a 20 000 000 de pasadas de vehículos por carril y el calizo no es conveniente utilizarlo en mezcla asfáltica debido a que el valor de pulido obtenido del ensayo es muy bajo, lo que indica que el agregado es poco resistente al pulido. En lo que se refiere a las mezclas, para el caso granito-dolomita la proporción 70/30-2 es factible desde el punto de vista técnico

y económico, cumple con la especificación del valor de pulido del TxDOT para volúmenes de tránsito mayores a 20 000 000 de pasadas de vehículos por carril y la proporción de agregado con valor de pulido alto requerida es razonable. En la mezcla granito-caliza la proporción 80/20-1 parece ser adecuada para volúmenes de tránsito menores a 20 000 000 de pasadas de vehículos por carril y para volúmenes de tránsito mayores ninguna proporción cumple con la especificación del Tx DOT.

Finalmente, para establecer la correlación entre el valor de pulido residual y las proporciones de mezclado se realizó una regresión lineal con los resultados de los ensayos. Las figuras 16 y 17 presentan las ecuaciones obtenidas. Con dichas ecuaciones puede estimarse el valor de pulido residual para una determinada proporción de agregado con valor de pulido alto.

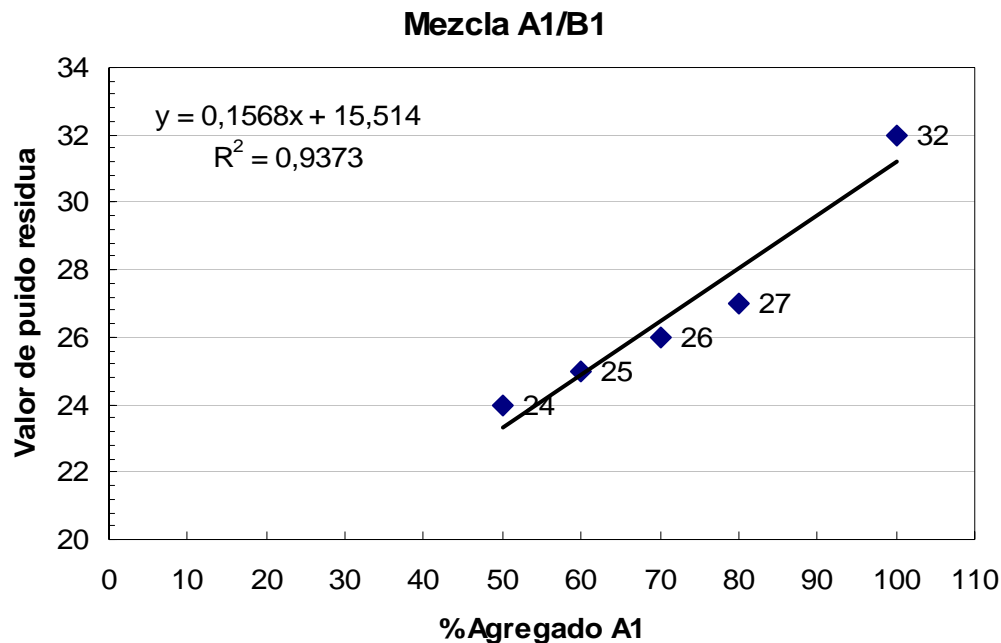


Fig. 16 Correlación entre el valor de pulido residual y la proporción de mezclado.

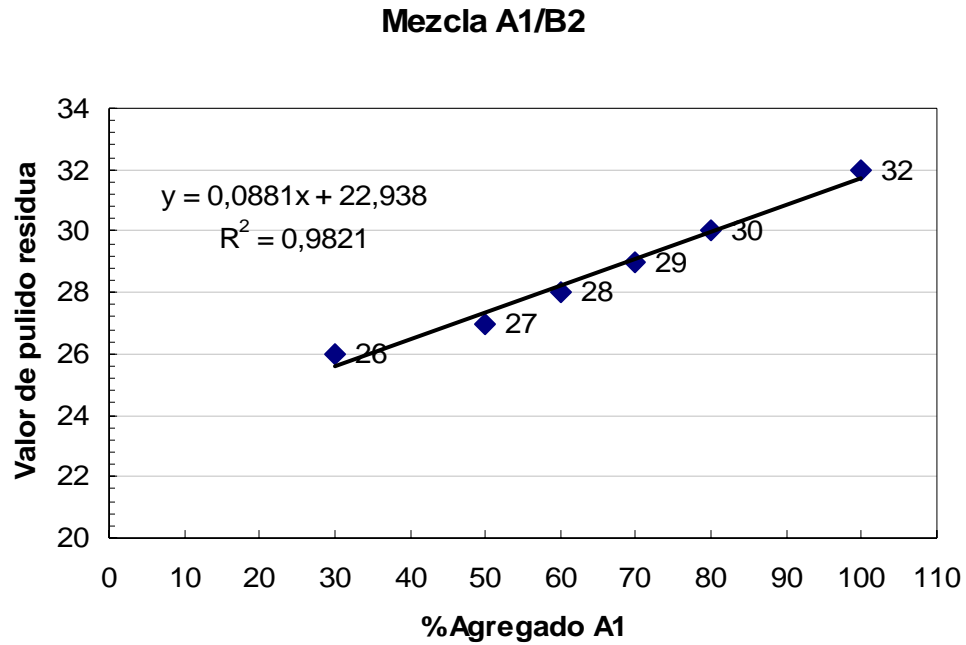


Fig. 17 Correlación entre el valor de pulido residual y la proporción de mezclado.

4. Conclusiones

- a. El material fue evaluado respecto a su resistencia al deslizamiento de acuerdo con la metodología del Departamento de Transporte de Texas (TxDOT). Es muy importante señalar que dicha metodología no se puede aplicar totalmente, debido a que en México se utiliza el Mu meter para medir la fricción en campo y el TxDOT utiliza el Skid trailer (ASTM E 274) y las mediciones con tales equipo no son comparables directamente sin un estudio de correlación, por lo que no hay manera de verificar la resistencia al deslizamiento de la superficie de rodamiento.
- b. El valor de pulido se utiliza para estimar la resistencia al deslizamiento de la superficie de rodamiento a través de modelos obtenidos de la correlación de las mediciones de fricción en campo, el valor de pulido y el volumen de tránsito. Por lo anterior es muy importante, realizar mediciones de fricción en las carreteras donde se ha utilizado el agregado evaluado en el presente estudio.
- c. Respecto al agregado evaluado se tienen las siguientes conclusiones:
 - El coeficiente de fricción inicial (NPB), antes del ensayo de pulimento acelerado, de las calizas es bajo.

**Tabla 5 Resultados del coeficiente de fricción inicial (NPB)
de los agregados individuales**

Banco	Descripción	NPB
Granix	Granito	47
Siderúrgica Más	Dolomita	44
Regio Cal	Dolomita	43
Trituradora El Roble	Caliza	39
Trituradora Incasa	Caliza	39
Triturados Matrimar	Caliza	37
Trituradora El Pilar	Caliza	37

- En la mezcla granito caliza el coeficiente de fricción tiende a incrementarse a medida que se incrementa la proporción de agregado con valor de pulido alto y en la mezcla granito-dolomita permanece prácticamente igual para las diferentes proporciones evaluadas, Tablas 6 y 7.

**Tabla 6 Resultados del Número del péndulo Británico
Mezcla A1-B1 (Granito-Caliza)**

Descripción	Nomenclatura	NPB
Granix	A1	47
Mezcla 80/20 de A1 y B1	80/20-1	44
Mezcla 70/30 de A1 y B1	70/30-1	42
Mezcla 60/40 de A1 y B1	60/40-1	43
Mezcla 50/50 de A1 y B1	50/50-1	40
Trit. El Pilar	B1	37

**Tabla 7 Resultados del Número del péndulo Británico
Mezcla A1-B2 (Granito-Dolomita)**

Descripción	Nomenclatura	NPB
Granix	A1	47
Mezcla 80/20 de A1 y B2	80/20-2	44
Mezcla 70/30 de A1 y B2	70/30-2	45
Mezcla 60/40 de A1 y B2	60/40-2	43
Mezcla 50/50 de A1 y B2	50/50-2	45
Siderúrgica Más	B2	44

- El valor de pulido residual de las calizas es muy bajo (22 a 24); de las dolomitas es regular (25 a 26) y del granito es alto (32).Tabla 8.

Tabla 8. Valor de pulido residual para los agregados individuales

Banco	Descripción	Valor de pulido Residual
Granix	Granito	32
Siderúrgica Más	Dolomita	26
Regio Cal	Dolomita	25
Triturados Matrimar	Caliza	24
Trituradora Incasa	Caliza	23
Trit. El Pilar	Caliza	22
Trituradora El Roble	Caliza	22

- En cuanto al mejoramiento del valor de pulido para las mezclas evaluadas, el valor de pulido residual se incrementa una unidad por cada 10% de incremento en la proporción de agregado con valor de pulido alto, Tablas 9 y 10.

**Tabla 9 Resultados del valor de pulido residual
Mezcla A1-B2 (Granito-Dolomita)**

Descripción	Nomenclatura	Valor de pulido residual
Granix	A1	32
Mezcla 80/20 de A1 y B2	80/20-2	30
Mezcla 70/30 de A1 y B2	70/30-2	29
Mezcla 60/40 de A1 y B2	60/40-2	28
Mezcla 50/50 de A1 y B2	50/50-2	27
Mezcla 30/70 de A1 y B2	30/70-2	26
Siderúrgica Más	B2	26

**Tabla 10 Resultados del Número del péndulo Británico
Mezcla A1-B1 (Granito-Caliza)**

Descripción	Nomenclatura	Valor de pulido residual
Granix	A1	32
Mezcla 80/20 de A1 y B1	80/20-1	27
Mezcla 70/30 de A1 y B1	70/30-1	26
Mezcla 60/40 de A1 y B1	60/40-1	25
Mezcla 50/50 de A1 y B1	50/50-1	24
Trit. El Pilar	B1	22

- La tasa de pulido de las calizas y dolomitas es alta (> 40%), a excepción del bco. Triturados Matrimar, mientras que el granito presenta una tasa de pulido regular (32%). En el caso de las mezclas, la granito-caliza presenta una tasa de pulido mayor (38%-42%) con respecto a la mezcla granito-dolomita (32%-41%). En ambas mezclas a medida que se incrementa la proporción de agregado con valor de pulido alto la tasa de pulido disminuye, Tablas 11 y 12.

Tabla 11 Resultados de la Tasa de pulido para la Mezcla A1-B1 (Granito-Caliza)

Descripción	Nomenclatura	Tasa de Pulido %
Granix	A1	32
Mezcla 80/20 de A1 y B1	80/20-1	39
Mezcla 70/30 de A1 y B1	70/30-1	38
Mezcla 60/40 de A1 y B1	60/40-1	42
Mezcla 50/50 de A1 y B1	50/50-1	40
Trit. El Pilar	B1	41

Tabla 12 Resultados de la tasa de pulido para la Mezcla A1-B2 (Granito-Dolomita)

Descripción	Nomenclatura	Tasa de pulido %
Granix	A1	32
Mezcla 80/20 de A1 y B2	80/20-2	32
Mezcla 70/30 de A1 y B2	70/30-2	36
Mezcla 60/40 de A1 y B2	60/40-2	35
Mezcla 50/50 de A1 y B2	50/50-2	40
Mezcla 30/70 de A1 y B2	30/70-2	41
Siderúrgica Más	B2	41

- d. De acuerdo con la metodología del TxDOT el agregado dolomítico es relativamente adecuado para volúmenes de tránsito menores a 20 000 000 de pasadas de vehículos por carril y el calizo no es conveniente utilizarlo en mezcla asfáltica debido a que el valor de pulido es bajo, lo que indica que el agregado es poco resistente al pulido. En lo que se refiere a las mezclas, para el caso granito-dolomita la proporción 70% granito-30 % dolomita puede considerarse una alternativa viable para volúmenes de tránsito mayores a 20 000 000 de pasadas de vehículos por carril. Para la mezcla granito-caliza la proporción 80% granito- 20% caliza, parece ser una opción adecuada para volúmenes de tránsito menores a 20 000 000 de pasadas de vehículos por carril y para volúmenes de tránsito mayores ninguna proporción cumple con la especificación del Tx DOT.

- e. En el laboratorio, el agregado es pulido bajo condiciones más severas que las que quizá se presentan en campo por lo cual es muy importante monitorear el comportamiento para validar los resultados obtenidos.

5. Recomendaciones

- Las ecuaciones de regresión obtenidas para estimar el valor de pulido residual de las mezclas de agregado son válidas para agregados con características mineralógicas similares a las del agregado evaluado en este estudio.
- En el presente estudio el agregado fue evaluado con respecto a su resistencia al deslizamiento, no debe olvidarse que también es necesario evaluar otras propiedades como desgaste de los ángulos, porcentaje de caras fracturadas, densidad y absorción etc. para asegurar que el material sea de buena calidad y posea tanto una adecuada resistencia a la fricción como mecánica.
- Realizar mediciones anuales de fricción para monitorear la evolución del valor de pulido del agregado, con la finalidad de determinar la etapa de pulido y correlacionarlas con los valores de pulido de laboratorio para determinar un modelo que ayude a estimar la resistencia al deslizamiento de la superficie de rodamiento.

6. Bibliografía

1. Liang Y Robert, Blending Proportions of High Skid and Low Skid Aggregate, Final Report, Department of Civil Engineering, University of Akron, Ohio Department of Transportation (August 2003).
2. Fu Chien N; Chen Hua, Alternate Polish Value and Soundness Specifications for Bituminous Coarse Aggregate, Report Number 7-3994, Texas Department of Transportation in cooperation with FHWA (Dec,1998)
3. Ashby Joseph T, Blended Aggregate Study Final Report, Louisiana Highway Research, Report No. FHWA/LA-80/145, (March, 1980).
4. Flores Flores Mayra, Pérez Salazar Alfonso, Garnica Anguas Paul; Análisis de especificaciones de valor de pulido para agregado; Publicación técnica No. 315; Instituto Mexicano del Transporte; Sanfandila, Qro. (2008)
5. Cuevas Colunga Ana Cecilia, Guerra Rivera Alberto Federico, Grajeda Mayoral Francisco Emilio, Mendoza Díaz Alberto; Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2007); Documento Técnico No. 41; Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro (2008).