Efecto del empaquetamiento del agregado mediante la aplicación del método Bailey en el desempeño a deformación permanente de mezclas asfálticas

Edgar J. Ibañez[1], Jahel S. Ledezma[1,*]

[1]Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos, Departamento de Civil, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

[*]sarvialedezma@fcyt.umss.edu.bo

Resumen

El ahuellamiento en mezclas asfálticas es un deterioro producido tanto por factores extrínsecos, tales como el aumento de cargas de tránsito o efectos climáticos, como por factores intrínsecos, debido al tipo de cemento asfáltico o la estructura del agregado. Siendo que este último ocupa entre el 90 a 95% del volumen total de la mezcla asfáltica, la presente investigación estudia el efecto de la aplicación del método Bailey en el empaquetamiento del agregado y su relación con el desempeño a deformación permanente. Para esto, se diseñaron cuatro mezclas empleando dos tipos de cemento asfáltico con clasificación 85/100 y 60/70, dos de ellas diseñadas de forma convencional y las otras dos con el método Bailey, las cuales posteriormente fueron ensayas en la rueda de Hamburgo.

Tras la evaluación de los resultados obtenidos, se observa que para las dos mezclas elaboradas con cemento asfáltico 85/100 fue más preponderante el tipo de cemento asfáltico elegido que el empaquetamiento del agregado, debido a que el ensayo tuvo que ser interrumpido a las 10000 pasadas porque estas alcanzaron una deformación superior a los 20mm. En cambio, respecto a las dos mezclas que se diseñaron con cemento asfáltico 60/70, fue posible evidenciar el efecto del empaquetamiento del agregado en la deformación permanente, ya que la mezcla diseñada con el método Bailey al presentar una velocidad de deformación menor no evidenció falla por stripping, tal como ocurrió con la mezcla diseñada por el método convencional, el mismo que presentó este tipo de falla a las 1600 pasadas.

Palabras clave: *Mezcla asfáltica, Deformación permanente, Método Bailey, Punto de stripping.*

Abstract

Rutting in asphalt mixtures is a deterioration caused by extrinsic factors, such as increased traffic loads or climatic effects, and by intrinsic factors, due to the type of asphalt cement or the structure of the aggregate. Since the latter occupies between 90 and 95% of the total volume of the asphalt mixture, this research studies the effect of the application of the Bailey method in the packing of the aggregate and its relationship with the behavior of permanent deformation. For this, four mixtures were designed using two types of asphalt cement with classification 85/100 and 60/70, two of them designed in a conventional way and the other two with the Bailey method, which were later tested in the Hamburg wheel.

After evaluating the results obtained, it observed for the two mixtures made with 85/100 asphalt cement, the type of asphalt cement be more predominated than the aggregate packing, because the test had to be interrupted at 10000 passes by the reason of these reached a deformation greater than 20mm. On the other hand, with respect to the two mixtures that were designed with 60/70 asphalt cement, it was possible to demonstrate the effect of aggregate packing on permanent deformation, since the mixture designed with the Bailey method, when presenting a lower deformation rate, did not present a failure due to stripping, as occurred with the mixture designed by conventional method, the same one that presented this type of failure at 1600 passes.

Key words: *Asphalt mixture, Permanent deformation, Bailey method, Stripping point.*

1. Introducción

Una mezcla asfáltica está constituida por la unión de cemento asfáltico y agregados pétreos. Cada uno de estos componentes tiene un papel fundamental en el desempeño futuro del pavimento flexible. El cemento asfáltico actúa como un material ligante vinculando los agregados pétreos, y estos a su vez, se constituyen en el esqueleto de la mezcla otorgándole resistencia, rigidez y por ende durabilidad en función a las características de su gradación (Rondon y Reyes, 2015). El adecuado desempeño de una mezcla asfáltica debe proyectarse desde su diseño en laboratorio, esto implica una idónea combinación de sus constituyentes para disminuir la ocurrencia de fallas, que entre las más comunes se tiene la falla por humedad, fatiga y deformación permanente. Este último tipo de patología es altamente dependiente de las características del agregado pétreo, el grado de trituración, forma, tamaño y granulometría, los cuales contribuyen a la fricción interna que los agregados proporcionan a la mezcla asfáltica (Garnica *et al*, 2005). Comúnmente, para el diseño de la mezcla asfáltica, la selección de la estructura del agregado utiliza criterios definidos por la faja granulométrica de la especificación técnica vigente, el mismo que asegura la densificación del material. Es así que, aportando al control de este aspecto, el ingeniero Robert Bailey basado en conceptos de trabazón y empaquetamiento, propone una relación entre la granulometría y los parámetros volumétricos que aportan a la revisión de la estructura granular (Maldonado, 2018). En este sentido, el presente estudio, evalúa experimentalmente la propuesta del método Bailey en el empaquetamiento del agregado analizando si este influye en el desempeño a deformación permanente de la mezcla asfáltica.

2. Materiales y métodos

2.1 Caracterización de los agregados pétreos

Los agregados pétreos utilizados para el desarrollo de los ensayos provienen de la cantera Parotani – Cochabamba, empleándose tres tipos de tamaño de agregados (3/4”, 3/8” y arena natural) para el diseño de las mezclas. De esta forma, los ensayos realizados para determinar las propiedades y características de los agregados pétreos se describen en la Tabla 1.

Tabla 1

Caracterización de los agregados pétreos

Ensayo	Unidad	Norma	Limite	Resultado	Verificación
Agregado Grueso					
Gravedad especifica del agregado grueso	g/cm³	ASTM C127	-	2.77	-
Abrasión de los Ángeles	%	ASTM C131	Máx 40%	30.03	Cumple
Caras fracturadas	%	ASTM D5821	Min 90%	80	No cumple
Resistencia a los sulfatos (Sanidad)	%	ASTM C2419	Máx 12%	10.58	Cumple
Agregado Fino					
Gravedad específica del agregado fino	g/cm³	ASTM C128	-	2.69	-
Equivalente de arena	%	ASTM D2419	Min 45%	86.16	Cumple

Fuente: Autores

2.2 Caracterización del cemento asfáltico

Los cementos asfálticos empleados son de procedencia peruana y se clasifican según su grado de penetración en 85/100 y 60/70. La Tabla 2 enlista los ensayos realizados, las normas empleadas y los resultados obtenidos de su caracterización en laboratorio.

Tabla 2

Caracterización del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Norma	Límite	Resultado 85/100	Resultado 60/70	Verificación
Penetración a 25°C	mm	ASTM D5	Min 60	80.92	60.67	Cumple
Peso específico del asfalto a 25°C	g/cm³	ASTM D71	-	1.022	1.052	-
Ductilidad a 25°C	cm	ASTM D113	Min 100	102.33	107	Cumple
Recuperación elástica a 25°C	%	ASTM D6084-06	-	16	5.9	-
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D36/D-36M	-	42.9	45.8	-
Punto de inflamación	°C	ASTM D92-11	-	314.6	312.6	-

Fuente: Autores

2.3 Composición granulométrica

La composición granulométrica para el diseño de las mezclas asfálticas siguió las especificaciones técnicas de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC, 2011). Se optó por la faja granulométrica "C" con un tamaño máximo de agregado de 19 mm. De este modo, se evaluaron 2 combinaciones granulométricas; la primera, para el diseño de mezclas por el método convencional y la segunda, para el diseño con el método Bailey. Cabe mencionar que ambos diseños respetan la faja granulométrica solicitada por la ABC.

La composición granulométrica para su aplicación con el método convencional empleó la siguiente combinación: 35% del banco 3/4", 30% del banco 3/8" y 35% del banco de arena natural. En tanto, la segunda combinación granulométrica a aplicarse con el método Bailey presenta los siguientes porcentajes: 27% del banco 3/4", 45% del banco 3/8" y 28% del banco de arena natural. Ambas propuestas se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Gradación de la combinación granulométrica de los diseños establecidos

Tamiz	Abertura	Grad. densa Marshall + Bailey	Grad. densa Marshall	Gradación faja "C"		Tolerancia	Gradación faja "C" + Tolerancia	
in	mm			Inf.	Sup.		Inf.	Sup.
1"	25	100	100	100	100	±7	93	107
3/4"	19	100	100	97	100	±7	90	107
1/2"	12.5	86.7	82.7	76	88	±7	69	95
3/8"	9.5	76.8	69.9	68	80	±7	61	87
N.º 4	4.8	52.7	50.5	49	59	±5	44	64
N.º 8	2	36.6	35.7	36	45	±5	31	50
N.º 16	1.2	25.3	24.6	22.6	31	±5	17.6	36
N.º 30	0.6	18.2	17.4	17.1	25.3	±5	12.1	30.3
N.º 50	0.3	12.6	11.9	10.1	16.6	±5	5.1	21.6
N.º 100	0.2	7	6.6	5.4	10.2	±3	2.4	13.2
N.º 200	0.1	3.2	3	3	7	±2	1	9

Fuente: Autores

En la Figura 1 se muestra las distribuciones granulométricas empleadas para ambas combinaciones respecto a los límites de control de la faja granulométrica "C" establecida en la normativa nacional.

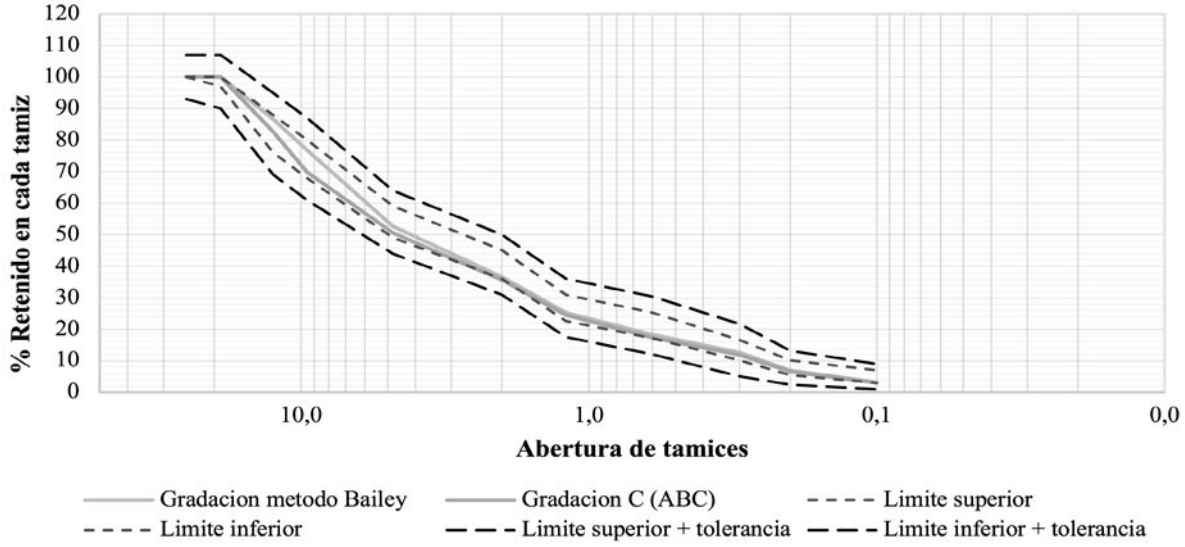

Figura 1. Curva granulométrica de las combinaciones propuestas.

2.4 Aplicación del método Bailey en el empaquetamiento del agregado

El método Bailey es un método de selección granulométrica que está directamente relacionado con las características de compactación de cada fracción de agregado, la selección estructural pétrea busca una mayor interacción de partículas de agregado de la mezcla. Este puede ser aplicado a otros tipos de dosificación de mezclas ya sea método Marshall, SUPERPAVE, Hveem etc. De esta forma, en el método Bailey los agregados gruesos se definen como partículas dispuestas en un determinado volumen, creando espacios que pueden ser ocupados por los agregados de menor tamaño los cuales se definen como agregados finos (Vavrik *et al*, 2002).

En el método Bailey el tamiz que establece la división entre agregado grueso y fino es llamado "tamiz de control primario" PCS, que se basa en el tamaño máximo nominal NMAS de la mezcla, una vez determinada la gradación, esta se divide en tres partes donde cada una se evalúa individualmente: la parte gruesa desde el NMAS hasta el PCS, el agregado fino a su vez se divide en dos partes, tamiz de control secundario SCS y tamiz de control terciario TCS. El tamiz medio HS es definido como la apertura del tamiz más cerca a la mitad del NMAS.

Posteriormente se calcula la proporción de los agregados grueso CA, proporción gruesa de los agregados finos FAc y la proporción fina de los agregados finos FAf, con los cuales se determina si la combinación de los agregados está dentro de los parámetros dados por el método Bailey. La Tabla 4 presenta los tamices de control con base en la combinación granulométrica de la faja "C".

Tabla 4

Tamices de control del método Bailey

Descripción	Unidad	Abertura del tamiz
Tamaño máximo nominal NMAS	mm	12.50
Tamiz medio HS	mm	6.25
Tamiz de control primario PCS	mm	2.36
Tamiz de control secundario SCS	mm	0.60
Tamiz de control terciario TCS	mm	0.15

Fuente: Autores

La Tabla 5 muestra los tamices de control según la granulometría definida, que se determina por medio del ensayo granulométrico y según los porcentajes estipulados para lograr una dosificación que cumpla los límites granulométricos de la faja "C".

Tabla 5

Porcentaje de los tamices de control según la granulometría definida

% Que pasa HS	60.29
% Que pasa PCS	36.58
% Que pasa SCS	18.20
% Que pasa TCS	7.02

Fuente: Autores

En la Tabla 6 se presenta las proporciones de los agregados para la mezcla cumpliendo los rangos establecidos por el método Bailey para un NMAS de 12.5 mm, donde los porcentajes establecidos cumplen los rangos propuestos por el método Bailey.

Tabla 6

Proporciones de los agregados en los rangos establecidos por el método Bailey

Rango de agregados gruesos	CA	0.50 a 0.65	0.60
Rango de agregado grueso fino	FAc	0.35 a 0.50	0.50
Rango agregado fino	FAf	0.35 a 0.50	0.39

Fuente: Autores

Aplicando el método Bailey se determinó una combinación granulométrica en la cual se establece porcentajes para cada fracción de agregado. Para el caso de la dosificación convencional se optó por una combinación granulométrica que se adapte a los límites de la faja "C", en la Tabla 7 se especifica la proporción porcentual de cada banco de agregado y las combinaciones granulométricas Bailey y convencional.

Tabla 7

Porcentaje de combinación granulométrica por bancos

Combinación	% Para cada banco de agregado			Combinación al
	3/4"	3/8"	arena	100%
Combinación granulométrica Bailey	27%	45%	28%	100%
Combinación granulométrica convencional	35%	30%	35%	100%

Fuente: Autores

2.5 Evaluación de mezclas a la deformación permanente

El ensayo de rueda de Hamburgo permite evaluar la susceptibilidad a la deformación permanente y daño por humedad en las mezclas asfálticas, usando especímenes de prueba sumergidos en agua, bajo la acción de una rueda de acero oscilante. Según la norma AASHTO (2004), las probetas elaboradas en laboratorio presentan dimensiones de 150 (mm) de diámetro y 62 (mm) de altura con una tolerancia de ± 2 (mm) para todas las medidas. Estos especímenes se elaboran en el compactador giratorio para alcanzar un índice de vacíos de 7 ± 1. Posteriormente, para realizar el ensayo en la rueda de Hamburgo, son necesarias 4 probetas, que se disponen en los moldes de ensayo sumergidos en agua a una temperatura de 50ºC. De esta forma, una rueda de acero de

203 mm de diámetro y 47 mm de espesor recorre la longitud de la muestra armada, la cual aplica una carga de 705 ± 4.5 N a una velocidad de 50 ± 5 pasadas por minuto hasta que se alcancen las 20000 pasadas o hasta que la muestra desarrolle 20 mm de deformación (AMAAC, 2011).

3. Resultados

3.1 Diseño de la mezcla asfáltica convencionales

El diseño de mezclas asfálticas convencional y Bailey se realizó mediante el método Marshall, conforme las especificaciones del Instituto del Asfalto (*Asphalt Mix Desing Methods*, 2014). La Tabla 8 presenta los resultados del diseño de las mezclas propuestas.

Tabla 8

Resultados obtenidos de los diseños de mezclas asfálticas

Parámetros volumétricos de la mezcla	Unidad	Limites		Diseño de mezclas asfálticas método Marshall			
		Min.	Máx.	60/70 Bailey	60/70 Convencional	85/100 Bailey	85/100 Convencional
Cemento asfáltico óptimo	%	---	---	6.2	5.4	5.4	5.2
Compactación por golpes	golpes	---	---	75	75	75	75
Estabilidad mínima	N	8006	---	13020.5	17656.3	14154.2	15323.3
Flujo	0.25 mm	8	16	15.6	13.7	11.3	14.4
Vacíos con aire "VTM"	%	3	5	4%	4%	4%	4%
Vacíos en el agregado mineral "VMA"	%	13	15	13.9	12.5	12.4	12.1
Vacíos llenos de asfalto "VFA"	%	65	75	71.7	68.2	74.1	67.3
Densidad	g/cm³	---	---	2324.8	2345.2	2384	2350.5

Fuente: Autores

3.2 Evaluación de la susceptibilidad a la deformación permanente

La Tabla 9 muestra un resumen de los resultados obtenidos con el ensayo de rueda de Hamburgo, donde se observa el número de pasadas de fallo para cada diseño de mezcla asfáltica, al mismo tiempo se evalúa la falla por *stripping.*

Tabla 8

Resultado de la deformación permanente según número de pasadas y fallas por stripping

Diseño	Unidad	Especímenes de prueba	Deformación a las 10000 pasadas	Deformación a las 20000 pasadas	Falla por Stripping pasadas
Bailey 85/100	mm	Rueda 1	24.712	-	5934
		Rueda 2	22.560	-	5902
Convencional 85/100	mm	Rueda 1	20.456	-	6271
		Rueda 2	20.031	-	8229
Bailey 60/70	mm	Rueda 1	10.721	19.063	-
		Rueda 2	10.046	18.119	-
Convencional 60/70	mm	Rueda 1	8.171	18.976	9617
		Rueda 2	4.604	14.780	16750

Fuente: Autores

Conforme se observa en la Tabla 9, ninguno de los diseños de mezcla asfáltica propuestos, tanto la convencional como la diseñada con Bailey, cumplen con las 20000 pasadas solicitadas por el ensayo, evidenciando en este caso la influencia en la selección del tipo de ligante en la deformación permanente, ya que al ser el cemento asfáltico 85/100 menos consistente que el cemento asfáltico 60/70, este tenderá naturalmente a deformarse mismo se mejore en empaquetamiento del esqueleto pétreo. Este hecho debe ser tomado en cuenta por las plantas municipales de Cochabamba, ya que estos emplean el cemento asfáltico 85/100 para la construcción del pavimento flexible del municipio y tal como se evidencia en el ensayo de deformación, estos presentarán fallas tempranas por ahuellamiento.

Por otro lado, observando los diseños que emplean cemento asfáltico 60/70, se evidencia que este tipo de cemento asfáltico favorece a la disminución del ahuellamiento, comparado con el cemento asfáltico 85/100, ya que en estos es posible notar el aporte del empaquetamiento del agregado, debido a que la mezcla que aplica el método Bailey presenta una velocidad de deformación menor al no presentar punto de *stripping*.

Debido a que las mezclas elaboradas con cemento asfáltico 85/100 no llegaron a las 20000 pasadas, en la Figura 2 se realiza la comparación de los cuatro diseños propuestos a las 10000 pasadas.

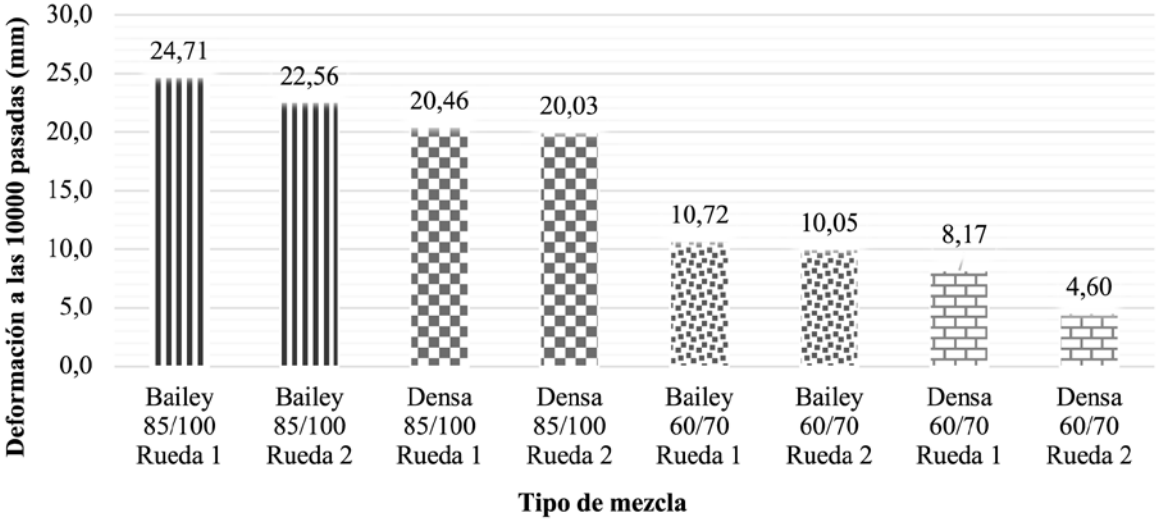

Figura 2. Deformación permanente de las mezclas asfálticas evaluadas.

Nótese en la Figura 2, al comparar los cuatro diseños propuestos, las mezclas elaboradas con asfalto 85/100 no cumplen con el requisito de deformación menor a los 20 mm incluso a las 10000 pasadas (mitad del ensayo de deformación), aspecto que debe ser considerado seriamente por las plantas de asfalto municipales del departamento de Cochabamba para un cambio de sus especificaciones.

4. Conclusiones

Tras las pruebas realizadas en el presente estudio se concluye que mismo ocupando el agregado pétreo entre el 90 al 95% del volumen de una mezcla asfáltica, no es suficiente mejorar el empaquetamiento del mismo en vistas a un incremento de la resistencia a deformación permanente, si el diseño emplea un cemento asfáltico de poca consistencia, tal como se evidencia en los diseños elaborados con cemento asfáltico 85/100.

El método Bailey que evalúa el empaquetamiento del agregado contribuye a la disminución de la velocidad de deformación, aspecto que se evidencia en el diseño de la mezcla asfáltica 60/70 que aplica este método, ya que este no presenta falla por *stripping*, a diferencia de la mezcla asfáltica 60/70 diseñada por el método convencional.

5. Recomendaciones

Se recomienda a las plantas de asfalto municipales del departamento de Cochabamba cambiar el tipo de cemento asfáltico 85/100 a uno de mayor consistencia, debido a los altos niveles de ahuellamiento que este induce en el diseño de una mezcla asfáltica, en vistas a mejorar el desempeño del pavimento flexible de la ciudad.

Agradecimientos

Agradecimiento especial al Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos y a la fundación SWISSCONTACT por brindar los medios necesarios por los cuales fue posible ejecutar este proyecto.

6. Referencias bibliográficas

AASHTO. (2004). *AASHTO T 324: Standard Method of Test for Hamburg Wheel Tracking Testing of Compacted Hot Mix Asphalt.* USA: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ABC. (2011). *Manual de especificaciones técnicas de construcción.* Bolivia: Administradora Boliviana de Carreteras.

AMAAC. (2011). *Susceptibilidad a la humedad y a la deformacion permanente por rodera con el analizador de rueda cargada de Hamburgo (HWT), en una mezcla asfaltica compactada.* Mexico: Asociacion Mexicana del Asfalto, A.C.

Asphalt Mix Desing Methods. (2014). *Asphalt Mix Desing Methods* (Vol. Seventh Edition). USA.

ASTM D4867/ D4867M. (2004). *metodo de prueba estadar para efecto de la humedad en mezclas de pavimento de hormigon asfaltico.*

Rondon Quintana H. A. , Reyes Lizcano F. A. (2015). *PAVIMENTOS: Materiales, Construccion y Diseño.* Bogotá: Macro.

Invias. (2013). *Especificaciones generales de construccion de carreteras.* Colombia.

Maldonado, D. A. (2018). *Influencia del Empaquetamiento de los Agregados sobre la Resistencia a la Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas.* Popayán: Universidad del Cauca.

Garnica Anguas P., Delgado Alamilla H., Sandoval Sandoval C. D. (2005). *Análisis de varianza del efecto de algunos factores que influyen en la deformación permanente de mezclas asfálticas.* Querétaro: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Vavrik, W., Huber, G., Pine, W., & Carpenter, S. (Octubre de 2002). Metodo Bailey para la seleccion de granulometrias para el diseño de mezclas en caliente. *TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR*.