

Evaluación del contenido del agua atrapada en mezclas asfálticas en caliente

1^{er} Autor Ing. Luis Guillermo Loría Salazar
Coordinador Laboratorio de Infraestructura Vial
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LANAMME
Universidad de Costa Rica
Apartado 2060
Costa Rica
TELS: (506) – 2075423, (506)-2074396, (506)-207-4382
Fax: (506)-2074440, (506)-207-4442

Investigadores Asociados

Ing. Mario Arce Jiménez
Coordinador PITRA
LANAMME

Ing. Mónica Jiménez Acuña
Coordinadora del Laboratorio de Mezclas Bituminosas
LANAMME

Quím. Luis Diego Moreira
Coordinador del Laboratorio de ligantes asfálticos y tecnología SHRP
LANAMME

Ing. Fabián Elizondo Arrieta
Coordinador del Laboratorio de SUPERPAVE
LANAMME

Breve currículum

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar

Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 1998

Coordinador Unidad de Estudios Especiales, PITRA-LANAMME, 1999-2001

Consultor en el proyecto "Nuevo Modelo de Control de Plantas Asfálticas", Convenio MOPT-FUNDEVI, 1999-2000

Consultor en el proyecto "Nuevo Modelo de Pago en Función de la Calidad", Convenio MOPT-FUNDEVI, 1999-2000

Consultor Manual Centroamericano de Construcción de Carreteras y Puentes, SIECA-LANAMME, 2000-2001

Coordinador del Laboratorio de Infraestructura Vial, LANAMME, 2001-2003

Profesor Universidad de Costa Rica, 2000-2003

Evaluación del contenido de agua atrapada en mezclas asfálticas en caliente

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar,

Coordinador del Laboratorio de Infraestructura Vial, LANAMME

Resumen

En los últimos 18 meses la inspección de plantas y la auditoría de procesos del LANAMME detectó un caso en particular en dos plantas asfálticas ubicadas en sitios distintos, que en forma esporádica, producían mezcla asfáltica que mostraba una apariencia como de ebullición y se deslizaba en el momento de ser compactada. Esto causó interés respecto de la causa de este fenómeno, así como respecto de los posibles cambios en las propiedades de la mezcla asfáltica.

En general la bibliografía internacional recomienda un porcentaje máximo de contenido de agua atrapada en la mezcla de 0.5% (por peso de mezcla), lo cual parece que para las condiciones climáticas de Costa Rica no aplica adecuadamente debido a que todas las mezclas con apariencia ebullante cumplían sin problemas tal requisito y en el sitio de obra presentaban problemas para ser compactadas

Mediante esta investigación se determinó un valor inicial de normativa para el contenido de agua atrapada en la mezcla, basado en una amplia cantidad de muestras analizadas. El método de ensayo empleado para determinar el contenido de agua atrapada fue el ASTM D 1461.

1. Introducción

Como punto de partida para la investigación se empezó por analizar con detalle en cuatro plantas asfálticas el control del contenido de humedad de los apilamientos, el control del porcentaje de absorción agua de los agregados y el proceso de secado en el tambor mezclador.

El problema de la mezcla con apariencia ebullante se originaba por dos causas, falta de recubrimiento de los apilamientos (especialmente crítico con agregados finos absorbentes y en la época de lluvias) y en un insuficiente proceso de secado de los agregados.

En virtud de que encontramos mezclas con menos del 0.5% de agua atrapada y a pesar de ello presentaban el fenómeno de ebullición, se decidió emprender una investigación para adecuar dicho límite a las condiciones locales.

También propuso analizar cuáles eran las principales variables dentro del proceso productivo en la planta asfáltica que inciden directamente en el valor remanente del contenido de agua atrapada en la mezcla.

El estudio comprende el análisis de mezclas densas producidas en las siguientes plantas asfálticas:

Tabla No.1: Plantas asfálticas analizadas

Centro de producción	Marca	Capacidad	Tipo
1	ASTECC	160 ton/hr	Contraflujo (doble barril)
2	ASTECC	160 ton/hr	Contraflujo (doble barril)
3	ADM	160 ton/hr	flujo paralelo
4	ADM	160 ton/hr	flujo paralelo

Algunos problemas que puede tener una mezcla con contenido de agua (que se especificarán más adelante) son los siguientes

- La mezcla no alcanza los niveles de compactación especificados.
- La mezcla se desplaza al intentar compactarla.
- Disminuye la resistencia al efecto del agua (resistencia retenida) y consecuentemente, pierde resistencia ala fatiga.

El ensayo ASTM D 1461 determina el contenido de agua atrapada entre el agregado y la película de asfalto que lo recubre.

Según datos del Ing. Dwight Walker¹, P.E, el contenido de agua típico para las plantas en Estados Unidos ronda del 0.03% al 0.06%.

1.1 Esquema metodológico

Para cada una de las plantas en estudio se tomó una muestra por semana de agregado de cada apilamiento y de mezcla asfáltica a la salida del tambor con el propósito de determinar en cada caso el contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica, la humedad de los apilamientos y el contenido de absorción de agua de cada fracción de la granulometría. La determinación del contenido de agua atrapada en la mezcla se efectuó mediante la norma ASTM D 1461.

El período de análisis de esta primera etapa inicia el 19 de agosto de 2002 y finaliza el 22 de mayo de 2003.

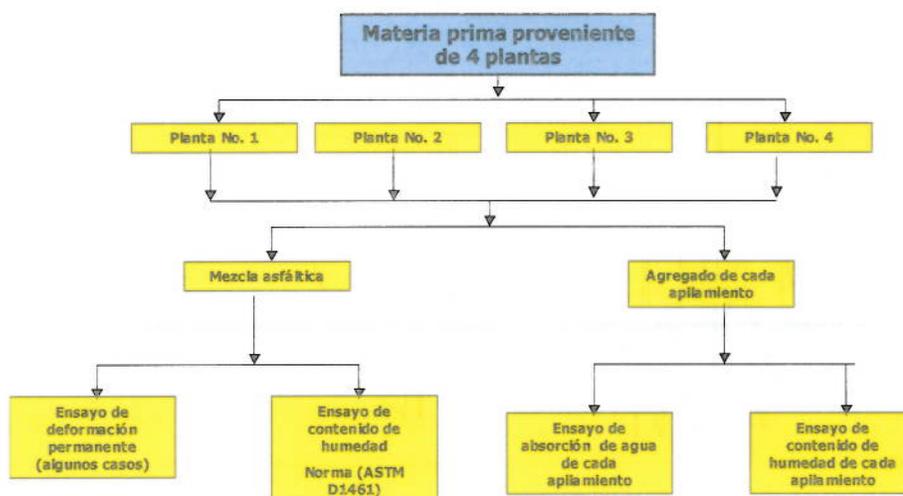


Figura No. 1: Esquema metodológico

2. Análisis de resultados de ensayo para las muestras tomadas de cada una de las plantas asfálticas: Contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica, porcentaje de absorción de agua del agregado y contenido de agua de los apilamientos.

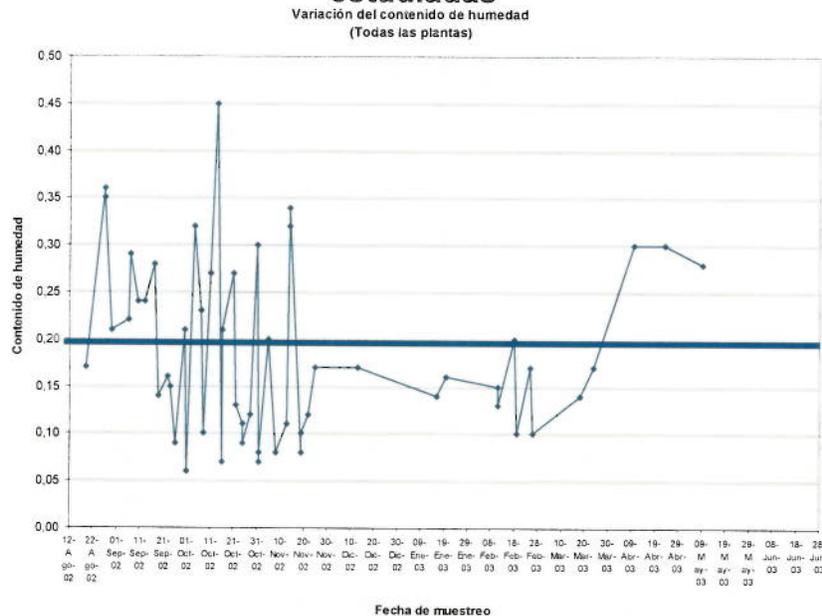
La Tabla No.2 presenta el promedio y desviación estándar general para las 58 muestras analizadas en todas las plantas.

Tabla No.2: Promedio y desviación estándar general para todos los casos analizados.

Planta asfáltica	% absorción combinado	Contenido de humedad de apilamientos combinado	Contenido de humedad de la mezcla	Defomración permanente (mm)
Promedio general	2,36	2,90	0,21	2,66
Desv. est. General	0,37	1,76	0,16	0,60
Valor máximo	3,27	5,89	1,17	3,78
Valor mínimo	1,75	0,00	0,06	1,94
No. de datos	53	29	54	15

De la tabla No. 2 se puede concluir que el promedio general para las 54 muestras estudiadas es de 0.21% de contenido de agua atrapada, con una desviación estándar de 0.16. Sin embargo, este resultado no debe dejar de lado el considerar algunos valores muy altos determinados en este estudio, a saber 0.45%.

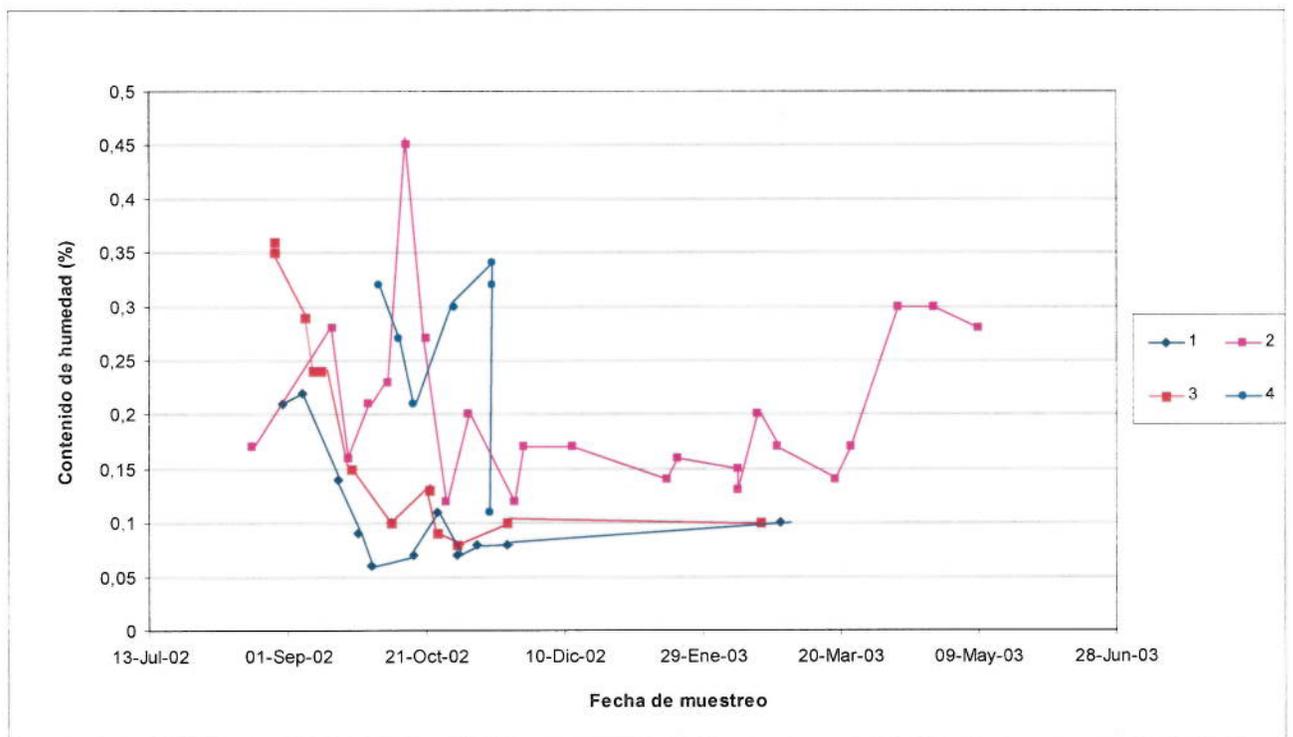
Gráfico No. 1: Variación del contenido de agua para todas las muestras estudiadas



Del gráfico anterior se puede observar que durante el periodo analizado, se presentaron variaciones importantes del contenido de agua atrapada, que no corresponden a un patrón fijo sino que se asocia mas con las condiciones propias del proceso de producción de cada planta asfáltica. Sin embargo, en la mayoría de los casos dicho parámetro es inferior al 0.20%.

El promedio general se aproxima mediante la línea azul.

Gráfico No. 2: Variación del contenido de agua atrapada para cada una de las cuatro plantas asfálticas estudiadas



En las tablas No. 3, 4, 5 y 6 se muestran resumidos los resultados individuales para cada planta, incluido el rango de variación y el rango en que varía cada parámetro con un intervalo de confianza del 98%.

Tabla No. 3: Resumen de resultados y bandas de trabajo para la planta No. 1

Planta No. 1			
Banda de trabajo	Resultados LANAMME		
	Absorción de los agregados (%)	Contenido de humedad de apilamientos (%)	Contenido de agua de la mezcla (%)
Promedio	2,39	4,56	0,11
Desviación estándar	0,33	1,17	0,05
Límite inferior al 98% de confianza	1,74	2,22	0,00
Límite superior al 98% de confianza	3,04	6,90	0,22
Rango de variación	1,30	4,69	0,21
Valor máximo	2,90	5,53	0,22
Valor mínimo	1,75	2,98	0,08
No de datos	12	5	12

Tabla No. 4: Resumen de resultados y bandas de trabajo para la planta No. 2

Planta No. 2			
Banda de trabajo	Resultados LANAMME		
	Absorción de los agregados (%)	Contenido de humedad de apilamientos (%)	Contenido de agua de la mezcla (%)
Promedio	2,21	1,78	0,25
Desviación estándar	0,25	0,66	0,22
Límite inferior al 98% de confianza	0,00	0,46	0,00
Límite superior al 98% de confianza	2,71	3,10	0,68
Rango de variación	2,71	2,64	0,68
Valor máximo	2,78	3,00	1,17
Valor mínimo	1,76	0,80	0,12
No de datos	24	17	23

Tabla No. 5: Resumen de resultados y bandas de trabajo para la planta No. 3

Planta No. 3			
Banda de trabajo	Resultados LANAMME		
	Absorción de los agregados (%)	Contenido de humedad de apilamientos (%)	Contenido de agua de la mezcla (%)
Promedio	2,48	4,54	0,19
Desviación estándar	0,44	0,20	0,10
Límite inferior al 98% de confianza	1,58	4,14	0,00
Límite superior al 98% de confianza	3,35	4,95	0,40
Rango de variación	1,77	0,81	0,40
Valor máximo	3,27	4,69	0,36
Valor mínimo	1,86	4,40	0,08
No de datos	10	3	12

Tabla No. 6: Resumen de resultados y bandas de trabajo para la planta No. 4

Planta No. 4			
Banda de trabajo	Resultados LANAMME		
	Absorción de los agregados (%)	Contenido de humedad de apilamientos (%)	Contenido de agua de la mezcla (%)
Promedio	2,66	5,68	0,26
Desviación estándar	0,47	0,29	0,08
Límite inferior al 98% de confianza	1,72	5,08	0,10
Límite superior al 98% de confianza	3,60	6,24	0,42
Rango de variación	1,88	1,16	0,32
Valor máximo	3,23	5,89	0,34
Valor mínimo	2,07	0,00	0,11
No de datos	7	4	7

Tabla No.7: Variación del porcentaje de absorción de agua del agregado

Parámetros estadísticos	Absorción (%)			
	Agregado grueso	Agregado intermedio	Agregado fino	Combinado
Promedio general	1.75	1.82	3.42	2.36
Desv. Est. General	0.14	0.21	0.79	0.37
No. de datos	53.00	53.00	53.00	53.00
Rango sup general al 90%	1.92	2.08	4.38	2.80
Rango sínf general al 90%	1.57	1.56	2.46	1.91

* Agregados combinados según el diseño de mezcla.

Al analizar los resultados particulares para cada una de las plantas se pueden determinar algunos aspectos relevantes, como los indicados a continuación:

- El porcentaje de absorción de agua de los agregados combinados (conforme al diseño de mezcla) tiene variaciones importantes a lo largo del tiempo, lo cual se comprueba en las tablas de rango de variación. El principal contribuyente en esta variación es la fracción fina de la granulometría (según tabla No.7), cuyo rango de variación porcentual al 90% de confianza es de 2.46%, el cual es 3 veces mayor al rango de variación de la absorción del agregado grueso y 2 veces mayor que el rango de variación del agregado intermedio.
- El rango de variación menor del contenido de agua atrapada en la mezcla para una de las plantas asfálticas estudiadas fue de 0.21%. El rango de variación mayor fue de 0.68%, para la planta.
- Los rangos de variación del contenido de humedad de los apilamientos denotan la forma cómo este pasa directamente afecta por la lluvia, lo que implica que para mejorar el proceso de producción, conviene proteger los apilamientos de la lluvia (especialmente la fracción fina) y llevar más riguroso (constante) control del agua en los apilamientos, para ajustar correctamente el peso del asfalto a incorporar en la mezcla. Circunstancia que no aplica para la planta de bache.
- En el caso de la planta No. 4, se presentan los valores mayores de contenido de humedad de los apilamientos. Circunstancia que demanda un mejor control del proceso de producción, así como mayor consumo de energía para secado.

4. Análisis por percentiles de los resultados de contenido de humedad

Se utilizó el análisis por percentiles como criterio estadístico para valorar un posible rango de especificación de contenido de agua atrapada, considerando además el agua que contenían las muestras que presentaban el fenómeno de ebullición.

Considerando las grandes diferencias entre los valores de contenido de agua atrapada que se obtuvieron, dicho análisis se efectuó a todo el conjunto de muestras tomadas y también a cada una de las plantas individualmente.

Tabla No.8: Análisis por percentiles para todas las muestras.

Rango del percentil (%)	Valor del contenido de agua (%)
30	0.12
60	0.20
85	0.30
100	0.45

De la tabla anterior se puede determinar que para todo el espectro de resultados analizados el 85% tiene un valor inferior de contenido de agua atrapada a 0.30%, lo cual es muy inferior al valor de especificación nacional de 1.0%.

Este valor sirve de base para efectuar una modificación en la normativa nacional que además de ser técnicamente viable, garantiza la calidad de la mezcla desde la perspectiva del contenido de agua que queda entre el agregado y la película de ligante.

Tabla No.10: Percentiles del agua atrapada para cada planta analizada.

Planta	Percentil (%)	Valor del contenido de agua (%)
Planta No.1	30	0.07
	60	0.09
	85	0.14
	100	0.22
Planta No. 2	30	0.16
	60	0.20
	85	0.28
	100	0.45
Planta No. 3	30	0.10
	60	0.19
	85	0.32
	100	0.36
Planta No. 4	30	0.20
	60	0.28
	85	0.31
	100	0.32

En el caso de las plantas No. 1 y No.2, el rango de análisis de percentil del 85% presenta valores inferiores a 0.3%, valor muy inferior a la especificación del país.

Nótese que prácticamente todas las plantas cumplen en el percentil 85 (el valor de 0.30% , límite sugerido), excepto en la 3 y 4, que ligeramente sobre pasa el límite en 0.01% y 0.02%, lo que demuestra la factibilidad técnica de cumplir con el límite de 0.30%. También cabe señalar que es precisamente en las plantas 3 y 4 donde se ha presentado el fenómeno de ebullición de la mezcla, en consecuencia el límite de 0.30%, es también garantía de calidad en el sentido de que por debajo

de dicho límite no se presentará tal fenómeno, que como se dijo es indicativo de pérdida de calidad de la mezcla asfáltica.

5. Análisis de varianza para el contenido de agua atrapada

Con el objetivo de determinar cuáles son los principales factores que afectan el contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica, se ha efectuado un análisis de varianza. En dicho análisis

Las siguientes son las variables consideradas en el análisis de varianza son las siguientes:

- Contenido de humedad promedio de los apilamientos
- Porcentaje de absorción de agua de los agregados
- Planta asfáltica particular (proceso de secado)

Los resultados del análisis de varianza se muestran a continuación:

Tabla No.11: Significancia estadística para cambios en el contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica (*)

Efecto sobre contenido de agua atrapada	Contenido de humedad de los apilamientos	Porcentaje de absorción de agua del agregado	Planta asfáltica (efecto del proceso de producción)	Interacción
	NO	NO	SI (**)	NO

(*) Análisis de variancia llevado a cabo para cada fuente de agregado, con un nivel de confianza estadística del 90%

(**) Efectos significativos con un nivel de confianza estadística de más de 99 %.

El análisis anterior se efectuó tanto para todo el rango de muestras ensayadas así como para una de las plantas estudiadas y el resultado fue el mismo.

Por lo tanto, se demuestra con un 90% de confianza que el contenido de agua atrapada en la mezcla no se ve directamente afectado ni por el contenido de humedad de los apilamientos ni por el porcentaje de absorción de agua los agregados, sino que el factor

directamente de la calidad de agua atrapada en la mezcla es la calidad con que se lleva a cabo el proceso de producción en cada planta en particular, tanto en apilamiento, como en el proceso de secado.

También se determina que la interacción entre estos factores no es determinante en el contenido de agua atrapada, lo cual reafirma la condición anterior.

7. Conclusiones y recomendaciones

En cuanto a la variación del contenido de humedad de los apilamientos, el porcentaje de absorción de agua del agregado y su efecto en el contenido de agua atrapada de la mezcla asfáltica, se puede concluir lo siguiente:

- Se encontró un rango de variación muy alto del contenido de agua en la mezcla, oscilando éste entre 0.1% y 0.4%.
- Coincidió que las plantas que presentaron el fenómeno ebullición en la mezcla asfáltica fueron las que presentaron los valores más altos de contenido de agua atrapada.
- El porcentaje de absorción de agua del agregado fino en las distintas plantas estudiadas es el factor que mayor variación tiene. Esta propiedad afecta también el potencial de absorción de asfalto, lo cual afectará otras propiedades de la mezcla asfáltica.
- La alta variación del contenido de humedad de los apilamientos en dos de las plantas estudiadas demuestra la necesidad de que las plantas cuenten procesos de producción bien controlados, porque si los apilamientos no se cubren de la lluvia, provocan altas variaciones en su contenido de humedad y además requieren de ajustes permanentes en el proceso de secado.

Para el análisis por percentiles se determinó lo siguiente:

- El límite de especificación de 0.30% de agua atrapada, además de ser técnicamente viable, conlleva la no ocurrencia del fenómeno de ebullición, y lo más importante, determina una mezcla.
- Las plantas cuyas mezclas no presentaron el fenómeno de ebullición, presentaron un percentil 85 por debajo de 0.30% de agua atrapada, en los dos casos que sí se observó dicho fenómeno, también presentaron los porcentajes más altos de agua atrapada.

En cuanto al análisis de varianza que se realizó para determinar el efecto del contenido de humedad de los apilamientos, el porcentaje de absorción de agua de los agregados y el proceso de producción, se determinó lo siguiente:

- El contenido de humedad de los apilamientos y el porcentaje de absorción de agua del agregado no evidencian (con un 90% de confianza) ser significativos en el contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica.
- El factor determinante en el contenido de agua atrapada, con un 98% de confianza estadística es el proceso de secado de la planta asfáltica que requiere ajustarse a la condición de humedad de los apilamientos.

Las conclusiones aquí expuestas se refieren al marco experimental ya explicado en cuanto a los tipos de agregados, ligantes asfálticos analizados y plantas asfálticas estudiadas. No se deben extrapolar estos resultados para el caso de agregados con otros índices de absorción, especialmente si se trata de absorciones muy bajas o muy altas.

8. Bibliografía

- Asphalt Institute, **Superpave Asphalt Binder Specification**
Asphalt Institute, 1998
- Asphalt Institute, **Superpave Mix Design (SP-2)**
Asphalt Institute, 2001
- Asphalt Institute, **The Asphalt Handbook**
Asphalt Institute, 1989
- Brown Stephen, **The Shell Bitumen Handbook**
Editorial Shell Bitumen, 1990
- Corona Ballesteros, **Glosario Especializado de Terminología Asfáltica.**
Asociación Mexicana del Asfalto,
Editorial Asociación Mexicana de Asfalto, 2002
- Kandhal. Roberts otros, **Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction**
NAPA, 1996
- Walker, Dwight, **Control de calidad en el proceso de producción de mezcla asfáltica**
Asphalt Institute, 2002

