

## I. INTRODUCCIÓN

La compactación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) consiste en un proceso de compresión de un volumen de mezcla suelta a un volumen menor de mezcla compactada denominada carpeta asfáltica (US Army Corps of Engineers, 2000). Con esta operación se busca presionar las partículas de agregados recubiertas con ligante asfáltico para reducir el espacio ocupado por los vacíos de aire en la mezcla, logrando la densificación del material (aumento de la densidad y reducción de las cavidades entre partículas pétreas) denominado "carpeta asfáltica de ruedo".

Este proceso se efectúa para brindarle a la carpeta asfáltica una mayor durabilidad y resistencia a los agentes atmosféricos (agua, aire y sol) durante la etapa de servicio. Los vacíos en una mezcla compactada están interconectados y, por lo tanto, permiten la entrada de aire y agua en el pavimento. El aire y el agua transportan oxígeno, lo que a su vez acelera la oxidación del ligante asfáltico en la mezcla, lo que hace que se vuelva quebradizo al rigidizarse el asfalto.

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta durante el proceso de compactación son las condiciones ambientales (temperatura ambiente, humedad, viento), la temperatura de la mezcla asfáltica, el espesor de la carpeta, la composición volumétrica de la mezcla, la densidad inicial y la capacidad de la fundación (base, subbase y subrasante).

Otro factor que puede afectar el proceso de compactación de la carpeta asfáltica es la condición geométrica de la carretera, tal como: la pendiente, el peralte, el radio de curva y la condición inicial de la regularidad superficial, entre otras condiciones. Por último, los equipos de compactación utilizados, el tipo, el tonelaje, los patrones de compactación, la cantidad de pasadas, la frecuencia y amplitud aplicadas al tambor, la presión de las llantas, entre otra diversidad de factores que también deben ser considerados durante el proceso de compactación.

La duración final (desempeño) de la mezcla asfáltica está directamente influenciada por la densidad inicial de la MAC en sitio; por lo tanto, entre más efectiva sea la compactación, mayor será el período de servicio de la carpeta asfáltica.

Finalmente, aunque se presume que el proceso de compactación parece ser bastante simple y directo es un procedimiento que requiere habilidad y conocimiento por parte de los operadores de los rodillos y del personal que lleva el control de densidad. Ambos deben tener una comprensión profunda de la mecánica de compactación y los factores que afectan el esfuerzo de la misma.

Es por ello que en esta primera entrega se abarcan aquellos aspectos que están asociados a factores ambientales y aspectos físicos particulares de las mezclas asfálticas que, durante el proceso de compactación en el sitio de obra, afectan significativamente este proceso. En una posterior entrega se abarcarán aquellos aspectos relacionados con los equipos de compactación y condiciones geométricas de la carretera.

## II. FACTORES FÍSICOS Y AMBIENTALES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN

### 1. Composición de la Mezcla

El grado del ligante<sup>1</sup> (clasificación PG), la angularidad y el tamaño máximo del agregado, el contenido de relleno mineral (malla 200), la cantidad de asfalto y el contenido de vacíos de aire de la mezcla están estrechamente relacionados con la capacidad de compactación de la mezcla y por ende, del desempeño de la MAC. Para estructuras de pavimento delgado<sup>2</sup>, el aumentar la rigidez del ligante asfáltico provoca la disminución de la resistencia a la fatiga, por el contrario, para estructuras de pavimento grueso<sup>3</sup> entre mayor sea la rigidez del ligante, mayor será la resistencia a la fatiga.

A medida que aumenta el tamaño máximo del agregado o incrementa el porcentaje de agregado grueso en la mezcla, la capacidad de trabajo disminuye y se requiere un mayor esfuerzo o energía de compactación para alcanzar la densidad requerida. Las mezclas que se producen a partir de agregados angulosos, requieren un mayor esfuerzo de compactación, resultando en una mezcla más estable que una mezcla con agregados más redondeados y, por lo tanto, más fácil de compactar.

El contenido de finos o de relleno mineral en la mezcla también afecta el proceso de compactación. La combinación de finos y asfalto (denominado mastic) proporciona la fuerza de unión en los pavimentos asfálticos; por lo tanto, la mezcla debe contener suficientes finos para combinarse con el asfalto y producir la cohesión necesaria cuando la mezcla se enfría. Por el contrario, si una mezcla contiene demasiados finos, se volverá "pegajosa" y muy difícil de compactar.

Las partículas planas o alargadas tienden a romperse durante la compactación, es por ello que habitualmente se establece que el espesor mínimo de la carpeta asfáltica sea al menos de 3 veces el tamaño máximo del agregado.

La fricción interna de las partículas de los agregados, la gradación de la mezcla y la viscosidad del asfalto se deben utilizar para establecer la temperatura real de compactación. Por lo tanto, este valor de temperatura, puede cambiar si alguno de estos factores cambia.

### 2. Condiciones ambientales

Factores ambientales tales como una baja temperatura ambiental, alta humedad, vientos fuertes y superficies de colocación frías, reducen el tiempo disponible en el que debe realizarse la compactación, ya sea por efecto individual o en combinación de dichos factores. La velocidad a la que se enfría la MAC afecta el lapso durante el cual se debe alcanzar la densidad pretendida.

Para que una mezcla se compacte correctamente, el asfalto debe ser lo suficientemente fluido para permitir que las partículas de agregados se muevan una sobre la otra, de manera que actúe como lubricante durante la compactación. A medida que la mezcla se enfría, el asfalto pierde fluidez (se vuelve más espeso) y se vuelve más rígido. La mayoría de las mezclas asfálticas se compactan con bastante facilidad si se extienden y se compactan a temperaturas que aseguren la viscosidad adecuada del asfalto.

La compactación solo puede ocurrir mientras el asfalto sea lo suficientemente fluido para actuar como lubricante. Cuando se enfría lo suficiente como para actuar como adhesivo, es extremadamente difícil lograr una compactación adicional. El mejor momento para densificar una mezcla de asfalto es cuando su resistencia para ser compactada es mínima, mientras que al mismo tiempo la carpeta es capaz de soportar el rodillo sin empujar excesivamente.

Si la mezcla se encuentra a la temperatura de compactación<sup>4</sup>, un aumento del espesor en la película de asfalto aumenta el efecto lubricante del asfalto y, hasta cierto punto, facilita la compactación. Sin embargo, un exceso de asfalto puede provocar que la mezcla esté "en la fase húmeda", lo que le permite empujar debajo de los rodillos y, por lo tanto, es difícil de compactar a la densidad requerida.

<sup>1</sup> Para cambiar el grado PG del asfalto se utiliza la modificación del asfalto con polímero.

<sup>2</sup> Se consideran estructuras de pavimento delgado aquellas cuyo espesor de carpeta asfáltica sea menor a 10 cm.

<sup>3</sup> Se consideran estructuras de pavimento grueso aquellas cuyo espesor de carpeta asfáltica es mayor a 10 cm.

<sup>4</sup> Las mezclas producidas con asfaltos modificados con polímeros tienden a enfriarse más rápidamente, que una mezcla asfáltica producida con asfalto convencional.

La temperatura a la que se extiende y densifica una mezcla de asfalto afecta tanto a la trabajabilidad, como a la capacidad de compactación, así como al tiempo que tarda la mezcla en enfriarse por debajo de una temperatura mínima viable a la que normalmente tiene lugar la densificación. De acuerdo con la experiencia internacional, tal como se mencionará más adelante, esta temperatura mínima viable para el caso de mezcla asfáltica convencional, ronda los 90°C. La operación de compactación completa debe terminarse antes de que la temperatura de la mezcla sea inferior a la temperatura viable.

En un proceso de colocación estrictamente controlado, en el momento en que la mezcla asfáltica se extiende con pavimentadora, en principio, la temperatura de la mezcla debería tender a ser uniforme en todo el espesor de la carpeta. Sin embargo, las partes superior e inferior de la capa se enfrían más rápidamente que el interior porque están en contacto con el aire y la superficie donde se coloca la mezcla.

### 3. Temperatura de la mezcla

La temperatura de la mezcla es uno de los principales factores que afectan la compactación. A nivel internacional se han realizado varios estudios sobre las velocidades de enfriamiento de las mezclas en condiciones variables de temperatura, grosor de espesor y temperatura de la superficie de la base sobre la que se extiende la MAC (North Carolina Department of Transportation, 2012). La temperatura inicial de la mezcla permite establecer una estimación bastante precisa del intervalo de tiempo en el que se debe alcanzar la densidad. En la Tabla 1 se presentan diferentes condiciones de compactación para establecer el tiempo disponible para lograr una compactación satisfactoria. El tiempo permitido se puede usar para determinar la cantidad y los tipos de rodillos necesarios en el trabajo.

**Tabla 1. Disminución de la temperatura de la MAC, en función del espesor de capa y temperatura de la base**

Espesor capa	13mm	19mm	25mm	38mm	50mm	75mm
Temperatura de la base (°C)	Temperatura mínima de la mezcla colocada					
0 – 4	-	-	-	152	146	138
4 - 10	-	-	154	149	141	135
10 – 16	-	154	149	146	138	132
16 – 21	154	149	143	141	135	129
21 – 27	149	143	141	138	132	129
27 – 32	143	138	135	132	129	127
32 o más	138	135	132	129	127	124
Tiempo para compactar	4 min	6 min	8 min	12 min	15 min	15 min

Fuente: (Hot Mix Asphalt Quality Management System Manual)

Algunas reglas de trabajo que se han generado de la experiencia en las labores de compactación de las capas de mezcla asfáltica establecen que la máxima temperatura de la mezcla en el proceso de compactación es de aproximadamente 175°C, ya que temperaturas más altas pueden dañar el cemento asfáltico. Asimismo se ha logrado determinar que la temperatura más baja -a la cual aún tiene algo de efectividad la compactación- es de aproximadamente 90 °C, en donde el asfalto, en combinación con los finos en la mezcla, comienza a unir las partículas de agregados firmemente en su lugar (US Army Corps of Engineers, 2000). Por tanto, la compactación de la mezcla es extremadamente difícil una vez que la mezcla se ha enfriado por debajo de esta temperatura.

### 4. Grosor de la capa

En términos generales, es más fácil lograr la densidad requerida en una capa de mayor espesor de mezcla asfáltica, que en capas más delgadas. Esto se debe a que, cuanto más gruesa es la capa, más tiempo retiene el calor y por ende aumenta el tiempo durante el cual se puede lograr la compactación. Lo que por otro lado faculta que, para un mayor grosor de capa, se puedan utilizar temperaturas de mezcla más bajas debido a la reducida velocidad de enfriamiento.

## 5. Subrasante y base

Las subrasantes o bases granulares que soporten la mezcla asfáltica deben ser firmes y no deformarse bajo la acción de los equipos de compactación. Aquellas capas que muestren algún tipo de deformación afectarán el grado de compactación de la carpeta de mezcla asfáltica.

Para evitar o reducir el efecto, se deberá realizar algún tipo de trabajo de restauración en las capas subyacentes a la carpeta asfáltica. El trabajo podría ser la compactación de cada una de las capas o inclusive la estabilización con cal o cemento Portland, o en ciertas circunstancias, la remoción y reemplazo con un material más adecuado. Si no se realiza una acción correctiva para corregir una subrasante o base granular podría resultar difícil alcanzar la densidad requerida en el proyecto.

### III. CONDICIONES DE COMPACTACIÓN ENCONTRADAS EN FRENTES DE OBRA

El mantenimiento de las carreteras en Costa Rica se efectúa mediante los proyectos de Conservación Vial, en donde las principales actividades para la atención de las rutas de la Red Vial Nacional son el bacheo y la colocación de carpetas de mezcla asfáltica.

Con la finalidad de evaluar la efectividad de las labores de compactación de las carpetas de MAC que realizan las empresas constructoras en estas actividades se establece un caso de estudio donde se analiza un periodo de resultados de compactación emitidos por los laboratorios de verificación de calidad contratados por el CONAVI para tal fin. Se examinan los resultados de compactación correspondientes a las zonas de conservación vial activas para el primer trimestre del año 2017, tal como se muestra en la Tabla 2. Se analizaron un total de 1900 resultados de chequeos de compactación para las diferentes zonas, distribuidos de acuerdo a la Figura 1.

**Tabla 2. Distribución de zonas de Conservación Vial para cada empresa Constructora**

<b>Empresa Contratista</b>	<b>Nomenclatura de zonificación</b>
Constructora 1	Z1
Constructora 2	Z2
Constructora 3	Z3
Constructora 1	Z4
Constructora 4	Z5
Constructora 2	Z6
Constructora 5	Z7
Constructora 2	Z8
Constructora 2	Z9

Para el estudio de los resultados de compactación obtenidos para las diferentes constructoras se aplican diversos análisis estadísticos, siendo uno de ellos, la clasificación de los resultados obtenidos en un ámbito de valores entre 90% a 100%, para posteriormente representar la clasificación porcentual obtenida para cada una de las categorías en una gráfica circular: en donde la línea azul representa cada una de las categorías, el valor se presenta en color rojo y el polígono en color azul representa la mayor concentración de valores de compactación (Figuras 2, 3 y 4).

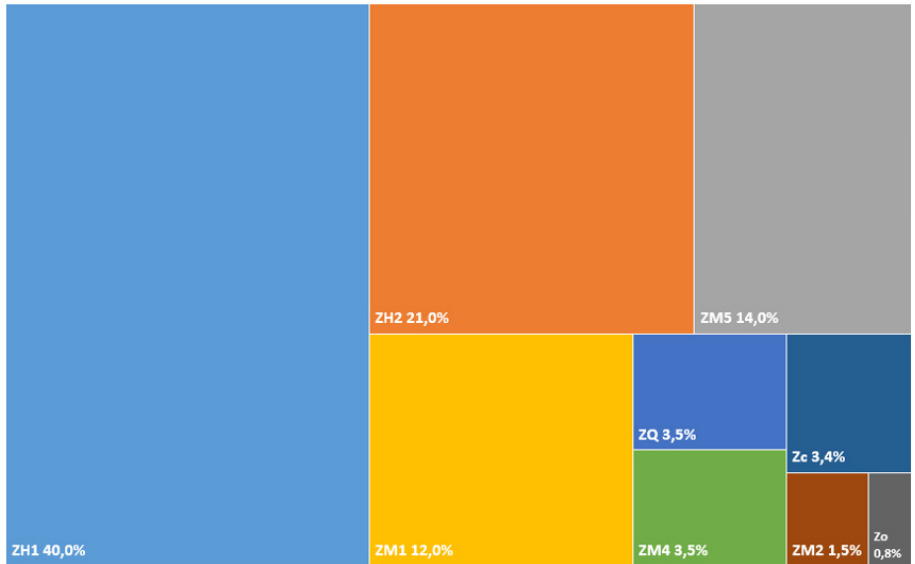


Figura 1. Distribución porcentual por zona, de todos los resultados de compactación.

De la Figura 2a, se logra determinar que para la carpeta asfáltica colocada en el sitio de obra Z9, el 74% de los resultados de compactación alcanzan entre un 94% a un 96% de densificación en sitio. Observándose la mayor concentración de datos en el parámetro de compactación de 95%.

Por su parte para la capa de ruedo colocada en el frente de obra Z6, se determina que el 88% de los resultados analizados se ubican entre un 92% a 96% de los valores de compactación, siendo la densificación de 95% la más frecuentemente lograda en los frentes de trabajo (Figura 2b).

Como se logra apreciar en la Figura 2c, el 86% de los datos tienen un valor de compactación del 96%, lo cual indica que el proceso de compactación aplicado en el frente de obra Z2 posee una alta exactitud lo cual puede indicar que el proceso de compactación y las condiciones bajo las cuales se ejecutaron las labores de compactación fueron adecuadas.

De los resultados de compactación para la carpeta colocada en el sitio de obra Z8 se determina una alta variabilidad del proceso de compactación, encontrando valores de densificación desde 91% hasta el 100%, con una concentración particular del 23% en valores cercanos al 100%, tal como se aprecia en la Figura 2d.

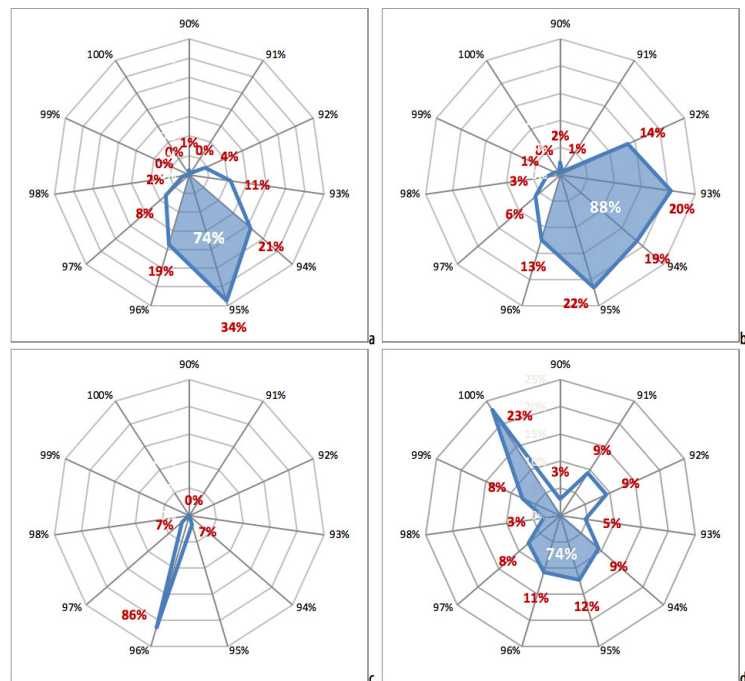


Figura 2. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para las Constructoras con las zonas a. Z9, b. Z6, c. Z2 y d. Z8.

Del análisis de las gráficas de resultados de compactación correspondientes a las carpetas de ruede de mezcla asfáltica producida por la Constructora 1, se determina que para el sitio de trabajo Z1 se tiene un 38% de concentración de valores de compactación de 90% o menos, además el restante 57% de los valores se ubican entre 91% y 94% para ensayos de comprobación de densidades tal como se presenta en la Figura 3a. Estos resultados son los menores obtenidos para todos los casos analizados.

Por su parte el proceso de compactación para la carpeta colocada en el sitio de obra Z4 determina que un 75% de los resultados de compactación son mayores al 96%, llegando a valores del 100% en donde se presenta una concentración de datos (23% de los valores) como se denota en la Figura 3b. Este hecho puede ser un indicativo de un mal uso del valor de referencia (máxima teórica) con el que se compara el nivel de compactación logrado en el lugar de construcción. También podría aducirse un intensivo uso de los equipos de compactación o equipos de mucho mayor tonelaje que los requeridos para este tipo de mezcla.

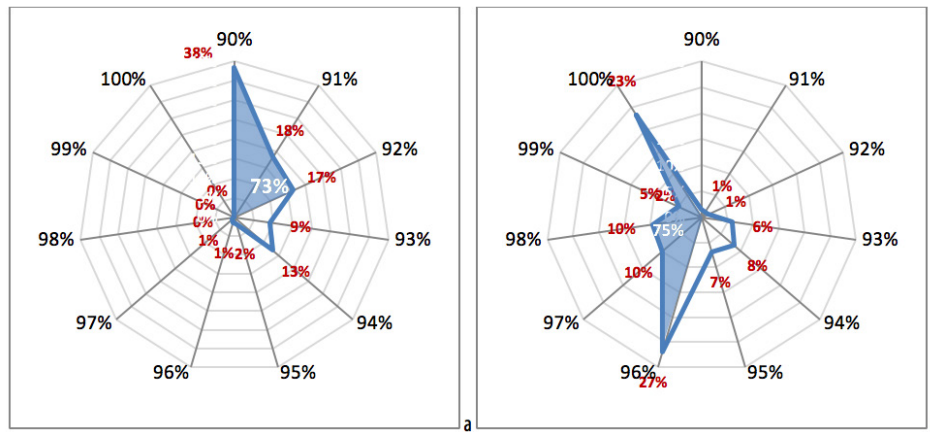


Figura 3. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la Constructoras en las zonas a. Z4 y b. Z1

De los resultados analizados para la actividad de compactación realizada en la carpeta colocada en las zonas de trabajo correspondientes a Z7 se denota que el 85% de los valores de compactación se ubican entre el 93% y el 96%, con una marcada concentración en los extremos del 27% y 38%, respectivamente como se observa en la Figura 4a.

En tanto que los valores de compactación obtenidos para la zona Z3 demuestran un proceso controlado de compactación con un 93% de los resultados con una densidad entre el 96% y 97% (Figura 4b).

Finalmente, de los valores representados en la Figura 4c se determina que el 79% de los resultados de compactación de la carpeta asfáltica colocada en el sitio Z5 tienen un valor entre el 94% y 96%.

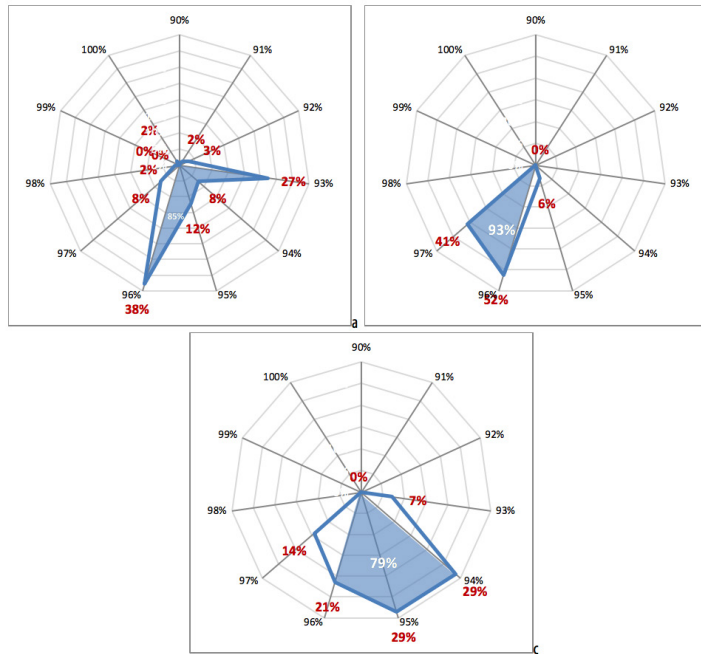


Figura 4. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada, para las zonas Z7 (Constructora 5), Z3 (Constructora 3) y Z5 (Constructora 4)

#### IV. ANÁLISIS GENERAL DE LOS RESULTADOS DE COMPACTACIÓN

La aplicación de análisis estadísticos para el estudio de los resultados de calidad es una actividad fundamental en cualquier proceso productivo pues permite conocer y predecir el nivel de calidad del producto, corregir y prevenir desviaciones y mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de producción. Las herramientas estadísticas de control de procesos evalúan la variabilidad<sup>5</sup> del proceso, estableciendo la probabilidad de cumplimiento -para un producto- con el nivel de calidad establecido en las especificaciones, como resultado de la variabilidad inherente presente en el proceso.

##### 1. Variabilidad (Dispersión)

Al analizar la uniformidad o la dispersión de los resultados obtenidos en el proceso de compactación se logra determinar que:

- Los procesos de compactación con mayor variabilidad son los mostrados por las empresas en Z8 (Constructora 2) y Constructora 1 en Z4 con los espectros de compactación más amplios de 90 hasta 100% y 93 hasta 100% y de 90 hasta 94% respectivamente, tal como se ejemplifica en color rojo en la Figura 5.
- Los procesos de compactación con la menor variabilidad son para las zonas Z2 y Z3 tal como se ejemplifica en color verde en la Figura 5, con una exactitud en la densidad del 96% y 97-98%, respectivamente para cada uno de los casos.

<sup>5</sup> La variabilidad de un proceso se puede determinar mediante la desviación estándar, la varianza, el rango o calificación Z, entre otras.



Planta	90%	91%	92%	93%	94%	95%	96%	97%	98%	99%	100%	Dsv.E
Z1	38%	18%	17%	9%	13%							2,8
Z2						7%	86%	7%				0,4
Z3								52%	41%			0,5
Z4				5%	8%	7%	27%	10%	10%	5%	23%	2,1
Z5					29%	29%	21%	14%				1,3
Z6			14%	20%	19%	22%	13%	6%				1,9
Z7				27%	8%	12%	38%	8%				1,6
Z8	5%	9%	9%	5%	9%	12%	11%	8%	3%	8%	23%	3,3
Z9			4%	11%	21%	34%	19%	8%				1,5

Figura 5. Distribución y variabilidad de porcentajes de compactación de mezcla asfáltica

## 2. Precisión

En cuanto a los datos obtenidos de la exactitud del proceso de compactación (Figura 6), se tiene que las zonas Z2 y Z5, son las más exactas. Por otro lado, las zonas Z8 y Z1 poseen menos exactitud en la obtención de los datos.

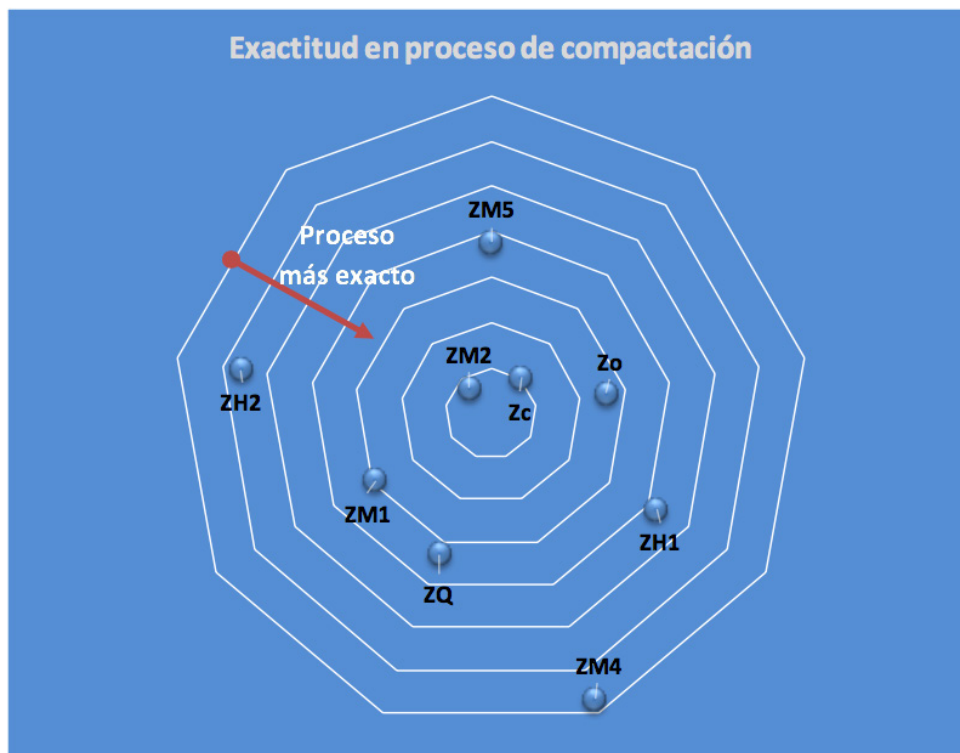


Figura 6. Exactitud en proceso de compactación en las distintas zonas.



### 3. Análisis Estadístico

Al evaluar el cumplimiento de las especificaciones establecidas en el cartel de licitación de los proyectos viales relacionados con el grado de compactación requerido para las mezclas asfálticas, se observa que la especificación vigente establece que la carpeta asfáltica debe alcanzar un valor de  $94,5\% \pm 2,5\%$  lo que establece un rango de densificación final entre 92% a 97%.

Aplicando inferencia estadística a los resultados analizados se determinan los valores representados en la Figura 7, en donde los valores mayores al 100% (zona color violeta) son meramente teóricos provenientes del análisis de inferencia. De la misma se puede establecer que la única zona que satisface las especificaciones de compactación, es la Constructora 2 en Z2, seguida de la Constructora 3 en la Z3, la cual se desvía tan solo un 0,5% en el límite superior.

Sin embargo, al aplicar un análisis estadístico de distribución normal, se observan procesos de compactación que debido a su alta variabilidad inferen valores que sobrepasarían la especificación de 100% tal como los aplicados por la Constructora 1 con un rango de compactación de 87,8% a 104,6% o el de la Constructora 2, con un ámbito de compactación de 85,5% a 105,5%.

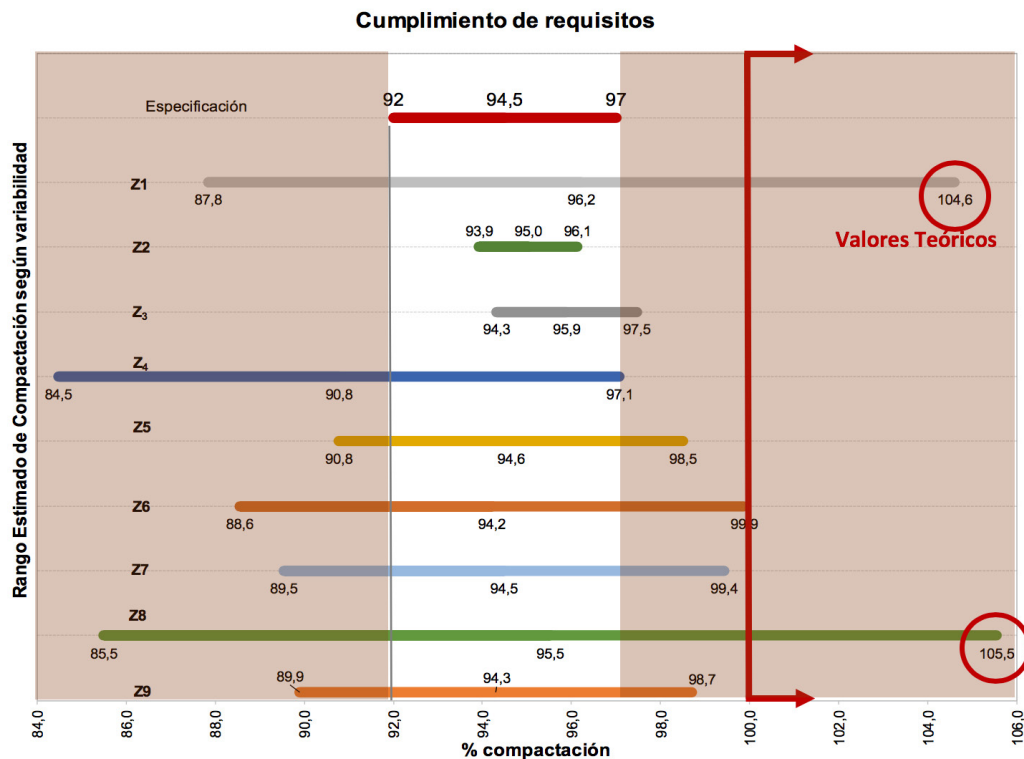


Figura 7. Cumplimiento de requisitos de compactación en las distintas zonas

## V. CONCLUSIONES

De los resultados de densificación analizados se denota que los procesos de compactación analizados por las diferentes empresas constructoras muestran:

- Dos procesos de compactación evidencian mucha precisión (amplitud<sup>6</sup> de: 3,2 y 2,2) y exactitud (promedio de: 95,9% y 95,0%) para cumplir el requerimiento establecido de  $94,5\% \pm 2,5\%$  en la especificación del proyecto.
- Tres de las empresas constructoras aplican procesos aceptables de compactación, ya que tienen una moderada variación (amplitud de: 8,8; 9,9 y 7,7) y buena exactitud (promedio de: 94,3%; 94,5% y 94,6%). Para un incumplimiento de tan solo 3,3%; 4,9% y 2,7% con respecto a la normativa.

<sup>6</sup> Diferencia entre resultado mayor y menor donde, entre más grande el número, mayor variabilidad.

- Una empresa constructora muestra un proceso de compactación con mucha variabilidad (amplitud de: 12,6) y poca precisión (promedio de: 90,8%), lo que provoca que casi un 8% de los valores no cumplan con la especificación.
- Tres procesos de compactación demuestran un control deficiente para cumplir con la especificación de compactación establecida en el contrato de Conservación Vial, ya que muestran una alta variabilidad (amplitud de: 16,8; 20,0 y 11,3), a pesar que la precisión es aceptable (promedio de: 96,2%; 95,5% y 94,2%).

Por otra parte, considerando solamente las condiciones ambientales que pueden afectar la precisión del proceso de compactación aplicado por cada una de las empresas constructoras, puede citarse la temperatura ambiental y velocidad del viento bajo las cuales fueron colocadas y compactadas las mezclas de dichas plantas. Una baja temperatura ambiental, alta humedad, presencia de vientos fuertes o inclusive superficies frías donde se extiende la mezcla asfáltica, reducen el tiempo para que pueda realizarse la compactación.

Además, existe otra serie de factores que pueden afectar el proceso de compactación tales como: la composición de la mezcla, el tamaño máximo del agregado (si este aumenta, se va a requerir un esfuerzo de compactación más alto). Por otro lado, el contenido de finos en la mezcla es otro factor a considerar en el proceso de compactación ya que, si existe una alta cantidad de finos producirá una mezcla difícil de compactar; por tal razón, se debe tener la necesaria cantidad de finos para combinarse con el asfalto y generar la adhesión necesaria. Todos estos factores pudieron afectar la compactación de las mezclas producidas por las plantas que tienen una variabilidad más alta, entre estas: Constructora 1 y Constructora 2.

En una entrega posterior, se analizarán más a fondo las condiciones de trabajo, tales como maquinaria, esquemas de compactación y otros factores, tanto los vistos en cada uno de los frentes de obra, así como criterios internacionales, que establecen aspectos que afectan el proceso de compactación de las mezclas asfálticas.

## REFERENCIAS

- Cervantes Calvo, V. H., Fonseca Chaves, F., & Sequeira Rojas, W. (2019). *LM-AT-69-19. Evaluación de los procesos de compactación de la mezcla asfáltica colocada en los Proyectos de Conservación Vial*. San Pedro de Montes de Oca, San José: Unidad de Auditoría Técnica; LanammeUCR.
- Colucci, B. (2008). *Guías Prácticas para la Colocación y Compactación Pavimentos Asfálticos*, (pág. 171).
- Dale, S. (Dirección). (Asphalt Conference and Equipe Show). *Roller Operation Today's Advanced Equipment* [Película].
- Epps, J., Fee, F., Foo, K., & all, a. e. (2011). NCHRP Report 673 "A manual for design of hot mix Asphalt". Washington D.C, USA: Transportarion Research Board.
- Finn, F., & Epps, J. (1980). *Compaction of Hot Mix Asphalt Concrete*. Texas: Texas Transportation Institute.
- JCB Sales Limited. (2017). *Rodillo Compactador JCB 116D*. Staffordshire, United Kingdom.
- North Carolina Department of Transportation. (2012). *Hot Mix Asphalt Quality Management System Manual*. North Carolina.
- Transportation Research Board. (2006). *Factors Affecting Compaction of Asphalt Pavements*. Washington, DC.
- US Army Corps of Engineers. (2000). *Hot Mix Asphalt Paving Handbook*.
- West, R., Watson, D., Turner, P., & Casola, J. (2010). *Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders in Hot Mix Asphalt*. Washington D.C: Transportation Research Board.



LanammeUCR

## LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

# PITRA

Programa de  
**Infraestructura del Transporte**

Ing. Ana Luisa Elizondo - Salas M.Sc.

*Coordinadora General*

### UNIDADES

#### Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Ing. Erick Acosta Hernández

*Coordinador*

#### Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)

Ing. Roy Barrantes - Jiménez, M.Sc.

*Coordinador*

#### Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP)

Ing. Ana Luisa Elizondo - Salas, M.Sc.

*Coordinadora a.i.*

#### Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)

Ing. Raquel Arriola - Guzmán, M.Sc.

*Coordinadora*

#### Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)

Ing. Javier Zamora Rojas, M.ScE

*Coordinador*

#### Comité Editorial 2020:

- Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc., Coordinadora General PITRA
- Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc. Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA
- Rosa Isella Cordero Solano, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación y diseño: Katherine Zúñiga Villaplana / Control de calidad: Óscar Rodríguez Quintana

Boletín técnico: PRÁCTICAS DE COMPACTACIÓN: ESTADO DEL ARTE EN PROYECTOS DE CONSERVACIÓN VIAL EN COSTA RICA / ENERO 2020

☎ (506) 2511- 2500

📄 (506) 2511-4440

🏠 11501-2060

✉ direccion.lanamme@ucr.ac.cr

🌐 www.lanamme.ucr.ac.cr