



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: LM-AT-69-19

EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE COMPACTACION DE LA MEZCLA ASFALTICA COLOCADA EN LOS PROYECTOS DE CONSERVACION VIAL.

Licitación pública No. 2014LN-000018-0CV00. Varias Zonas



Informe Final
Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

Documento generado con base en el Art. 6, inciso b) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capít.7, Art. 68 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

San José, Costa Rica
Diciembre, 2019



**INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE COMPACTACION DE LA MEZCLA
ASFALTICA COLOCADA EN LOS PROYECTOS DE CONSERVACION VIAL.
Licitación pública No. 2014LN-000018-0CV00. Varias Zonas.**

Departamento encargado del proyecto: Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, CONAVI
Empresa contratista: detalle en Tabla 2

Montos originales de los contratos: ϕ 298.482.825.960,01 (colones)

Plazo original de ejecución: 1095 días naturales

Director del Lanamme:

Ing. Alejandro Navas Carro

Coordinadora de Auditoría Técnica:

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Audidores:

Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Líder)

Ing. Francisco Fonseca Chaves (Auditor adjunto)

Asesor Legal:

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

El alcance de este informe de auditoría técnica se centró en la evaluación de los resultados de compactación emitidos por los laboratorios de verificación de la calidad del Conavi para las actividades de Conservación Vial, para el periodo comprendido entre enero a julio de 2019.



TABLA DE CONTENIDOS

1.	<i>FUNDAMENTACIÓN</i>	5
2.	<i>OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS</i>	5
3.	<i>OBJETIVOS DEL INFORME</i>	6
4.	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	6
5.	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	6
6.	<i>ALCANCE DEL INFORME</i>	6
7.	<i>METODOLOGÍA</i>	6
8.	<i>DOCUMENTOS DE PREVALENCIA</i>	7
9.	<i>DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</i>	8
10.	<i>MARCO CONCEPTUAL: IMPORTANCIA DE LA COMPACTACIÓN</i>	9
11.	<i>AUDIENCIA AL LOS AUDITADOS PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-AT-069B-19</i>	10
12.	<i>RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA</i>	11
13.	<i>HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA</i>	12
14.	<i>ÁMBITO DE COMPACTACIÓN EN SITIO</i>	12
15.	<i>NIVEL DE EXACTITUD DE COMPACTACIÓN</i>	26
16.	<i>CUMPLIMIENTO DE LA ESPECIFICACIÓN DE COMPACTACIÓN</i>	35
17.	<i>CONCLUSIONES</i>	45
18.	<i>RECOMENDACIONES</i>	46
19.	<i>REFERENCIAS</i>	47



INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE COMPACTACION DE LA MEZCLA ASFALTICA COLOCADA EN LOS PROYECTOS DE CONSERVACION VIAL.

Licitación pública No. 2014LN-000018-0CV00. Varias Zonas.

1. FUNDAMENTACIÓN

La Auditoría Técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N°8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Asimismo, el proceso de Auditoría Técnica se fundamenta en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

“...la fiscalización que realiza la Universidad a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse “superior”, en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.” (El subrayado no es del texto original)

2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

El propósito de las auditorías técnicas que realiza el LanammeUCR en cumplimiento de las tareas asignadas en la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria”, Ley N° 8114, es el de emitir informes que permitan a las autoridades del país, indicadas en dicha ley, conocer la situación técnica, administrativa y financiera de los proyectos viales durante todas o cada una de las etapas de ejecución: planificación, diseño y especificaciones; cartel y proceso licitatorio; ejecución y finiquito. Asimismo, la finalidad de estas auditorías consiste en que la Administración, de manera oportuna tome decisiones correctivas y ejerza una adecuada comprobación, monitoreo y control de los contratos de obra, mediante un análisis comprensivo desde la fase de planificación hasta el finiquito del contrato.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 5 de 49
----------------------	------------------	----------------



3. OBJETIVOS DEL INFORME

4. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este informe es determinar el cumplimiento del proceso de compactación de la mezcla asfáltica, empleado por los contratistas, con relación a la especificación vigente evaluando los resultados que son emitidos por los laboratorios de verificación de la calidad contratados por el Conavi. Además, se analizará la variabilidad existente en dicho proceso.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Analizar los resultados generales de compactación para determinar la zona de conservación vial que presenta mayor exactitud en sus procesos de compactación en cada una de las actividades efectuadas, a saber, colocación de carpeta asfáltica y bacheo.
- B. Organizar los resultados de compactación de acuerdo a cada una de las zonas y líneas asignadas a cada contratista para analizar la exactitud y variabilidad del proceso de compactación por empresa considerando: zona y origen de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) y además evaluar el grado de cumplimiento de la especificación vigente

6. ALCANCE DEL INFORME

El presente estudio comprende resultados de ensayo presentados por los laboratorios de verificación para el periodo de enero a julio de 2019, considerando todas las líneas y zonas de conservación vial del Conavi que estuvieron activas en este periodo.

Los resultados analizados son los obtenidos por los Organismos de ensayo que fungen como Laboratorios de Verificación de la Calidad del Consejo Nacional de Vialidad (Conavi).

7. METODOLOGÍA

La fiscalización que realiza la Auditoría Técnica del LanammeUCR es un proceso independiente, basado en normas y procedimientos establecidos, aplicando criterios objetivos en procura de lograr el cumplimiento del alcance y los objetivos definidos para cada uno de los estudios desarrollados. Este proceso no limita a que algunas actividades puedan realizarse en conjunto con el auditado.

Durante el proceso de auditoría realizado por la Auditoría Técnica del LanammeUCR se obtuvo la información de compactación que se detalla en la Tabla 1.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 6 de 49
----------------------	------------------	----------------



Tabla 1. Muestreos realizados a las plantas de producción de mezcla asfáltica en caliente.

Licitación	Zona	Planta	Nomenclatura	Cantidad Datos analizados	Porcentaje datos analizados
17	Zona 2-3	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₂₃	14	1,8%
17	Zona 2-4	Meco, Nicoya (MN)	MNZ ₂₄	240	31,6%
17	Zona 4-3	Meco, Río Claro (MRC)	MRCz ₄₃	505	66,5%
Total				759	

18	Zona 1-3	Hernán Solís, Guápiles (HSG)	HSGz ₁₃	80	2,6%
18	Zona 1-4	Hernán Solís, Guápiles (HSG)	HSGz ₁₄	191	6,2%
		Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₁₄	65	2,1%
18	Zona 1-5	Hernán Solís, Guápiles (HSG)	HSGz ₁₅	86	2,8%
		Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₁₅	61	2,0%
18	Zona 1-7	Hernán Solís, Guápiles (HSG)	HSGz ₁₇	533	17,4%
18	Zona 2-1	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₂₁	107	3,5%
18	Zona 2-2	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₂₂	902	29,4%
18	Zona 3-1	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₃₁	212	6,9%
18	Zona 3-2	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₃₂	115	3,8%
18	Zona 4-1	Quebradores del Sur (QS)	HQSz ₄₁	235	7,7%
18	Zona 4-2	Quebradores del Sur (QS)	HQSz ₄₂	64	2,1%
18	Zona 6-2	Meco, Aguas Zarcas (MAZ)	MAZz ₆₂	294	9,6%
18	Zona 1-1	Meco, Uruca (MU)	MUZ ₁₁	79	2,6%
18	Zona 1-9	Meco, Uruca (MU)	MUZ ₁₉	22	0,7%
Total				3064	

8. DOCUMENTOS DE PREVALENCIA

Los trabajos del proyecto deberán ser ejecutados de conformidad con los términos del pliego de condiciones y acordes con la última versión descrita en el Sección VI Requisitos de las Obras

- Ley de Contratación Administrativa (Ley No. 7494 del 02 de mayo de 1995) y sus reformas y su respectivo Reglamento (Decreto Ejecutivo número 33411-H del 27 de setiembre del 2006) y sus reformas.
- El cartel de licitación, incluyendo las Especificaciones Especiales, sus aclaraciones y sus enmiendas.
- La oferta adjudicataria.
- El contrato refrendado por la Gerencia de Gestión de Asuntos Jurídicos del CONAVI.
- “Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-2010)”.
- El código de construcción.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 7 de 49
----------------------	------------------	----------------



- El documento titulado: “Tomo de disposiciones para la construcción y conservación vial”, contiene las disposiciones generales emitidas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).
- Normas y diseños para la construcción de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Plan Vial.

9. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Las empresas constructoras encargadas de la conservación vial de las carreteras del país, normalmente disponen de plantas de producción donde manufacturan la mezcla asfáltica requerida para ejecutar las actividades de conservación vial. Asimismo, para cada zona adjudicada se tiene destacada una cuadrilla de trabajo, la que está encargada de realizar todas las labores de recepción, extendido, colocación y compactación de la mezcla asfáltica en caliente.

Para la ejecución de estas labores cada cuadrilla cuenta con equipo especializado, tal como una máquina extendedora de la mezcla asfáltica (pavimentadora), un compactador de rodillo metálico y un compactador de llantas neumáticas. La alta o poca incidencia de estos equipos en el nivel de compactación logrado en campo, depende de la experiencia de los operadores, de las condiciones climáticas o incluso del tipo de mezcla asfáltica recibida en campo. Es por ello que se analizan los resultados de compactación medidos en campo, con el fin de determinar la variabilidad existente en cada frente de obra, y posteriormente determinar la incidencia de las prácticas de compactación utilizadas en campo por las cuadrillas de los contratistas.

En la Tabla 2, se muestra el detalle de las contrataciones y las empresas adjudicatarias, así como la asociación general de cada una de las plantas con las zonas a las cuales suplen mezcla asfáltica.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 8 de 49
----------------------	------------------	----------------



Tabla 2. Zonas adjudicadas para cada contratista y planta suplidora de licitación 18.

Línea	Zona	Contratista	Planta Suplidora	Monto del contrato
Línea 1	1-1 San José	MECO	Meco Uruca	₡ 50.623.456.540,13
	1-2 Puriscal			
	1-9 Heredia			
Línea 2	1-4 Alajuela Sur	H. Solís	HS Guápiles	₡46.858.612.642,25
	1-5 Alajuela Norte			
	1-6 San Ramón			
Línea 3	1-3 Los Santos	H. Solís	HS Guápiles	₡52.130.972.517,65
	1-7 Cartago			
	1-8 Turrialba			
Línea 4	2-1 Liberia	H. Solís	HS Abangares	₡28.734.986.518,91
Línea 5	2-3 Santa Cruz	MECO	Meco Bagaces	₡43.269.202.757,02
	2-4 Nicoya			
Línea 6	2-2 Cañas-Upala	H. Solís	HS Abangares	₡37.206.200.580,79
	3-1 Puntarenas			
	3-2 Quepos			
Línea 7	4-1 Pérez Zeledón	Q. Sur	Q. Sur	₡20,340.597.830.16
	4-2 Buenos Aires			
Línea 8	4-3 Río Claro	MECO	Meco Río Claro	₡22,012.230.200.90
Línea 9	5-1 Guápiles	MECO	Meco Guápiles	₡28.032.529.297,29
	5-2 Limón			
Línea 10	6-1 Ciudad Quesada	MECO	Meco Aguas Zarcas	₡19,897.493.615,04
	6-2 Los Chiles			

10. MARCO CONCEPTUAL: IMPORTANCIA DE LA COMPACTACIÓN

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”.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 9 de 49
----------------------	------------------	----------------



Este proceso se efectúa para brindarle a la carpeta asfáltica una mayor durabilidad y resistencia contra los agentes atmosféricos (agua, aire y sol) durante la etapa de servicio. Los vacíos en una mezcla compactada están interconectados, 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.

Por lo que la compactación de las mezclas asfálticas es uno de las actividades más relevantes del proceso de construcción de carreteras, ya que dependiendo del grado de densificación que se proporcione, se obtendrá un comportamiento idóneo o deficiente de la mezcla compactada. Si el proceso es deficiente, quedaran muchos espacios abiertos por donde ingresará el agua y el aire, provocando un deterioro prematuro. Si la densificación es excesiva, no se tendrá el espacio suficiente para alojar el asfalto y podría iniciarse el proceso de exudación de asfalto.

El desempeño y vida útil de la carpeta asfáltica durante la fase de operación 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.

Es por ello que el monitoreo en campo, como parte del proceso de control de calidad, es vital para lograr obtener la compactación adecuada de la mezcla asfáltica. Se debe controlar el proceso de densificación, con el propósito de detectar posibles variaciones del proceso de compactación o en la calidad de la mezcla asfáltica que permitan efectuar modificaciones o ajustes correctivos ya sea en el patrón de compactación, en los equipos utilizados u otros aspectos que inciden en el proceso de densificación de la mezcla asfáltica.

11. AUDIENCIA AL LOS AUDITADOS PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-AT-069B-19

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-IC-D-0965-19 del 12 de noviembre de 2019, se envía el presente informe en versión preliminar LM-AT-069B-19 a la parte auditada para que sea analizado y de requerirse, se proceda a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría, por lo que inicialmente se otorga un plazo de 15 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar. Dicho plazo se extendía hasta el 03 de diciembre de 2019.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 10 de 49
----------------------	------------------	-----------------



Asimismo, como parte del proceso de Auditoría, se realiza una reunión el día 20 de noviembre de 2019 con el auditado con el fin de comentar aspectos relacionados con el informe. Esta reunión contó con la asistencia de los siguientes participantes:

Institución	Nombre
Conavi (Administración)	Manrique Aguilar Oreamuno (Auditoría Interna)
	Joshimar Tejeda Valverde (Auditoría Interna)
	Karen Zuñiga Brenes (Conservación Vial)
	Francisco Gómez Vega (Conservación Vial)
	Julio Cesar Carvajal (Conservación Vial)
LanammeUCR (Auditoría Técnica)	Francisco Fonseca Chaves (Auditor Técnico)
	Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
	Wendy Sequeira Rojas (Coordinadora Auditoría Técnica)

Al 05 de diciembre de 2019 no se ha recibido respuesta por parte de la Administración por lo que, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, se procede a emitir el informe LM-AT-069-19 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley.

12. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo de auditoría técnica en este informe se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría técnica, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las mediciones realizadas y la recolección y análisis de evidencias.

Se entiende como hallazgo de auditoría técnica, un hecho que hace referencia a una normativa, informes anteriores de auditoría técnica, principios, disposiciones y buenas prácticas de ingeniería o bien, hace alusión a otros documentos técnicos y/o legales de orden contractual, ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, una observación de auditoría técnica se fundamenta en normativas o especificaciones que no sean necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en experiencia internacional o nacional. Además, tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 11 de 49
----------------------	------------------	-----------------



Por lo tanto, las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones deben ser atendidas planteando acciones correctivas y preventivas, que prevengan el riesgo potencial de incumplimiento.

13. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA

A continuación, se muestran los análisis realizados de: exactitud del proceso de compactación, relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos de cada planta asociada a la zona donde se distribuyó la mezcla asfáltica despachada, así como el porcentaje de cumplimiento de los grados de compactación obtenidos en relación con la especificación establecida para cada una de las zonas estudiadas.

14. ÁMBITO DE COMPACTACIÓN EN SITIO

Para el estudio de los resultados de compactación obtenidos para las diferentes constructoras se realiza la clasificación de los resultados obtenidos en un ámbito de valores entre 90% a 100%, posteriormente se representa la clasificación porcentual obtenida para cada una de las categorías en una gráfica circular: en donde cada eje representa cada una de las categorías de compactación, el valor del porcentaje de datos se presenta en color rojo y el polígono en color azul representa la concentración de los mayores valores de compactación¹.

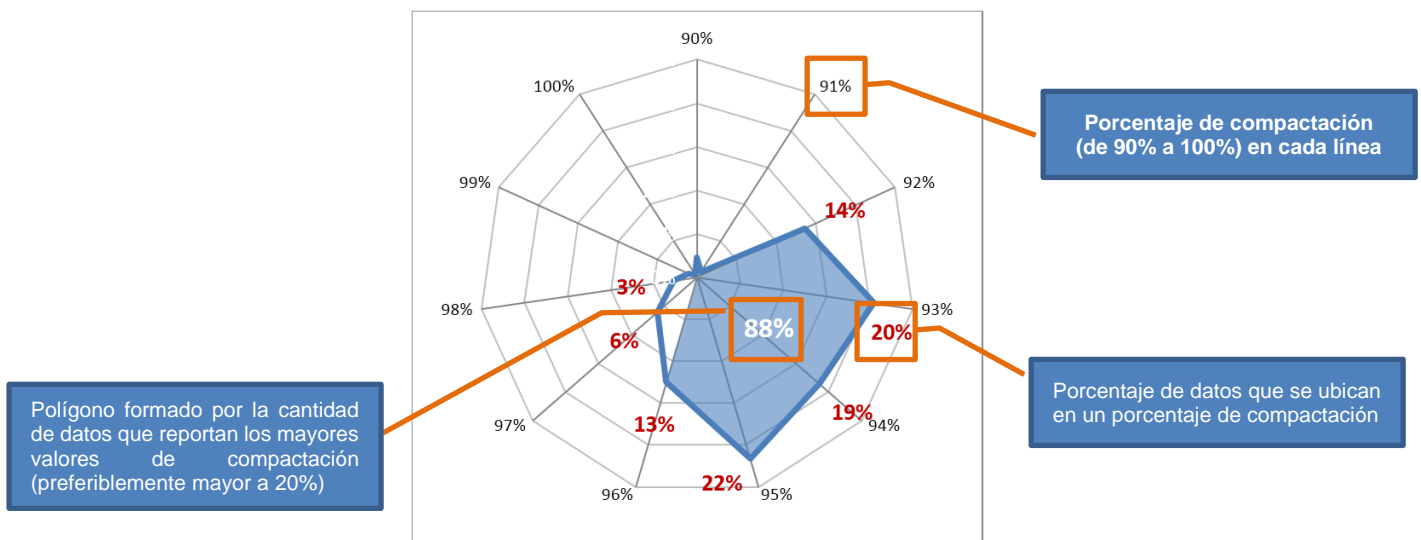


Figura 1. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos.

¹ Preferiblemente se toman los valores mayores a 20%, en aquellas graficas donde no existe mucha dispersión de datos



La especificación establecida en el cartel de licitación dispone que "Las mezclas asfálticas elaboradas de acuerdo con la fórmula de la mezcla para el trabajo, aceptadas, colocadas y compactadas de conformidad con el tramo de prueba, en aplicaciones de capas de ruedo y capas intermedias, deben tener un porcentaje de compactación de 94,5 % ± 2,5 % del valor de la gravedad específica máxima teórica de referencia (vacíos de 5,5 % ± 2,5 %)", lo que define un rango de densificación final entre 92% a 97% (seis puntos porcentuales 6PP). Por lo que para el presente análisis se considera un proceso controlado aquel polígono que abarca la menor cantidad de puntos porcentuales de compactación tal como se presenta en la Figura 2.

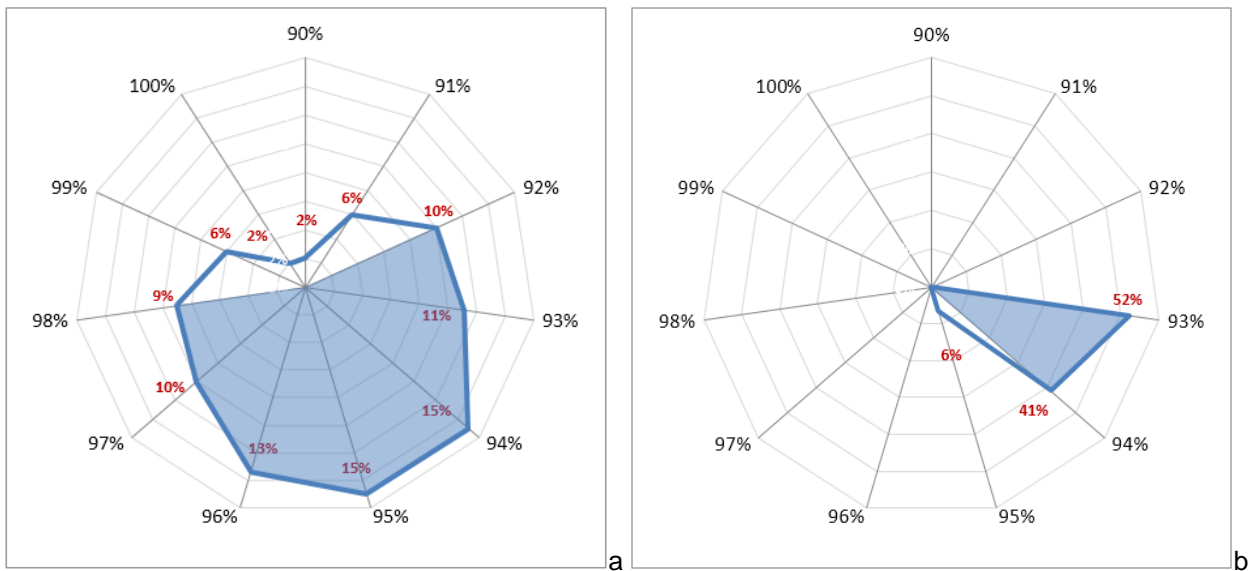


Figura 2. Figura porcentaje de compactación. a. proceso disperso con varios puntos porcentuales de variación. b. proceso controlado con pocos puntos porcentuales de variación

OBSERVACION 1. SE DETERMINA UNA VARIABILIDAD APRECIABLE EN LOS RESULTADOS DE COMPACTACION EN RELACION CON LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.

A. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN DE SOBRECAPAS

Para evaluar la efectividad de las labores de compactación de las carpetas de MAC que realizan las empresas constructoras se analiza un periodo de resultados de compactación emitidos por los laboratorios de verificación de calidad contratados por el CONAVI para tal fin.

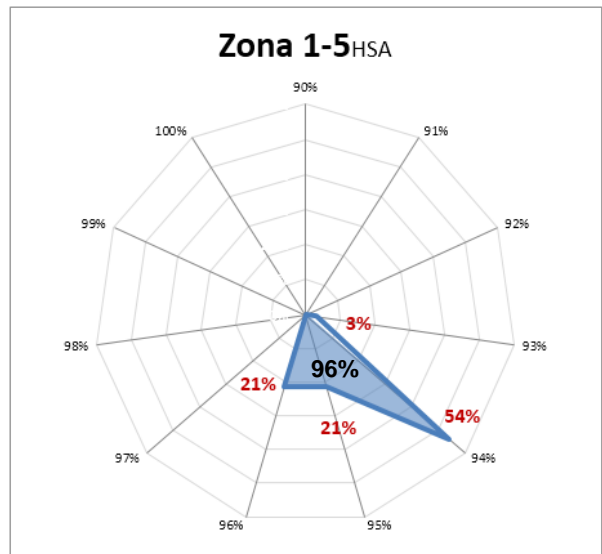
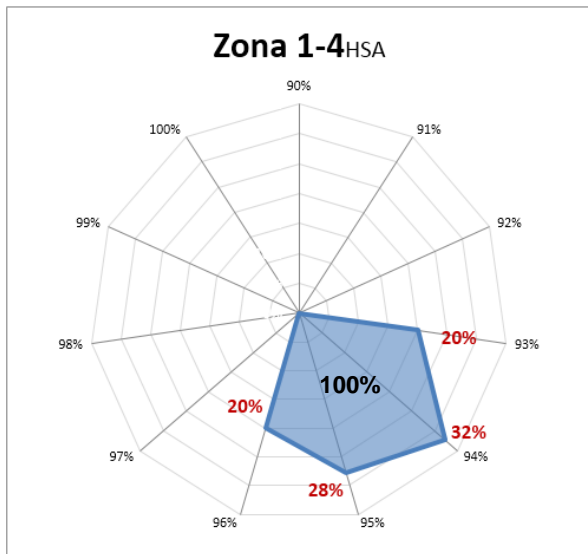
Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 13 de 49
----------------------	------------------	-----------------



Constructora Hernán Solís

Hernán Solís Abangares

De los resultados analizados para la actividad de compactación realizada en las carpetas colocadas en las zonas de trabajo correspondientes a la zona 1-4 se denota que el 100% de los valores de compactación se ubican entre el 93% y el 96% (4PP), tal como se muestra en la Figura 1. Por otro lado, los valores de compactación obtenidos para la Zona 1-5, como se puede observar en la Figura 1, muestran una concentración del 96% de los datos en un nivel de compactación entre el 94% y 96% (3PP). Esto permite conjeturar que los procesos de compactación fueron realizados bajo condiciones controladas.



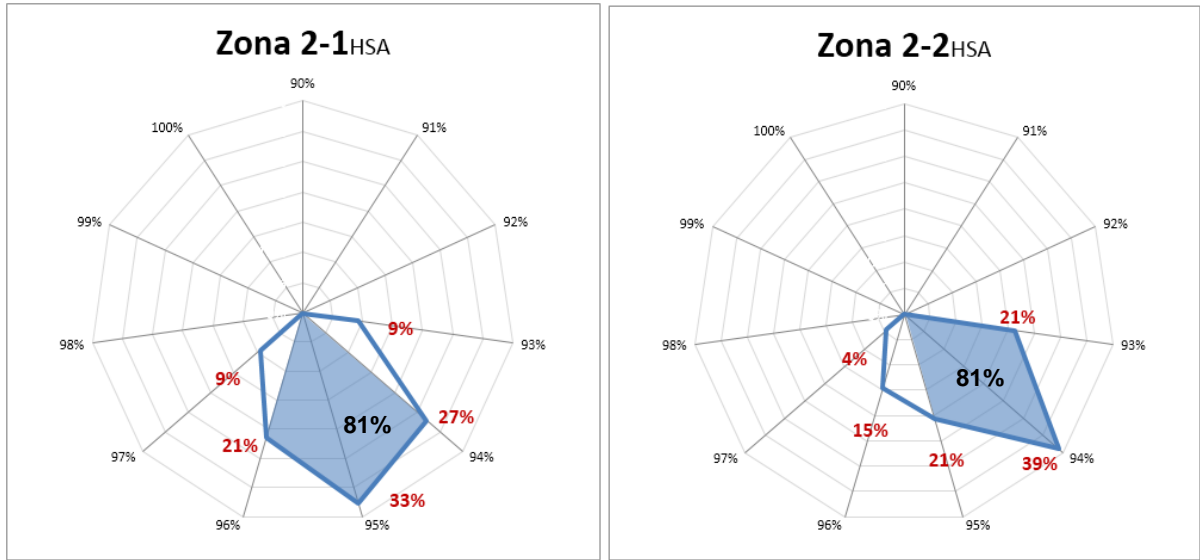


Figura 3. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la planta Hernán Solís Abangares

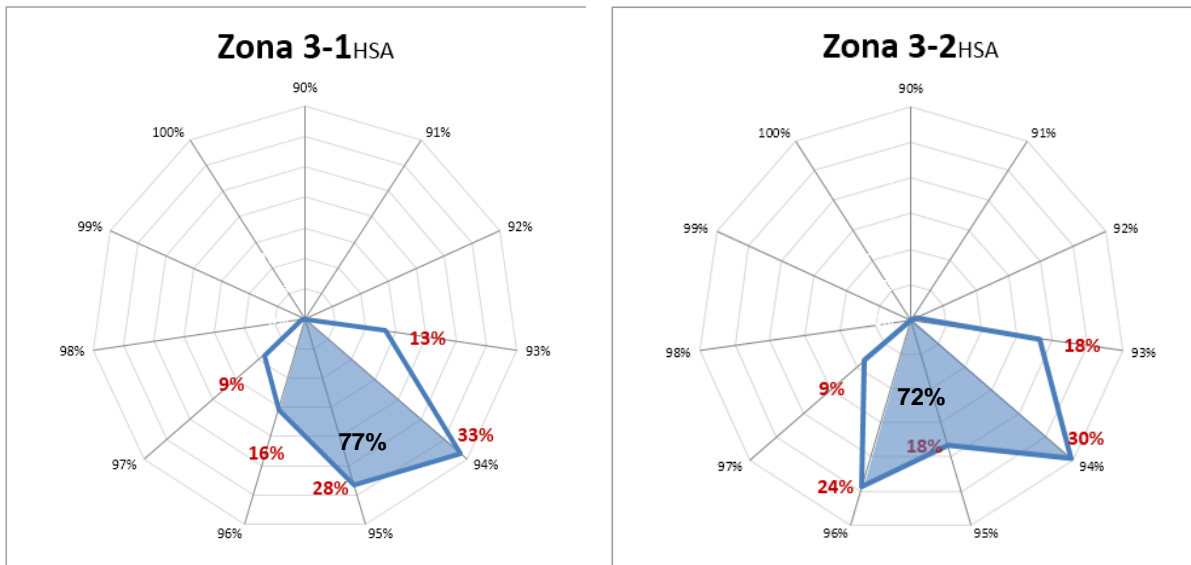


Figura 3 cont. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la planta Hernán Solís Abangares

Se puede determinar que la zona 2-1 y 2-2 posee un 81% de la totalidad de los datos entre 94% y 96% (3PP) de compactación, para el primer caso y entre un 93% y 95% (3PP) de compactación para la zona 2-2; por lo que se puede decir que la mayoría de los datos reflejan que los procesos de compactación fueron realizados con esmero.



La zona 3-1 y 3-2 tienen 77% y 72% de la totalidad de los datos, respectivamente, que se encuentran en el rango de 94% a 96% (3PP) en el primer caso, y de 94% y 96% (3PP) de compactación, para el segundo caso. Los datos de la zona 3-1 tienen una precisión mayor en cuanto al rango de compactación propuesto en la especificación, sin embargo, en el caso de los datos de la zona 3-2, la variabilidad del porcentaje es levemente mayor.

Hernán Solís Guápiles

De acuerdo con el análisis realizado con los resultados de ensayo para la actividad de compactación efectuada en las carpetas colocadas en la zona 1-5, se tiene que el 87% de los valores de compactación se ubican entre el 94% y el 95% (2PP), como se ejemplifica en la **Figura 4**. Esto denota una alta exigencia de los procesos de compactación llevados a cabo y un adecuado control de las condiciones que afectan a la densificación, que propiciaron una compactación óptima en dicha zona.

Por otro parte, en la zona 1-4, hay un total del 88% de los datos que poseen una compactación entre el 95% y el 96% (2PP) -con un 54% de los valores concentrados en compactación de 95%- , este comportamiento revela una alta tendencia de control en las labores de compactación posiblemente a la tenencia de buenas prácticas cuando se ejecutaron las labores de compactación.

En cuanto a las zonas 1-7 y 1-3, como se puede apreciar en la **Figura 4**, el comportamiento es similar en comparación a lo expuesto anteriormente, ya que la cantidad de datos que se encuentra en un rango de compactación del 95% y 96% (2PP) es de 90% y 92% en un rango de compactación del 94% y 96% (3PP), por lo que es válido inferir que se realizó un riguroso control de los procesos y buenas condiciones con que se ejecutaron los trabajos de compactación..

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 16 de 49
----------------------	------------------	-----------------

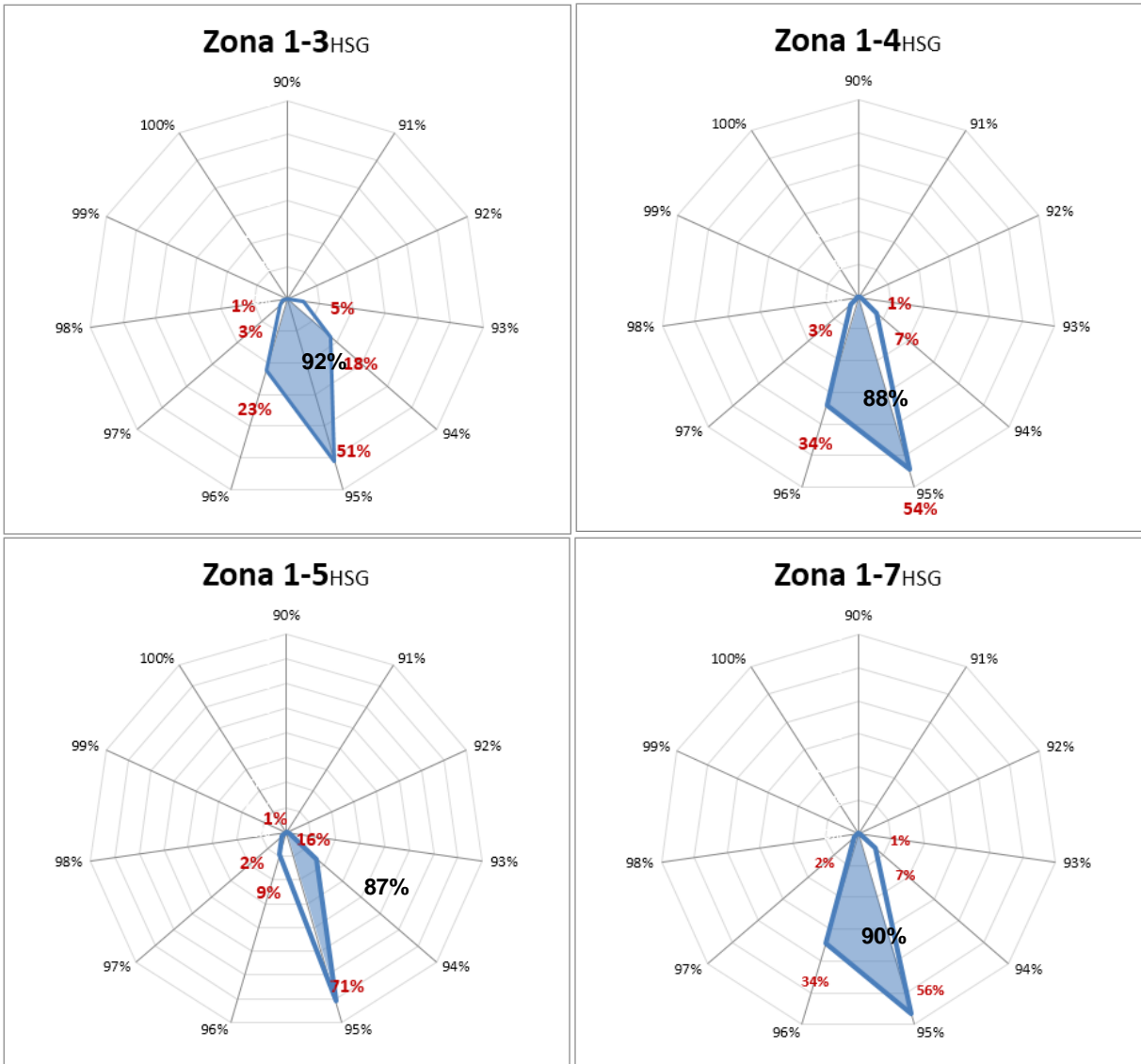


Figura 4. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la planta Hernán Solís Guápiles



Constructora Meco

Meco Uruca

Al evaluar los resultados reportados para las zonas 1-1 y 1-9 que están adjudicadas a la Constructora Meco se determina que el 78% de las actividades de compactación se ubican entre el 93% y el 96% (4PP) de grado de compactación, tal como se muestra en la Figura 3a para la zona 1-1. En tanto que para la zona 1-9 se observa que el 73% de los resultados de compactación se ubican entre el 92% y el 93% (2PP) de densidad. Dichos resultados permiten concluir que el proceso de compactación y las condiciones bajo las cuales se ejecutaron las labores de compactación en la zona 1-9 fueron mucho más controladas, que las realizadas en la zona 1-1.

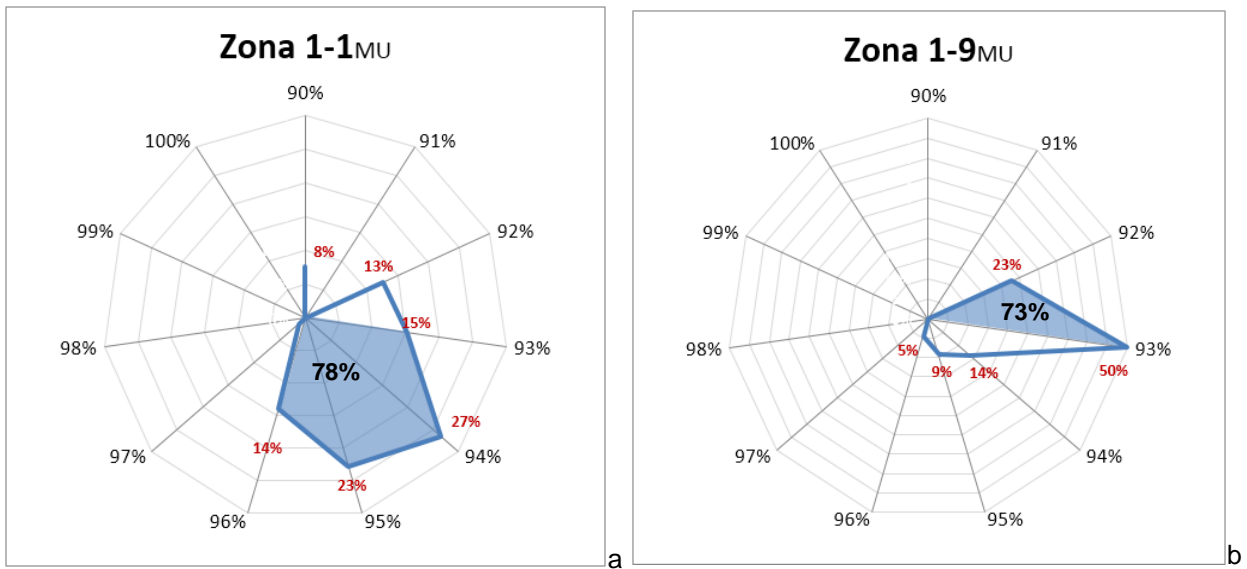


Figura 5. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la planta Meco Uruca



Meco Aguas Zarcas

Del análisis de los resultados reportados para las actividades de compactación realizadas en las carpetas colocadas en la Zona 6-2, se denota que el 73% de los valores de compactación se ubican entre el 94% y el 97% (4PP) de grado de compactación, tal como se muestra en la Figura 4, siendo los niveles de compactación de 95% y 96% los más característicos lo cual puede indicar que el proceso de compactación y las condiciones bajo las cuales se ejecutaron las labores de compactación fueron poco controladas.

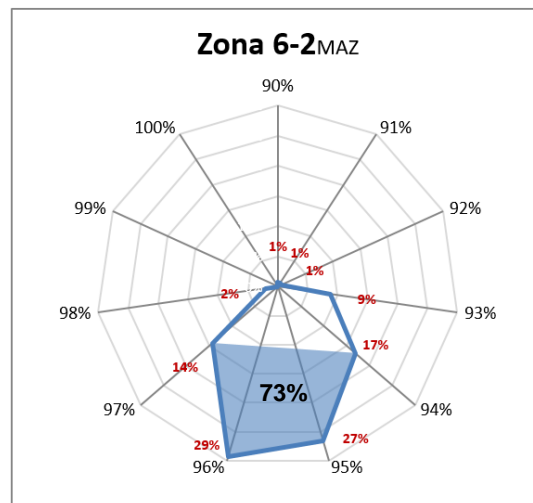


Figura 6. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la planta Meco Aguas Zarcas



Constructora Quebradores del Sur

Quebradores del Sur

Se logra apreciar en la Figura 5b, que el 100% de los resultados de compactación se encuentra entre el 93% y el 94% (2PP), para la zona 4-2, lo cual indica que el proceso de compactación aplicado en la mezcla asfáltica utilizada para dicha zona, posee un alto grado de control. Lo cual puede indicar que el proceso de compactación y las condiciones bajo las cuales se ejecutaron las labores de compactación fueron adecuadas.

Por otro lado, para la carpeta colocada en la zona 4-1, se determina que el 100% de los resultados analizados se ubican entre un 93% a 94% (2PP) de los valores de compactación, lo cual también indica una alta grado de control en el proceso de compactación, por lo que se puede inferir que las condiciones bajo las cuales se ejecutaron las labores de compactación fueron adecuadas.

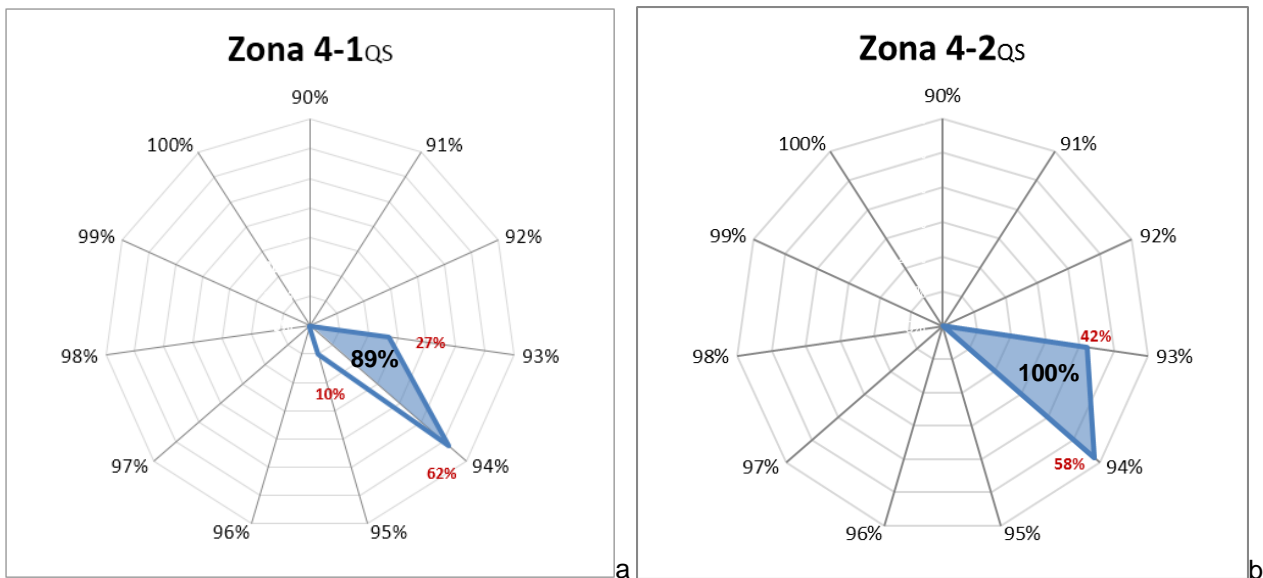


Figura 7. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la planta Quebradores del Sur



B. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN EN LABORES DE BACHEO

Para evaluar la efectividad de las labores de compactación de las carpetas de MAC que realizan las empresas constructoras se analiza un periodo de resultados de compactación emitidos por los laboratorios de verificación de calidad contratados por el CONAVI para tal fin.

Constructora Hernán Solís

Hernán Solís Abangares

El proceso de compactación aplicado por la Constructora Hernán Solís para las labores de bacheo efectuadas en la zona 2-3, determinan que el 93% de los resultados de densificación analizados se ubican entre un 93% a 96% (4PP), lo cual demuestra una mayor dispersión de los datos, tal como se muestra en la Figura 8.

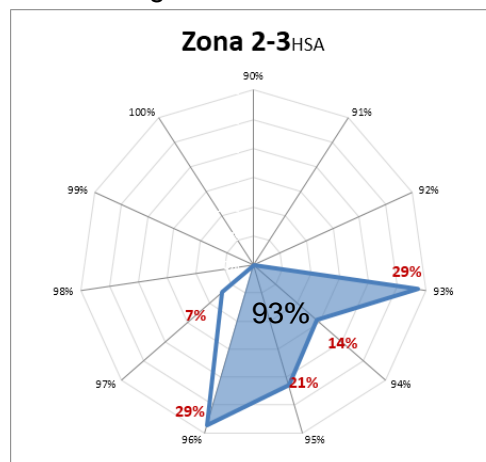


Figura 8. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la planta Hernán Solís Abangares

Constructora Meco

Meco Nicoya

Como se logra apreciar en la Figura 16, para los bacheos colocados en la zona 2-4, se determina que el 86% de los resultados de densificación reportados se ubican entre un 92% a 95%, lo cual demuestra una dispersión similar de los datos de compactación.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 21 de 49
----------------------	------------------	-----------------

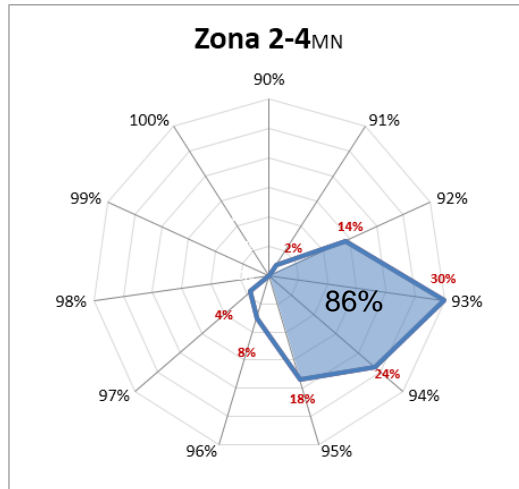


Figura 9. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la planta Meco, Nicoya



Meco Río Claro

Para la constructora Meco se determina que el 91% de los resultados de compactación de las labores de bacheo realizadas en la zona 4-3, que se representan en la Figura 17, con mezcla proveniente de la planta de Río Claro tienen un valor entre el 93% y 95%, esto denota un alto grado de precisión en el control de las labores realizadas.

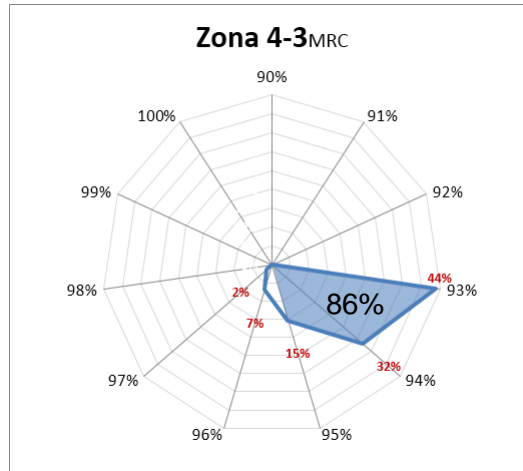


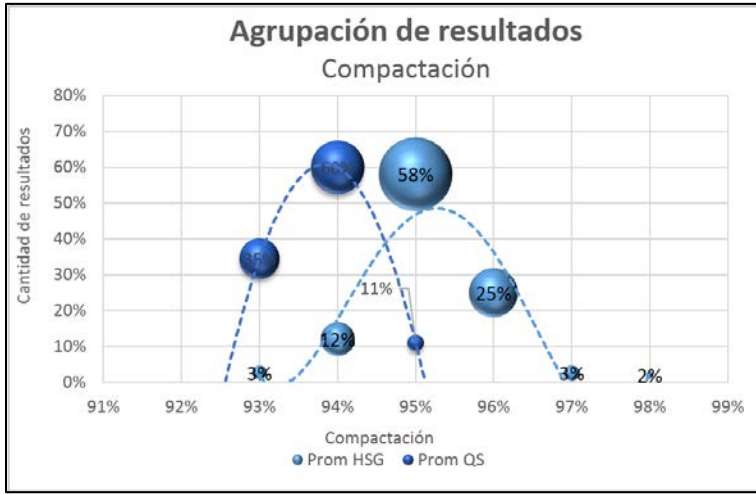
Figura 10. Relación entre porcentaje de compactación y cantidad de datos asociada a la serie seleccionada para la planta Meco Río Claro

C. RESUMEN DE ÁMBITO DE COMPACTACIÓN EN SITIO

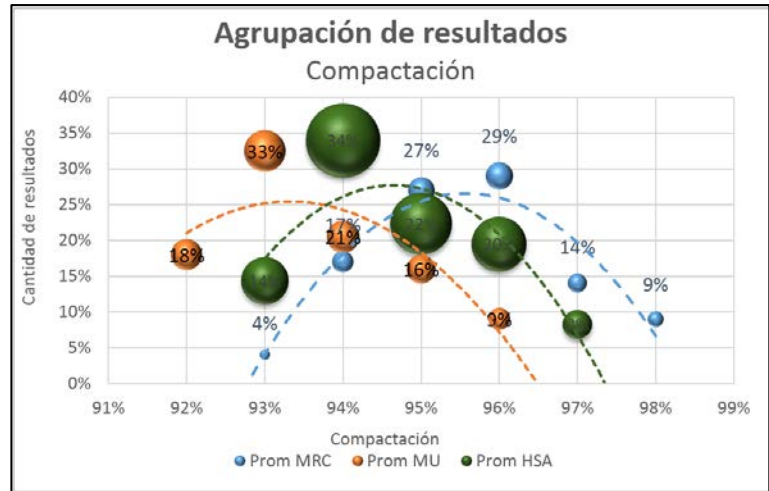
En el patrón de los resultados de compactación de las mezclas empleadas en las zonas de trabajo de la planta de Quebradores del Sur (zona 4-1 y 4-2) y Hernán Solís Guápiles (1-3, 1-4, 1-5 y 1-7) se muestra que son los procesos de densificación más controlados, estrictos y con menor variabilidad y concentración de valores de compactación de 60% tal como se observa en la Figura 11a.

En tanto que los procesos de compactación aplicados en las zonas 1-4, 1-5, 2-1, 2-2, 3-1 y 3-2 (con mezcla proveniente de Hernán Solís, Abangares), zonas 4-1 y 4-2 (con mezcla proveniente de Meco, Uruca) y la zona 6-2 (con mezcla proveniente de Meco, Aguas Zarcas) evidencian una mayor variabilidad, ya que los procesos reportan valores de concentración de compactación entre 29% a 34% (tal como se observa en la Figura 11b).

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 23 de 49
----------------------	------------------	-----------------



a.



b.

Figura 11. Tendencia general de compactación de la mezcla asfáltica, según fuente de procedencia.

Al analizar los resultados en forma global se evidencia que las zonas con menor dispersión (pocos puntos porcentuales) de resultados fueron las que trabajaron con mezcla asfáltica de la planta de Hernán Solís Guápiles y la planta de Quebradores del Sur, ya que la zona 1-5 reportó una compactación de 95% (1PP) para el 71% de los resultados, en tanto en la zona 1-7 se alcanzó una compactación entre 95%-96% (2PP) para el 46% de los resultados. Una situación similar se evidencia para las zonas 4-1 y 4-2 en donde se obtiene una compactación entre 93%-94% (2PP) para el 46% de los resultados.



Contrariamente, hay zonas que evidencian tener una alta dispersión (muchos puntos porcentuales) de los resultados de compactación, particularmente aquellas que emplearon mezcla asfáltica proveniente de la planta Hernán Solís en Abangares, específicamente la zona 1-4, 2-1, 2-2, 3-1 y 3-2 que muestran dispersiones de 4 puntos porcentuales del ámbito de compactación con una frecuencia máxima de resultados de aproximadamente 26%. Inclusive las zonas 1-1 y 6-2 que trabajaron mezcla asfáltica en caliente proveniente de las plantas de Meco Uruca y Meco Aguas Zarcas, respectivamente, muestran la mayor dispersión de resultados con 5 puntos porcentuales del ámbito de compactación.

Tabla 3. Mayores frecuencias y puntos porcentuales calculados por zona.

Zona	Planta		MF.T	PPT
Zona 1-5	Hernán Solís, Guápiles (HSG)	HSGz ₁₅	71%	1
Zona 4-2	Quebradores del Sur (QS)	HQSz ₄₂	46%	2
Zona 4-1	Quebradores del Sur (QS)	HQSz ₄₁		2
Zona 1-7	Hernán Solís, Guápiles (HSG)	HSGz ₁₇		2
Zona 1-4	Hernán Solís, Guápiles (HSG)	HSGz ₁₄		2
Zona 1-5	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₁₅	33%	3
Zona 1-9	Meco, Uruca (MU)	MUZ ₁₉		3
Zona 1-3	Hernán Solís, Guápiles (HSG)	HSGz ₁₃		3

Zona	Planta		MF.T	PPT
Zona 2-2	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₂₂	26%	4
Zona 2-1	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₂₁		4
Zona 3-1	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₃₁		4
Zona 1-4	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₁₄		4
Zona 3-2	Hernán Solís, Abangares (HSA)	HSAz ₃₂		4
Zona 1-1	Meco, Uruca (MU)	MUZ ₁₁	19%	5
Zona 6-2	Meco, Aguas Zarcas (MAZ)	MRCz ₆₂		5

MF.T: mayor frecuencia teórica (promedio)

PP.T: puntos porcentuales teóricos de dispersión

Finalmente se denotan tres zonas (1-3, 1-5 y 1-9) con una dispersión de 3 puntos porcentuales en el rango de compactación, con una frecuencia máxima de resultados de aproximadamente 33%. Dichas zonas recibieron mezcla asfáltica producida de la planta Hernán Solís en Guápiles, Hernán Solís ubicada en Abangares y Meco en la Uruca, respectivamente, para cada zona.



15. NIVEL DE EXACTITUD DE COMPACTACIÓN

Para establecer la exactitud (precisión) del proceso de compactación, se determina la desviación estándar al grupo de resultados de compactación reportados para cada una de las diferentes zonas para cada empresa constructora. Posteriormente, se representan el valor de precisión en una gráfica tipo diana, en donde si el valor se acerca al centro de la diana, más preciso se considera el proceso de compactación, por lo que, en la misma línea de análisis, entre más se aleja el valor obtenido del centro de la diana, se considera una mayor variabilidad en el proceso de compactación, representando un proceso menos controlado en el sitio de colocación y compactación.

Para evaluar la exactitud de los resultados de compactación se tendría que considerar que ninguno de los resultados de compactación supera los límites de la especificación, obtenido de esta manera la “máxima exactitud”. Para determinar este valor se aplica el concepto estadístico de índice de capacidad de un proceso (productivo o constructivo) en el cual se define que un proceso es exacto² cuando este índice tiene un valor de 1. Basándose en este concepto se determina que el valor de la desviación estándar es de 0,83%.

Sin embargo, debe aclararse que el procedimiento de pago por calidad de materiales incluido en los manuales de construcción vigentes establece que se puede aceptar completamente (sin reducción de pago) un material o proceso que muestre una variabilidad razonable. Por ello que se puede estimar una máxima desviación estándar de $1,46\% \pm 0,12\%$ para una muestra de tamaño habitual de 30 muestras y que los resultados de densidad establecen que la labor de compactación es totalmente aceptable.

OBSERVACION 2. LA MAYORÍA DE LOS RESULTADOS DE DENSIDAD REPORTADOS REFLEJAN UNA BAJA PRECISIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE COMPACTACIÓN APLICADAS EN LAS ZONAS DE CONSERVACIÓN VIAL ANALIZADAS.

D. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN DE SOBRECAPAS

Al evaluar la exactitud de los procesos de compactación que emplean las empresas constructoras, se determina la desviación estándar de los resultados de compactación emitidos por los laboratorios de verificación de calidad contratados por el CONAVI.

² Valores mayores a 1, indican una alta capacidad del proceso (extraordinaria exactitud) y valores menores indican baja capacidad del proceso lo que indica mucha variabilidad (pésima exactitud).



Constructora Hernán Solís

Hernán Solís Guápiles

Con relación al proceso de compactación llevado a cabo por la Constructora Hernán Solís con mezcla asfáltica proveniente de la planta de Guápiles se observa que los resultados de exactitud (desviación estándar) para las zonas 1-5 y 1-7 son las zonas con menor variabilidad, lo cual se pueden evidenciar en la Figura 12.

Además, se puede determinar que las zonas 1-3, 1-4, 1-5 y 1-7 que trabajan con mezcla de HSG tienen un valor promedio de dispersión de 0,7 en los resultados de compactación.

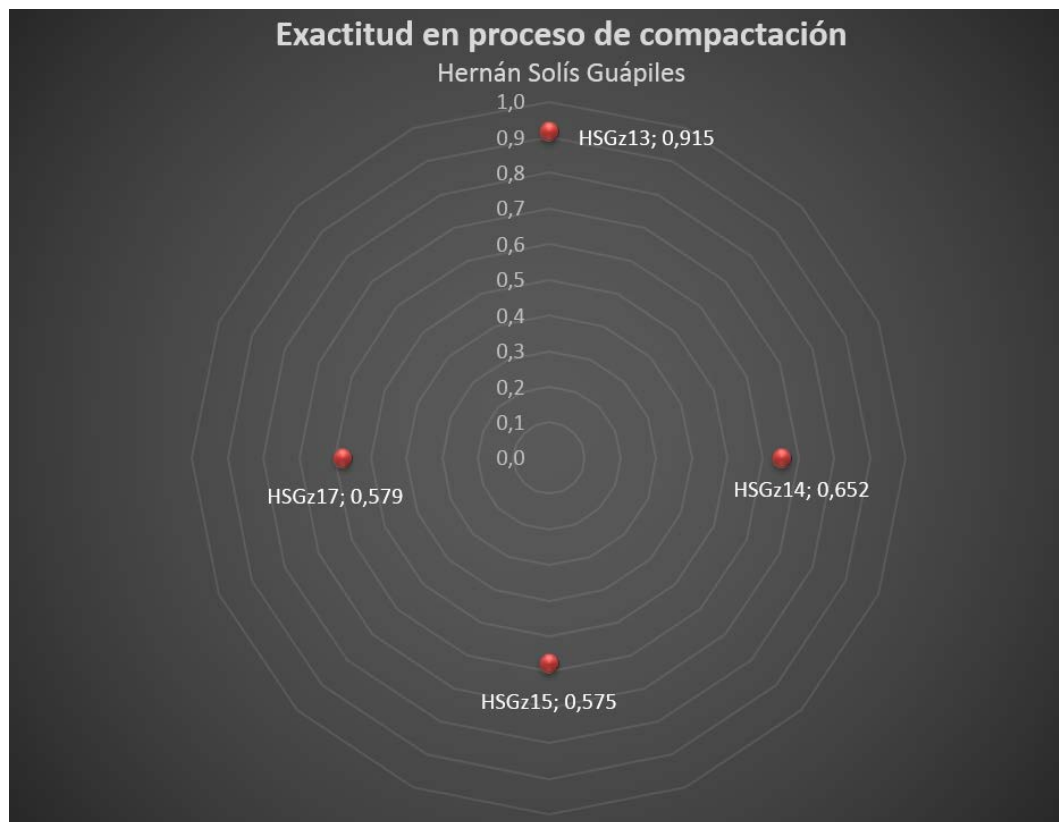


Figura 12. Exactitud en procesos de compactación, Constructora Hernán Solís, Guápiles



Hernán Solís Abangares

En tanto que las zonas 1-4, 1-5, 2-1, 2-2, 2-3, 3-1 y 3-2 con mezcla de la planta de HSA muestran una dispersión promedio de 1,2; siendo el menor valor de aproximadamente 0,7 para la zona 1-5.

Aunado a esto, se observa que para las zonas 1-4 y 1-5 (que normalmente trabajan con mezcla proveniente del centro de producción de Guápiles), se realizaron actividades de colocación y compactación de carpeta asfáltica con MAC de la planta HSA, para estas labores de compactación se tiene que la dispersión promedio es mayor en 1,6 veces que la reportada con la MAC de HSG.

Por otro lado, la zona con mayor variabilidad en los resultados de compactación corresponde a la zona 3-2, con mezcla procedente de la planta de Abangares.

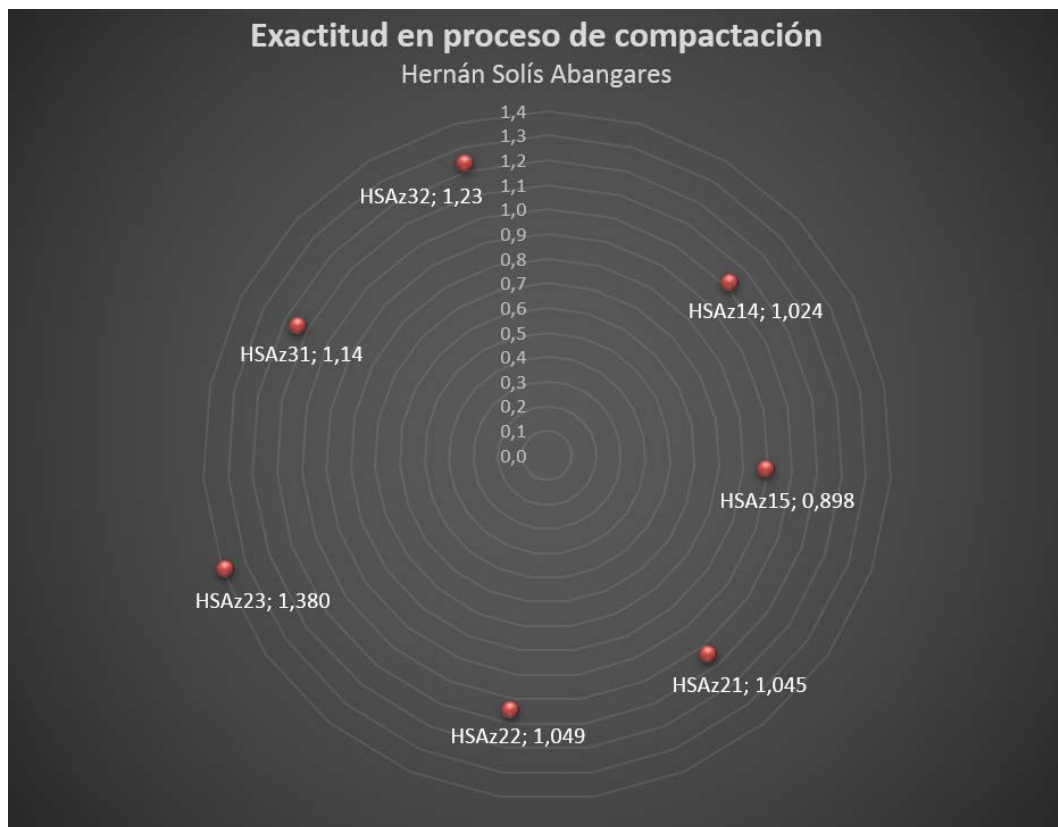


Figura 13. Exactitud en procesos de compactación, Constructora Hernán Solís, Abangares



Constructora Meco

Meco Uruca

Los resultados de variabilidad (desviación estándar) determinado para la zona 1-1 evidencian una alta variación del proceso de compactación, en donde se determina una magnitud de desviación del 2%, tal como se evidencia en la **Figura 14**. Por su parte, el proceso de la zona 1-9, reporta una desviación menor, reflejando un proceso con mayor control de campo con relación a la densificación de la carpeta asfáltica.



Figura 14. Exactitud en procesos de compactación, Constructora Meco, Uruca



Meco Aguas Zarcas

La constructora Meco en la zona 6-2, que labora con mezcla proveniente de la planta de producción de Meco Aguas Zarcas, muestra una exactitud (desviación estándar) de aproximadamente 1,4 para el proceso de compactación de la mezcla asfáltica tal como se muestra en la Figura 15. Al ser solo un resultado no se puede comparar la exactitud de su proceso de compactación con datos pertenecientes a otras zonas.



Figura 15. Exactitud en procesos de compactación, Constructora Meco, Aguas Zarcas



Constructora Quebradores del Sur

Quebradores del Sur

Del análisis de los datos obtenidos de la exactitud (desviación estándar) para el proceso de compactación empleado en las Zonas 4-1 y 4-2 por parte de la Constructora Quebradores del Sur, empresa adjudicataria, se evidencia que la zona con menor variación corresponde a la 4-2, ya que obtiene una exactitud un poco menor que la zona 4-1 para la obtención del grado de compactación, tal como se pueden observar en la **Figura 16**.



Figura 16. Exactitud en procesos de compactación, Quebradores del Sur



E. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN EN LABORES DE BACHEO

Al evaluar la exactitud de los procesos de compactación que emplean las empresas constructoras, se determina la distribución estándar de los resultados de compactación emitidos por los laboratorios de verificación de calidad contratados por el CONAVI

Constructora Hernán Solís

Los datos obtenidos de la exactitud del proceso de compactación pertenecientes a las zonas adjudicadas a la Constructora Hernán Solís se presentan en la **Figura 17**, donde se observa la zona 2-1 con mezcla asfáltica producida en la planta de Hernán Solís ubicada en Abangares reportando una variabilidad de 1,38 en los resultados de compactación de bacheo.



Figura 17. Exactitud en procesos de compactación, Constructora Hernán Solís, Abangares



Constructora Meco

Respecto a los resultados de exactitud de compactación para las actividades de bacheo obtenidos para las zonas 2-3 y 2-4 (mezcla de planta Nicoya) y zona 4-3 (mezcla de planta Río Claro) adjudicadas a la constructora Meco se tiene que la zona con menor variabilidad (más exacta) corresponde a la zona 4-3 (**Figura 18**).

En tanto, las zonas 2-3 y 2-4 muestran una mayor variabilidad (menos exactitud) en alcanzar el nivel de compactación requerido de acuerdo con los datos analizados.



Figura 18. Exactitud en procesos de compactación, Constructora Meco



F. RESUMEN DE PRECISIÓN DE COMPACTACIÓN

En general se evidencia (Figura 19) que gran parte de las labores de compactación efectuadas en las diferentes zonas de conservación vial de bacheo y sobrecapas tienen un proceso variable (poco exacto), ya que el 67% de las zonas superan el valor de desviación estándar para considerar que el proceso es exacto (línea roja).

Las zonas que reportan la mayor variabilidad (menor exactitud) son la 1-1, 1-9 y 6-2 en donde las dos primeras laboraron con mezcla asfáltica de Meco en la Uruca y la 6-2 con mezcla asfáltica de Meco Aguas Zarcas. Situación similar se nota con las zonas 1-4, 1-5, 2-1, 2-2, 3-1, 3-2 y 1-3, que reportan labores de compactación con una precisión baja y con mezcla asfáltica de Hernán Solís Abangares.

Además de la Figura 19 se logra establecer que los procesos de compactación aplicados en las zonas 4-1 y 4-2 (con mezcla asfáltica de Quebradores del Sur) son los más precisos, ya que reportan aproximadamente la mitad de la máxima desviación estándar para considerar un proceso exacto. De igual manera, las zonas 1-4, 1-5 y 1-7 (con mezcla asfáltica de Hernán Solís Guápiles) reportan un nivel de exactitud aceptable, ya que el valor de la desviación estándar es menor que la considerada para un proceso exacto (línea roja).

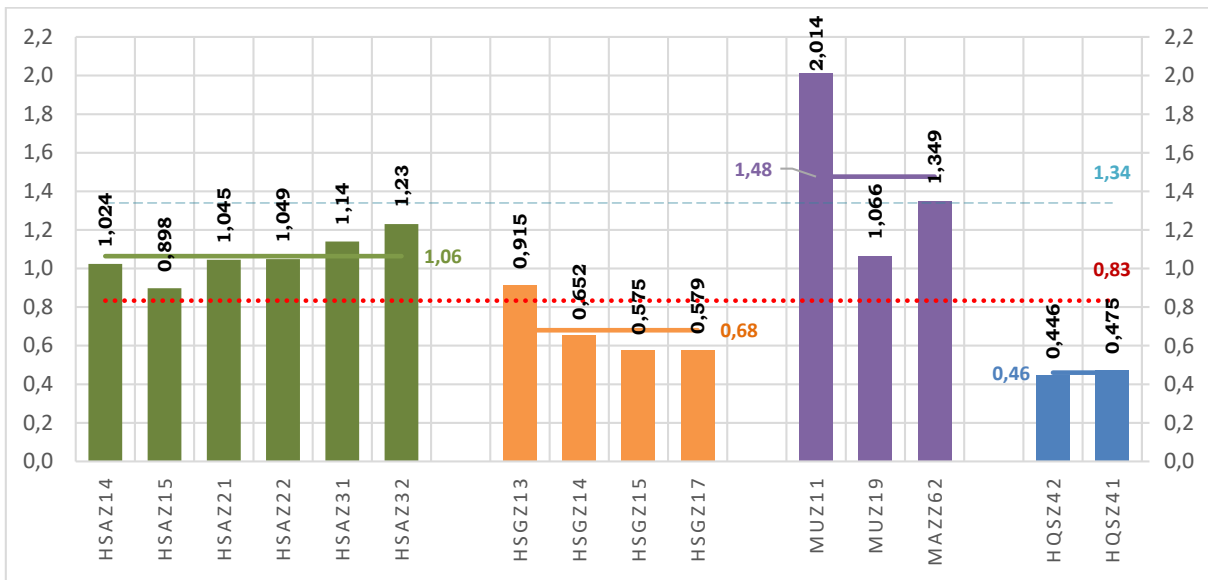


Figura 19. Comparación de la exactitud en procesos de compactación de Conservación Vial

Sin embargo, cabe aclarar que la variabilidad determinada en el presente estudio solo tiene fines comparativos, ya que el 93% de las zonas muestran una variabilidad menor (línea azul) que la requerida por la normativa vigente y solamente se detecta para la zona 1-1 una posible reducción de pago por concepto de calidad.



16. CUMPLIMIENTO DE LA ESPECIFICACIÓN DE COMPACTACIÓN

Para el análisis de cumplimiento de la especificación de compactación se aplica la inferencia estadística con la finalidad de establecer el acatamiento real de la especificación de la población estudiada, la cual establece que la carpeta asfáltica debe alcanzar un valor de 94,5% \pm 2,5% de compactación de la mezcla asfáltica. Para ello se determina el porcentaje de resultados de compactación que se ubican fuera de la especificación mediante el análisis estadístico

Posteriormente -mediante una gráfica de barras- se califica el cumplimiento de las especificaciones establecidas en el cartel de licitación de los proyectos viales (rango de densificación final entre 92% a 97% cuadro coloreado representa la zona donde los datos de porcentaje de compactación se encuentran dentro de los límites de especificación), relacionados con el grado de compactación requerido para las mezclas asfálticas comparando los resultados inferidos, con la especificación vigente y se presenta el porcentaje que se excede de la normativa permitida.

HALLAZGO 1. LA MAYORÍA DE LAS PRÁCTICAS DE COMPACTACIÓN INCUMPLEN CON LAS ESPECIFICACIONES REQUERIDAS EN LA DOCUMENTACIÓN CONTRACTUAL DEL PROYECTO.

G. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN DE SOBRECAPAS

Para evaluar la efectividad de las labores de compactación de las carpetas de MAC que realizan las empresas constructoras se analiza un periodo de resultados de compactación emitidos por los laboratorios de verificación de calidad contratados por el CONAVI para tal fin.

Constructora Hernán Solís

Hernán Solís Guápiles

Del análisis de inferencia estadística se puede establecer que el rango de porcentajes de compactación menor corresponde a las zonas 1-5 (4,3), 1-7 (4,5) y 1-4 (4,8), en donde todas

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 35 de 49
----------------------	------------------	-----------------



cumplen satisfactoriamente con ambos límites de especificación, dichas zonas laboraron con mezcla asfáltica proveniente de la planta Hernán Solís Guápiles.

En tanto la zona 1-3 muestra un leve incumplimiento de aproximadamente un 1,0% mayor que la de los resultados de compactación de las zonas anteriormente indicadas (mezcla asfáltica de Guápiles).

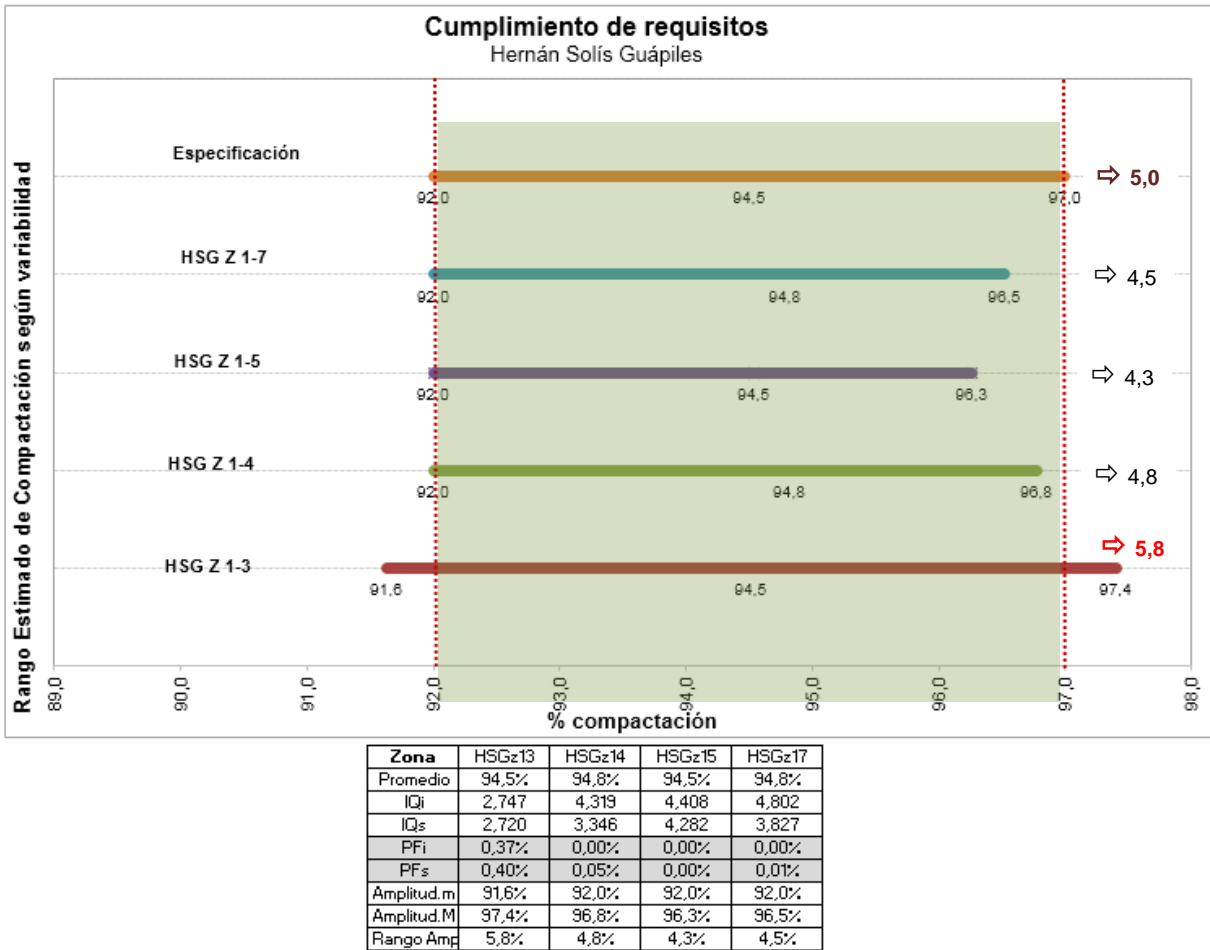


Figura 20. Variabilidad en procesos de compactación, Hernán Solís Guápiles



Hernán Solís Abangares

El análisis de inferencia estadística para determinar el cumplimiento de resultados de compactación reportados para las diferentes zonas que realizaron labores con mezcla asfáltica proveniente de la planta de la constructora Hernán Solís ubicada en Abangares, determinan un incumplimiento generalizado de los límites de especificación de porcentaje de compactación en todas las zonas tal como se presenta en la Figura 21.

La mayor variabilidad en el nivel de compactación (mayor incumplimiento) lo muestra la zona 3-2 con un ámbito de variación de 9,8% (4,8% fuera de la especificación), seguida por las zonas 3-1, 2-2 y 1-4 con un ámbito de variación de 8.3, 8.3 y 8.0 respectivamente. Finalmente, las zonas 2-1 y 1-5 son las que reportan el menor ámbito de variación siendo de 6.9% y 6.3% respectivamente.

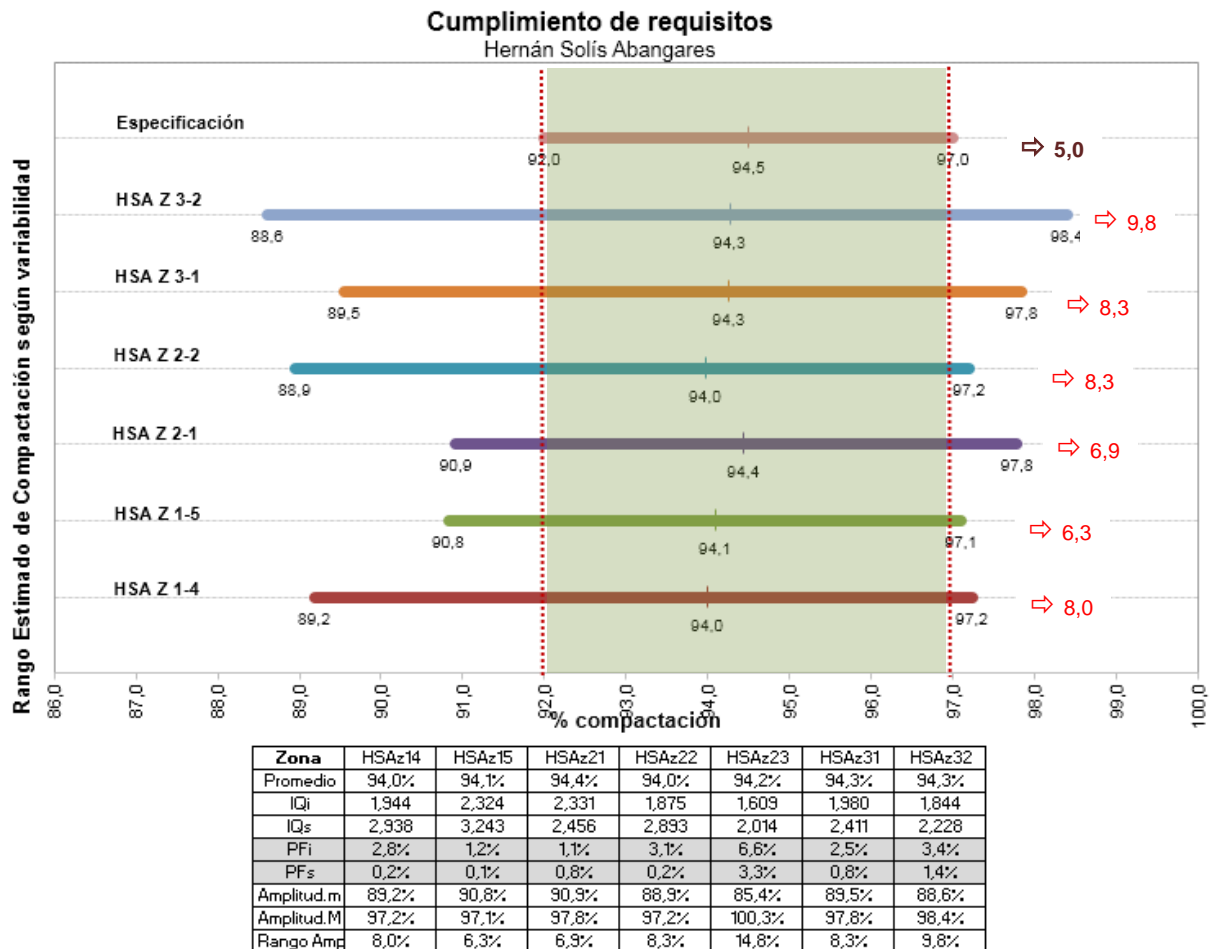


Figura 21. Variabilidad en procesos de compactación, Hernán Solís Abangares

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 37 de 49
----------------------	------------------	-----------------



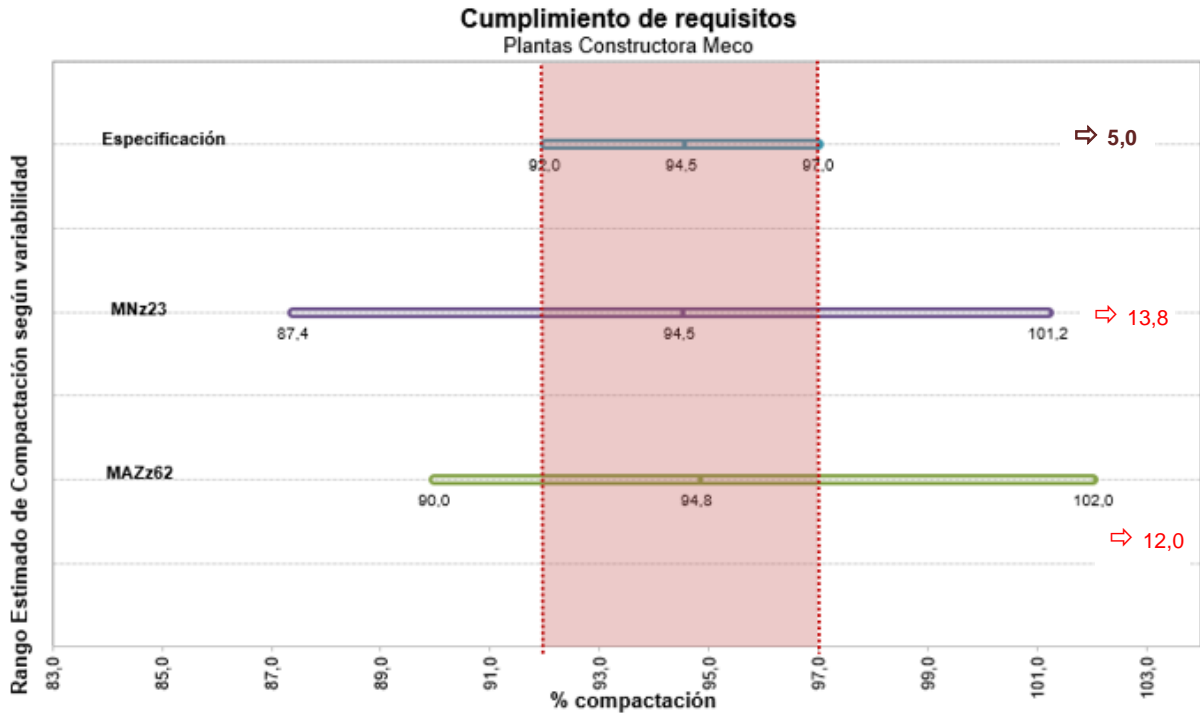
Constructora Meco

Meco Uruca y Meco Aguas Zarcas

La inferencia estadística realizada con los resultados de ensayo de compactación para la zona 1-1 arroja los mayores resultados de incumplimiento de la normativa establecida, mostrando un 30% de valores fuera de la especificación. Asimismo, la zona 1-9 determina que un 12% de los valores de compactación no satisfacen los criterios de la especificación. Ambas zonas laboraron con mezcla asfáltica proveniente del centro de producción ubicado en la Uruca.

Para la zona 6-2 de la Constructora Meco, con mezcla asfáltica del centro de producción de Aguas Zarcas, del análisis estadístico se determina un incumplimiento del 18% con los límites de especificación para el nivel de compactación, sobrepasando tanto el límite inferior como el superior de la especificación tal como se logra apreciar en **Figura 22**.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 38 de 49
----------------------	------------------	-----------------



Zona	MAZ62	MUZ11	MUZ19
Promedio	94,8%	93,7%	93,2%
IQi	2,058	0,849	1,151
IQs	1,647	1,634	3,539
PFi	2,0%	19,9%	13,1%
PFs	5,0%	5,3%	0,1%
Inferior	90,0%	72,1%	78,9%
Superior	102,0%	102,3%	97,1%
Rango	12,0%	30,2%	18,2%

Figura 22. Cumplimiento de requisitos de la Constructora Meco, Aguas Zarcas y Uruca

Constructora Quebradores del Sur

Quebradores del Sur

Al efectuar inferencia estadística a los resultados obtenidos de la planta de Quebradores del Sur, se determinan los valores representados en la **Figura 23**. Al comparar los rangos de valores de compactación con la especificación, se denota que ambos rangos de valores tienen una alta exactitud, ya que presentan tan solo un 3% de incumplimiento de la especificación. Además, los valores de compactación para ambas zonas son prácticamente similares, ya que

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 39 de 49
----------------------	------------------	-----------------



la zona 4-2 presenta valores de compactación que comprenden desde 91,7% a 94,4% y la zona 4-1 presenta valores de compactación que van desde el 91,1% hasta el 94,7%.

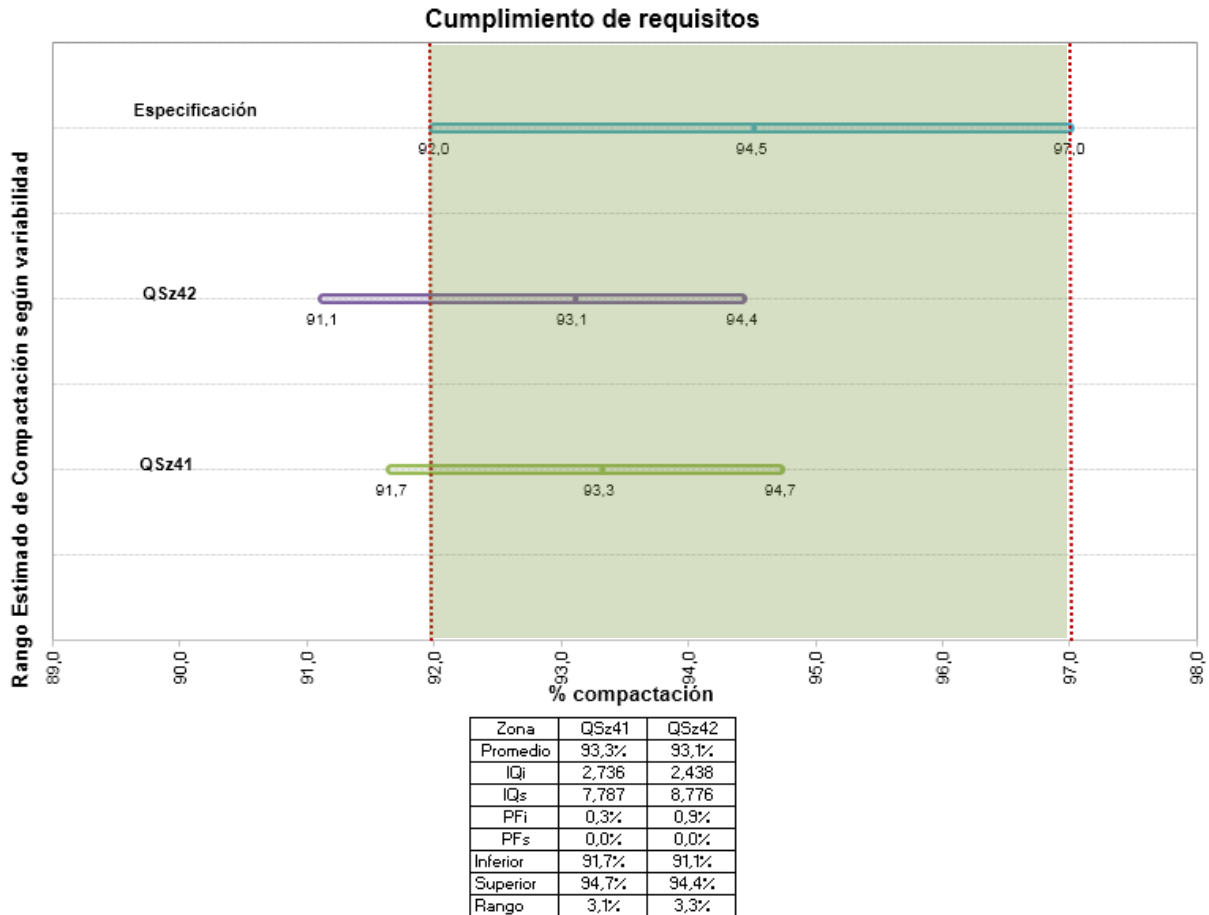


Figura 23. Cumplimiento de requisitos de la planta Quebradores del Sur



H. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN EN LABORES DE BACHEO

Constructora Hernán Solís

Al aplicar análisis mediante inferencia estadística a los resultados de compactación obtenidos en cada una de las zonas asignadas a la Constructora Hernán Solís, a saber zona 2-3 se determinan los valores de cumplimiento representados en la Figura 24. Se logra determinar que la zona 2-3 presenta una variabilidad mayor que la permitida por la especificación, ya que los valores inferidos de compactación evidencian un rango de incumplimiento de 14,8%.

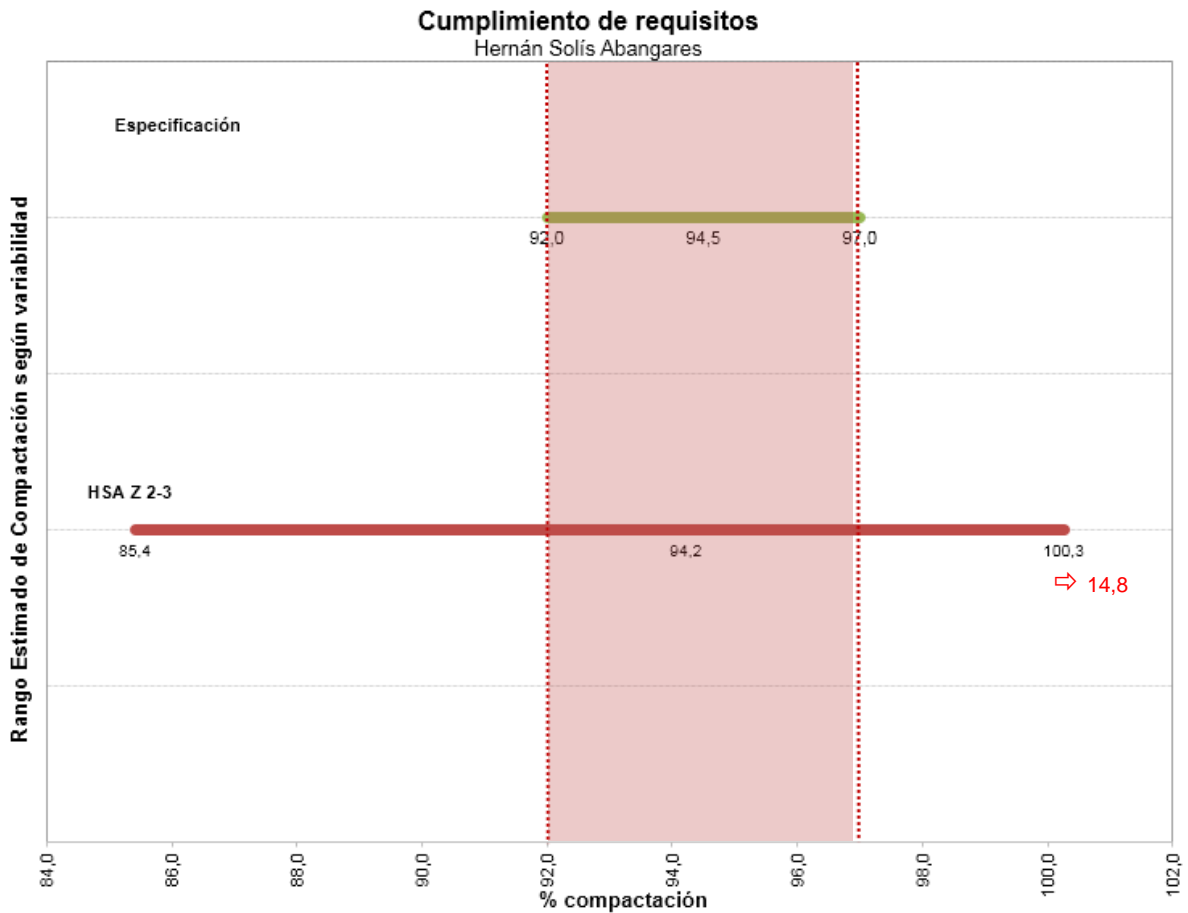


Figura 24. Cumplimiento de requisitos de la Constructora Hernán Solís



Constructora Meco

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%.

Al efectuar un análisis estadístico a los resultados obtenidos de las plantas de la Constructora Meco, se determinan los valores representados en la **Figura 25**, donde el cuadro rojo representa aquellos datos de porcentaje de compactación que se encuentran dentro de los límites de especificación. El mayor rango de variación en los resultados de compactación es de 8,4% para las zonas 2-3 y 2-4, con mezcla asfáltica perteneciente a la planta de Meco Nicoya. Ambas presentarían incumplimiento de ambos límites de especificación.

Por otro lado, el rango de compactación más bajo corresponde a la zona 4-3 con una magnitud de 6,0%, con mezcla asfáltica perteneciente a la planta Río Claro, e incumpliendo el límite menor de la especificación.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 42 de 49
----------------------	------------------	-----------------

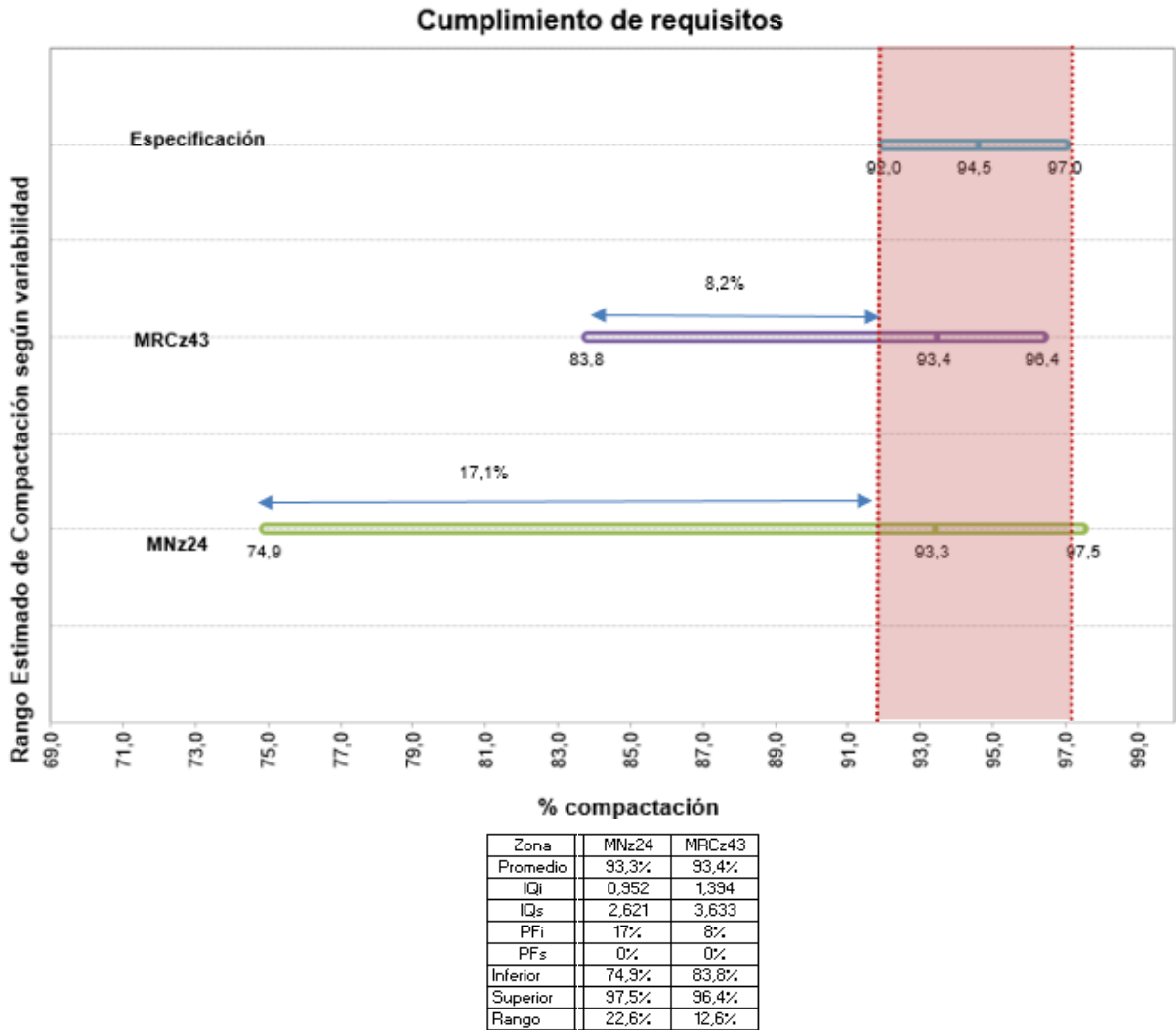


Figura 25. Cumplimiento de requisitos de la Constructora Meco

I. RESUMEN DE CUMPLIMIENTO DE COMPACTACIÓN

De la totalidad de los resultados presentados en la Figura 26 se denota que las zonas 4-1 y 4-2 son las zonas que tienen el menor porcentaje de valores fuera de la especificación, se denota que tanto las buenas prácticas de compactación, aunadas a la calidad de la mezcla asfáltica de la planta de Quebradores del Sur.

Por otro lado, se denota que las zonas 1-1 y 1-9 muestran una alta variabilidad de sus procesos de compactación, ya que la primera es la que muestra el mayor porcentaje de resultados fuera

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 43 de 49
----------------------	------------------	-----------------



de los límites de especificación. Podría conjeturarse que estas zonas se vieron influenciadas por la procedencia de la mezcla asfáltica, ya que ambas trabajaron con la mezcla producida por la planta de la Constructora Meco en la Uruca.

Planta	90% V=10%	91% V=9%	92% V=8%	93% V=7%	94% V=6%	95% V=5%	96% V=4%	97% V=3%	98% V=2%	99% V=1%	100% V=0%
HSGZ ₁₃			91,6					97,4			
HSGZ ₁₄			92,0					96,8			
HSGZ ₁₅			92,0				96,3				
HSGZ ₁₇			92,0				96,5				
HSAZ ₁₄	89,2							97,2			
HSAZ ₁₅		90,8						97,1			
HSAZ ₂₂	88,9							97,2			
HSAZ ₃₁	89,5								97,8		
HSAZ ₃₂	88,6								98,4		
QSZ ₄₁			91,7			94,7					
QSZ ₄₂		91,1			94,4						
MU ₁₁	72%										102,3
MU ₁₉	79,0							97,1			
MRC ₆₂	90,0										102,0

Figura 26. Distribución y variabilidad de porcentajes de compactación de mezcla asfáltica

También se evidencia la influencia directa de la procedencia de la mezcla asfáltica en las labores de compactación, tal como se determina entre los centros de producción de la Constructora Hernán Solís en donde la planta ubicada en Guápiles tiene un alto nivel de cumplimiento en la mayoría de las zonas (zonas 1-4, 1-5 y 1-7) que colocaron sobrecapas con mezcla proveniente de dicho centro de producción. En tanto que el centro de producción ubicado en Abangares, la totalidad de las 6 zonas a las que se despachó mezcla producida en dicha planta reportan incumplimiento de ambos límites de especificación de compactación, tal como se indicó anteriormente.



17. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados de ensayo obtenidos por el LanammeUCR para las mezclas asfálticas manufacturadas en las diversas plantas asfálticas que se produjeron para los contratos de conservación vial en el primer semestre de 2019, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

Compactación de sobrecapas asfálticas

- a. Se determina que aproximadamente el 50% de las zonas analizadas evidencian una alta dispersión en las labores de compactación de sobrecapas abarcando entre 4 y 5 puntos porcentuales del rango de densificación. Mientras que el 33% de las zonas estudiadas muestran un alto grado de exactitud, ya que gran parte de los resultados se agrupan en 1 ó 2 puntos porcentuales.
- b. Las zonas 4-1 y 4-2 que trabajaron con mezcla de Quebradores del Sur son las que mayor precisión reportan en las labores de compactación. Por su parte las zonas 1-3, 1-4, 1-5 y 1-7 que utilizaron mezcla de Hernán Solís en Guápiles reportan una precisión intermedia en las labores realizadas de compactación. En tanto las zonas que menor precisión reportan en las labores ejecutadas de compactación son 2-1, 2-2, 3-1 y 3-2 (con mezcla de Hernán Solís en Abangares) y las zonas 1-1, 1-9 y 6-2 (con mezcla de Meco La Uruca y Aguas Zarcas).
- c. En relación con el cumplimiento de la especificación, se determina un alto incumplimiento del rango de compactación establecido en las zonas 1-1 y 1-9, ambas con mezcla asfáltica de Meco (Uruca y Aguas Zarcas, respectivamente). La presencia de alto contenido de vacíos en la carpeta asfáltica por efecto de la compactación tiene un efecto perjudicial en el desempeño final del pavimento.
- d. También se denota un mayor incumplimiento de la especificación de compactación permitida en las zonas 1-4, 1-5, 2-2, 3-1 y 3-2 que trabajaron con mezcla de Hernán Solís Abangares, en relación al cumplimiento en la especificación de compactación en las zonas 1-3, 1-4, 1-5 y 1-7 que laboraron con mezcla de Hernán Solís Guápiles, incluso en dos zonas compartidas.
- e. Se logra determinar que aproximadamente el 60% de todos los resultados de compactación analizados se concentran entre el 93% al 95% de compactación de la sobrecapa asfáltica.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 45 de 49
----------------------	------------------	-----------------



Compactación de bacheo

- f. Los resultados de compactación para las actividades de bacheo realizadas por la Constructora Meco, tanto para las zonas de Guanacaste (planta Nicoya), como para la zona Sur (Planta Río Claro) muestran algún incumplimiento en uno o los 2 límites de la especificación contractual. Se denota una mayor variabilidad en las zonas 2-3 y 2-4 de Guanacaste, en comparación a la zona 4-3 que tiene una menor variabilidad.
- g. Respecto a los resultados de compactación obtenidos por la Constructora Hernán Solís para las actividades de bacheo en las zonas 2-1 y 2-3 se observa una alta variabilidad, particularmente para la zona 2-3, y por ende incumplimiento en ambos límites de especificación para las dos zonas estudiadas.

18. RECOMENDACIONES

A continuación, se listan algunas recomendaciones para que sean consideradas por la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, con el propósito de que se definan e implementen soluciones integrales en los proyectos que ejecuta esta gerencia.

- a. De acuerdo a los hallazgos encontrados en el presente informe se insta a la Administración a llegar un monitoreo más estricto del cumplimiento de los parámetros de compactación, ya que a pesar de que muchas plantas presentan procesos controlados si se observan incumplimientos en otros centros de producción, especialmente en la planta de HS en Abangares.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 46 de 49
----------------------	------------------	-----------------



19. REFERENCIAS

- Aguiar Moya, J. P., & Allen Monge, J. (2004). *Comparación de resistencia al agua y a la deformación permanente en mezclas asfálticas densas y SMA*. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica: LanammeUCR.
- Arias Barrantes, E. (2014). *LM-PI-GM-INF-22-14 "Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico empíricos"*. San Pedro de Montes de Oca, San José: LanammeUCR.
- Cervantes Calvo, V. H., & Fonseca Chaves, F. (2017). *LM-PI-AT-154-17 "Evaluación de la mezcla asfáltica producida en diferentes centros de producción para los proyectos viales"*. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.
- CONAVI. (2014). Cartel de Licitación Pública No. 2014LN-000018-0CV00 MP Y R: Mantenimiento periódico y rehabilitación del pavimento de la red vial nacional pavimentada. San José.
- Costa, I. M. (2009). *Instituto Meteorológico de Costa "Atlas Climatológico"*. San José, Costa Rica.
- Epps, J., Fee, F., Foo, K., & all, a. e. (2011). *NCHRP Report 673 "A manual for desing of hot mix Asphalt"*. Washington D.C, USA: Transportarion Research Board.
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., & all, e. (2005). *Análisis de varianza del efecto de algunos factores que influyen en la deformación permanente de mezclas asfálticas*. Sanfandila, Querétaro.
- Guerrero Aguilera, S., & Herra Gómez, L. D. (2017). *LM-AT-121-17 "Evaluación de parámetros y metodología utilizada en los diseños de pavimentos"*. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica: LanammeUCR.
- Huamán Guerrero, N. (2011). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Leiva Villacorta, F. (2004). *Estudio del Módulo Dinámico complejo de mezclas asfálticas. Desarrollo de curvas maestras*. San Pedro de Montes de Oca, San José: LanammeUCR.
- Mateos Moreno, A., & Soares, J. (2015). El módulo dinámico de la mezcla bituminosa: importancia, evaluación y estimación. *Asfalto y Pavimentación*, 64.
- MOPT. (2010). *Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes*. San José.
- US Army Corps of Engineers. (2000). *Hot Mix Asphalt Paving Handbook*.

Informe LM-AT-069-19	diciembre , 2019	Página 47 de 49
----------------------	------------------	-----------------



EQUIPO AUDITOR

Preparado por:
Ing. Victor Cervantes Calvo.
Auditor Técnico

Preparado por:
Ing. Francisco Fonseca Chaves.
Auditor Técnico

Aprobado por:
Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.
Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica

Aprobado por:
Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

Visto Bueno de Legalidad:
Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor Legal Externo LanammeUCR



Anexo

Anexo 1. Determinación de la desviación estándar para resultados de compactación

Para determinar la máxima desviación estándar requerida para un lote donde los resultados de densidad establecen que la labor de compactación es totalmente aceptable (sin reducción de pago), se decide utilizar una muestra de tamaño habitual de 30 muestras. Con esta información se obtienen los diferentes escenarios donde se satisface el máximo porcentaje de trabajo fuera de los límites de especificación permisible que establece un factor de pago de 1. Posteriormente se determina el índice de calidad para cada uno de los límites, inferior y superior, para finalmente estimar los valores de la desviación estándar y el promedio que logre satisfacer la condición anteriormente indicada.

Suma PWL	P(Qi)	P(Qs)	para 30 datos		desv	Prom ⇒ Qi	Prom ⇒ Qs
			Qi	Qs			
10	0	10	2,48	1,25	1,34	95,3	95,3
10	1	9	2,12	1,31	1,46	95,1	95,1
10	2	8	1,93	1,37	1,52	94,9	94,9
10	3	7	1,79	1,44	1,55	94,8	94,8
10	4	6	1,68	1,51	1,567	94,6	94,6
10	5	5	1,59	1,59	1,572	94,5	94,5
10	6	4	1,51	1,68	1,567	94,4	94,4
10	7	3	1,44	1,79	1,55	94,2	94,2
10	8	2	1,37	1,93	1,52	94,1	94,1
10	9	1	1,31	2,12	1,46	93,9	93,9
10	10	0	1,25	2,48	1,34	93,7	93,7