

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

Informe final: LM-INF-IC-D-006-2020

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA DE TMN 12.5 mm, COLOCADA EN PROYECTOS DE CONSERVACIÓN VIAL. *Licitación pública No. 2014LN-000018-0CV00. Varias Zonas*



Preparado por:
Unidad de Auditoría Técnica
LanammeUCR

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
Enero, 2021

**INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
MEZCLA ASFÁLTICA DE TMN 12,5 mm, COLOCADA EN PROYECTOS DE CONSERVACIÓN 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: $\text{¢}128.071.430.745,31$ (colones)

Plazo original de ejecución: 1095 días naturales

Director del LanammeUCR:
Ing. Alejandro Navas Carro, MSc.

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

Audidores:
Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Líder)
Ing. Rose Mary Cabalceta Rubio (Asistente Técnico)

Asesor Legal:
Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

El estudio que se realiza está comprendido entre enero a diciembre 2019, considerando todas las plantas de producción activas en este período y cuya producción estuviera destinada a proyectos de Conservación Vial, además tomando en cuenta en este estudio al centro de producción de CONANSA Calle Blancos.

Los resultados analizados son los de las granulometrías, contenido de vacíos, VFA y relación polvo/asfalto, reportados por los laboratorios de verificación de los centros de producción de mezcla asfáltica: Conansa, Meco Uruca, Meco Guápiles, Meco Nicoya, Meco Río Claro y Hernán Solís Guápiles.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	FUNDAMENTACIÓN	6
2.	OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	6
3.	OBJETIVOS DEL INFORME	6
3.1	OBJETIVO GENERAL	6
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
4.	ALCANCE DEL INFORME	7
5.	METODOLOGÍA	7
6.	DOCUMENTOS DE PREVALENCIA	9
7.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
8.	AUDIENCIA A LOS AUDITADOS	9
9.	MARCO TEORICO	12
10.	RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	15
11.	HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA	15
12.	COMPARACIÓN DE ÍNDICES IPP E IPPK EN GRANULOMETRIA DE LA MAC	16

OBSERVACIÓN 1: ALGUNOS DE LOS CENTROS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA DEMUESTRAN TENER ÍNDICES DE CAPACIDAD DE PROCESO PRODUCTIVO INFERIORES AL ADECUADO PARA EL TRABAJO, EN LOS TAMAÑOS GRANULOMÉTRICOS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA (½", ¾", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 Y N°200) LO QUE PODRÍA EVIDENCIAR UN RIESGO DE INCUMPLIR LOS REQUISITOS DE ESPECIFICACIÓN ESTABLECIDOS. 17

OBSERVACIÓN 2: DEL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO SE IDENTIFICARON TENDENCIAS HACIA ALGUNO DE LOS LÍMITES DE LA ESPECIFICACIÓN EN ALGUNAS DE LAS PLANTAS ANALIZADAS, LO CUAL SE DETERMINA POR LA DIFERENCIA EXISTENTE ENTRE EL IPP Y EL IPPK. 18

OBSERVACIÓN 3: SE DETERMINA QUE LOS RESULTADOS DE LA MALLA DE 12,5 MM REPORTADOS PARA TODAS LAS PLANTAS TIENEN UN IPPK MENOR O IGUAL 1, CON TENDENCIA HACIA AL LEI. 20

OBSERVACIÓN 4: EN ALGUNOS CENTROS DE PRODUCCIÓN SE DETERMINA UN PORCENTAJE DE RESULTADOS FUERA DEL LÍMITE DE ESPECIFICACIÓN AL APLICAR EL MODELO DE INFERENCIA ESTADÍSTICA ESTABLECIDO EN EL CARTEL, A PESAR QUE NINGÚN DATO SE OBSERVA FUERA DE ESTOS LÍMITES. 22

OBSERVACIÓN 5: LOS RESULTADOS REPORTADOS PARA LA MALLA N°4 REFLEJAN QUE LA MITAD DE LAS PLANTAS ANALIZADAS TIENEN UN PROCESO CON TENDENCIA HACIA AL LEI, CON UN IPPK MENOR O IGUAL A 1. 23

OBSERVACIÓN 6: SE LOGRA IDENTIFICAR IPPK MENORES O IGUALES A 1 EN LAS MALLAS N° 8, N°16 Y N° 30 EN MN Y MG, CON TENDENCIAS HACIA EL LES. 24

13.	COMPARACIÓN DE ÍNDICES IPP E IPPK DE MEZCLA ASFÁLTICA	26
-----	--	----

OBSERVACIÓN 7: SE DETERMINA QUE ALGUNOS DE LOS CENTROS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA TIENEN ÍNDICES DE CAPACIDAD DE PROCESO PRODUCTIVO INFERIORES AL VALOR CONSIDERADO COMO ADECUADO PARA EL TRABAJO, EN LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS ANALIZADOS. 26

OBSERVACIÓN 8: LOS RESULTADOS DE IPP E IPPK DETERMINADOS PARA EL PARÁMETRO DE CONTENIDO DE VACÍOS EVIDENCIAN QUE LA MAYORÍA DE LOS CENTROS DE PRODUCCIÓN ANALIZADOS TIENEN UN PROCESO CON TENDENCIA AL LES, CON UN IPPK MENOR O IGUAL A 1. 27

OBSERVACIÓN 9: LOS VALORES DE IPP E IPPK DETERMINADOS PARA EL PARÁMETRO VFA DEMUESTRAN PROCESOS DE FABRICACIÓN POCO EFICIENTES E IMPRECISOS EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE RESPECTO A LA ESPECIFICACIÓN ESTABLECIDA PARA ESTE PARÁMETRO. 29

OBSERVACIÓN 10: SE DETERMINA UNA BUENA EFICIENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA EL PARÁMETRO VOLUMÉTRICO DE POLVO ASFALTO DEBIDO A QUE EN LA MAYORÍA DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REPORTA VALORES DE IPP E IPPK MAYORES A 1,0 CON UNA CLARA TENDENCIA HACIA ÉL LES. 31

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
14. BIBLIOGRAFÍA.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 UBICACIÓN DE CENTROS DE PRODUCCIÓN ANALIZADOS	8
FIGURA 2 GRÁFICOS DE COMPARACIÓN DE ÍNDICE IPP E IPPK	14
FIGURA 3 HISTOGRAMAS ANÁLISIS DE CAPACIDAD.....	19
FIGURA 4 HISTOGRAMAS ANÁLISIS DE CAPACIDAD MALLA 12.5.....	21
FIGURA 5 HISTOGRAMAS ANÁLISIS DE CAPACIDAD MALLA 12.5.....	22
FIGURA 6 HISTOGRAMAS ANÁLISIS DE CAPACIDAD MALLA 4.....	24
FIGURA 7 HISTOGRAMAS ANÁLISIS DE CAPACIDAD MG MN	25
FIGURA 8 HISTOGRAMAS ANÁLISIS DE CAPACIDAD CONTENIDO DE VACÍOS.....	28
FIGURA 9 HISTOGRAMAS ANÁLISIS DE CAPACIDAD VFA	30
FIGURA 10 HISTOGRAMAS ANÁLISIS DE CAPACIDAD RELACIÓN POLVO/ASFALTO	32

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 DETALLE DE INFORMES DE VERIFICACIÓN	8
TABLA 2 ZONAS ADJUDICADAS POR CONTRATISTA	10
TABLA 3 VALORES ESTABLECIDOS PARA IPPK	14
TABLA 4 CANTIDAD DE INFORMES ANÁLIZADOS POR PLANTA.....	16
TABLA 5 VALORES IPP E IPPK PARA GRANULOMETRÍA	17
TABLA 6 VALORES IPP E IPPK PARA PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS.....	27

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

Evaluación de la capacidad de los procesos de las plantas de producción de mezcla asfáltica de TMN 12,5 mm, destinada para proyectos de conservación 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.

3. OBJETIVOS DEL INFORME

3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este informe es valorar de forma general la capacidad de los procesos de producción de mezcla asfáltica producida por los diversos contratistas y que es utilizada en los procesos de conservación vial aplicados por el CONAVI. En dicha valoración se realiza un análisis de capacidad para determinar si el proceso es capaz de producir un producto que satisfaga los diferentes límites de especificación establecidos en el cartel.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad del producto final obtenido en el proceso de producción de mezcla asfáltica mediante ensayos Marshall.
- Evaluar la capacidad del proceso productivo de mezcla asfáltica, particularmente los tamaños de mallas de la combinación granulométrica y los parámetros volumétricos de contenido de vacíos, VFA y relación polvo/asfalto.

4. ALCANCE DEL INFORME

El estudio que se realiza está comprendido entre enero a diciembre 2019, considerando todas las plantas de producción activas en este período y cuya producción estuviera destinada a proyectos de Conservación Vial. Además, a pesar de no producir para el contrato de Conservación Vial, se incluye en este estudio al centro de producción de CONANSA Calle Blancos.

Los resultados analizados son los de las granulometrías, contenido de vacíos, VFA y relación polvo/asfalto, reportados por los laboratorios de verificación de los centros de producción de mezcla asfáltica: Conansa Calle Blancos, Meco Uruca, Meco Guápiles, Meco Nicoya, Meco Río Claro y Hernán Solís Guápiles. Otros centros de producción no se incluyeron en el presente informe debido a que se recopilaban muy pocos resultados reportados por los laboratorios de verificación, por lo que no representaba una muestra suficiente para realizar el análisis.

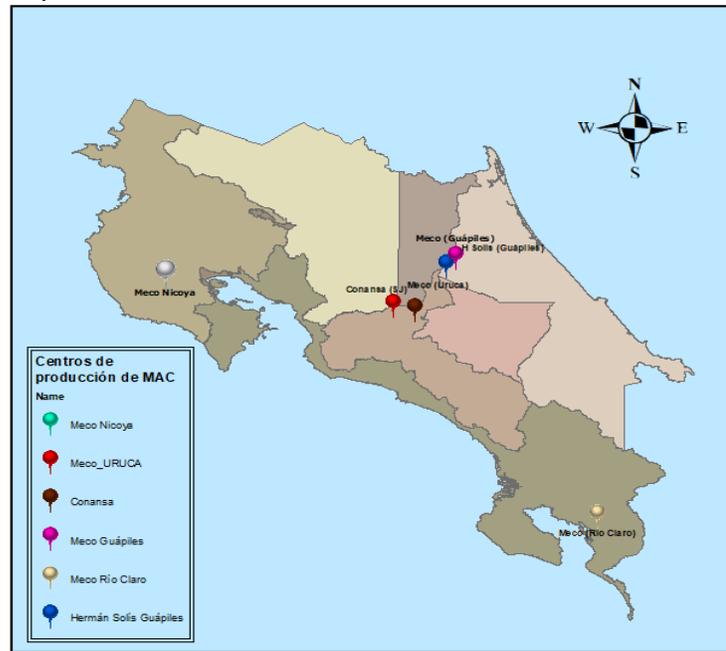
5. METODOLOGÍA

La fiscalización que realiza la Auditoría Técnica del LanammeUCR es un proceso independiente, basado en normas y procedimientos establecidos, aplicando criterios imparciales 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 el Equipo Auditor de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR se recopilaban informes de verificación de calidad de los centros de producción indicados en la Figura 1 y se analizaron los resultados mediante diversos análisis estadísticos para determinar el cumplimiento de las especificaciones contractuales.

Figura 1

Ubicación de centros de producción analizados



La Unidad de Auditoría Técnica, mediante el Departamento de Verificación de la Calidad Gerencia de Conservación de Vías y Puentes del Conavi, gestionó la obtención y entrega de los resultados de verificación de la mezcla asfáltica producida durante el año 2019 para cada uno de los diferentes centros de producción. A continuación se detalla en la Tabla 1 un resumen de los resultados analizados.

Tabla 1

Detalle de informes de verificación por centro de producción de mezcla asfáltica.

Centro de Producción	Informes de verificación analizados	Granulometría	VFA	Contenido de vacíos	Relación Polvo / asfalto
Meco Uruca	218	√	x	√	x
Meco Guápiles	39	√	√	√	√
Hernán Solís Guápiles	214	√	√	√	√
Meco Río Claro	148	√	√	√	√
Meco Nicoya	169	√	√	√	√
Conansa, Calle Blancos	95	√	x	√	x

Nota: 1. √= Se cuentan con los resultados de verificación 2. x=No fueron aportados datos de verificación de calidad para estos ensayos

6. 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.
- 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.
- Todas aquellas normas ASTM que cuenten con homologación vigente del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) regirán sobre su homologada. El contratista tendrá la obligación de verificar y aplicar toda la normativa INTECO aplicable.

7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Las plantas de producción de mezcla asfáltica ubicadas en el territorio nacional y que producen mezcla asfáltica para actividades de conservación vial en su mayoría mantienen una disposición del proceso de producción de forma permanente (Plantas Continuas) para un total de 7 centros de producción bajo esta modalidad de producción. Sin embargo, también se tienen 2 plantas con procesos discontinuos (Plantas de Baches).

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.

Tabla 2

Líneas de cada contratista y su respectiva planta suplidora.

Línea	Contratista	Planta Suplidora	Tipo	Zona
Línea 1	MECO	Meco Uruca	Continua	1-1 San José 1-2 Puriscal 1-9 Heredia
Línea 2	Hernán Solís	HS Guápiles	Bache	1-4 Alajuela Sur 1-5 Alajuela Norte 1-6 San Ramón
Línea 3	Hernán Solís	HS Guápiles	Bache	1-3 Los Santos 1-7 Cartago 1-8 Turrialba
Línea 5	MECO	Meco Nicoya	Continua	2-3 Santa Cruz 2-4 Nicoya 3-1 Puntarenas 3-2 Quepos 4-2 Buenos Aires
Línea 8	MECO	Meco Río Claro	Continua	4-3 Río Claro
Línea 9	MECO	Meco Guápiles	Continua	5-1 Guápiles 5-2 Limón 6-2 Los Chiles

8. AUDIENCIA A LOS AUDITADOS PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSIÓN PRELIMINAR LM-INF-IC-D-006B-2020

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-IC-D-1067-2020 del 01 de diciembre de 2020, se envía el presente informe en versión preliminar LM-INF-IC-D-006B-2020 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 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 6 de enero del 2021, sin embargo, debido a que no se emitieron comentarios concernientes al informe por parte de la administración y en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, se procede a emitir el informe LM-INF-IC-D-006-2020 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley.

Asimismo, como parte del proceso de Auditoría, se realiza una presentación por medios virtuales el día 8 de diciembre de 2020 con el auditado con el fin de comentar aspectos relacionados con el informe. La presentación contó con la asistencia de los siguientes participantes:

Institución	Nombre
Conavi (Administración)	Berny Quirós (Auditoría Interna)
	Karen Zuñiga Brenes (Conservación Vial)
	Julio Cesar Carvajal (Conservación Vial)
Laboratorios de verificación	Francisco Gómez Vega (Conservación Vial)
	Carlos Solís (Cacisa)
	Luis Diego Moreira (Castro y de la Torre)
	Amed Aldi Bolaños (LGC Ingeniería)
	Luis Guillermo Chavarría (LGC Ingeniería)
	Jefrey Ramírez (LGC Ingeniería)
	Juan Carlos Vargas (Vieta y Asociados)
Mariana Céspedes Cedeño (Limpsa)	
LanammeUCR (Auditoría Técnica)	Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
	Rose Mary Cabalceta Rubio (Asistente Técnico)
	Wendy Sequeira Rojas (Coordinadora Auditoría Técnica)

9. MARCO TEORICO

La capacidad del proceso es el grado de aptitud que tiene un proceso para cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en el contrato. En este análisis se generan diferentes índices de capacidad de proceso, los cuales indican que tan alejado se encuentra determinada variable de proceso de cumplir con las especificaciones establecidas. (Acuña, 2009)

El primer índice de calidad que proporciona el análisis de capacidad, es el índice de capacidad del proceso (IPp) el cual provee una medida de capacidad a largo plazo del proceso; sin embargo, el estadístico mencionado evalúa la capacidad a largo plazo con base en la variación del proceso y no en su ubicación. Para realizar el cálculo del IPp se realiza una comparación entre el límite de especificación superior (LES) y el límite de especificación inferior (LEI), entre la dispersión del proceso con base en la desviación estándar a largo plazo (σ). El cálculo del IPp está dado por la siguiente ecuación:

$$IPp = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

Dónde: IPp: Índice de capacidad de proceso
LES: Límite de especificación superior
LEI: Límite de especificación inferior
 σ : Desviación estándar a largo plazo

El segundo índice de calidad que proporciona el análisis de capacidad, es el índice de capacidad real del proceso a largo plazo (IPpk), el cual proporciona una medida de capacidad a largo plazo del proceso basándose en la variación del proceso y en su ubicación según el rango de tolerancia de la especificación, además de una variación general de todas las mediciones tomadas. Para realizar el cálculo del IPpk, se evalúa el mínimo valor entre el cálculo de los índices de capacidad inferior (IPpi) y superior (IPps); en los cuales se compara la distancia de la media del proceso al límite de especificación más cercano, entre la dispersión específica del proceso con base en la variación o desviación estándar a largo plazo (σ). Los cálculos están dados por las siguientes ecuaciones:

$$IPpi = \frac{\bar{x} - LEI}{3\sigma}$$

Dónde: IPpi: Índice de capacidad inferior del proceso
LEI: Límite de especificación inferior
 \bar{x} : Media del proceso
 σ : Desviación estándar a largo plazo

$$IPps = \frac{LES - \bar{x}}{3\sigma}$$

Dónde: IPps: Índice de capacidad superior del proceso
LES: Límite de especificación superior
 \bar{x} : Media del proceso
 σ : Desviación estándar a largo plazo

$$IPpk = \min(IPpi; IPps)$$

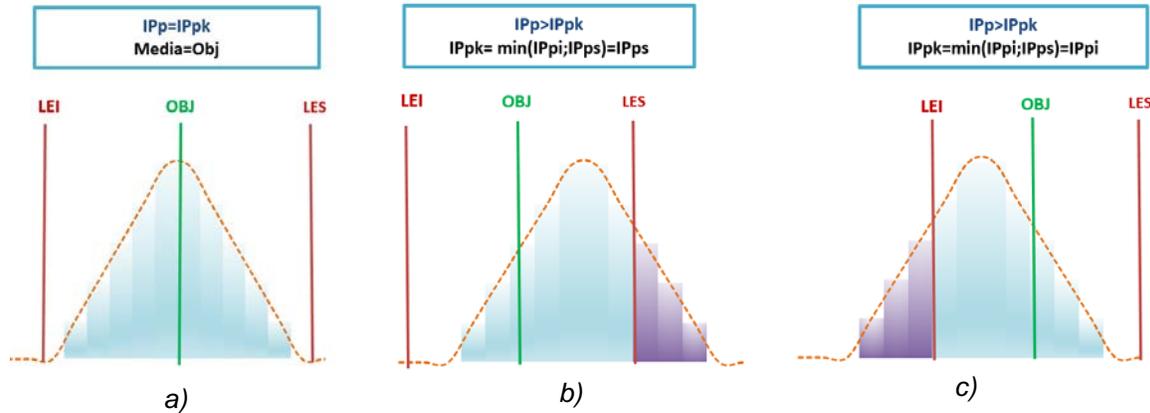
Dónde: IPpk: Índice de capacidad real del proceso
IPps: Índice de capacidad superior del proceso
IPpi: Índice de capacidad inferior del proceso

Como bien se indicó anteriormente, el IPp mide el rango de variación del proceso en términos de la tolerancia total permitida sin considerar si el proceso está o no centrado. Por lo tanto, se considera como una medida de precisión, pero no de exactitud. El IPpk mide el rango de variación del proceso en términos de la variación total permitida considerando si el proceso está o no centrado. Por lo cual se considera a esta medida como un indicativo de precisión y exactitud. (Acuña 2009)

En la Figura 2 se realiza una representación gráfica de los conceptos de IPp y el IPpk; en la Figura 2a se presenta el caso cuando el IPp y el IPpk son iguales, por ende la media del proceso es igual al valor medio del rango de especificación (OBJ) y la variación (σ) se mantiene dentro de los límites establecidos; por lo tanto el proceso es capaz de producir dentro de los límites de especificación. En la Figura 2b se presenta el caso cuando el IPp es mayor al IPpk, y que por efecto del valor medio el IPpk tiende al LES. Esta situación indica que el proceso puede necesitar mejoras debido a que hay una capacidad potencial de que se pueda salir del LES o que incluso parte del proceso este afuera, dependiendo de la magnitud de la variación (σ) existente. En la Figura 2c se muestra el caso cuando el IPp es mayor al IPpk y por influencia del valor medio este último tiene una tendencia al LEI. Dicha situación es indicativa que el proceso puede necesitar mejoras debido a que hay una capacidad potencial que pueda provocar que los valores puedan salir del LEI o que ya estén afuera, de acuerdo a la variación (σ) existente.

Figura 2

Gráficos de comparación de los índices IPp contra $IPpk$



Nota: LES=Límite de especificación superior, LEI=Límite de especificación inferior, OBJ= Valor medio del rango de la especificación

Para poder establecer cuando se cuenta con un índice de capacidad adecuado, se establecen los criterios de la Tabla 3. Por lo general, valores de IPp o $IPpk$ más altos que 1,33 son un indicativo de que el proceso es más que capaz de cumplir con los límites de especificación establecidos. Sin embargo, valores de IPp o $IPpk$ más bajos que 1 indican que el proceso puede necesitar mejoras.

Tabla 3

Valores establecidos para los índices IPp e $IPpk$

Valor $IPpk$	Decisión
$1,33 \leq IPp; IPpk \leq 2$	Más que adecuado
$1 \leq IPp; IPpk \leq 1,33$	Adecuado para el trabajo, pero requiere control
$0,67 \leq IPp; IPpk \leq 1$	No adecuado. Se requiere un análisis del proceso de producción
$IPp; IPpk < 0,67$	No adecuado. Requiere modificaciones del proceso de producción

10. 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.

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.

11. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA

El monitoreo del proceso de producción, como parte del proceso de control de calidad, mediante la comparación de los resultados de los ensayos que se ejecutan con las especificaciones y la fórmula de trabajo, se realiza con el propósito de detectar posibles variaciones del proceso productivo que permitan efectuar modificaciones o ajustes correctivos, además, que habilita en algunas situaciones evaluar o reformular el diseño de la mezcla asfáltica utilizada en el proceso de pavimentación.

Las diversas propiedades que define la metodología de diseño de mezcla tienen como principal objetivo establecer la combinación más económica de los agregados y el asfalto que permita a la capa de ruedo ser durable, tener mayor resistencia a la deformación y a la presencia de humedad. Mediante este proceso (diseño de mezcla) se establecen los requisitos y las tolerancias especificados que debe cumplir la mezcla asfáltica según la metodología que se emplee.

PRIMERA PARTE

12. COMPARACIÓN DE ÍNDICES IPP E IPPK EN GRANULOMETRIA DE LA MAC

SOBRE LA CAPACIDAD DE CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE LA GRANULOMETRÍA

Como parte del estudio realizado por la auditoría técnica se efectúa un análisis de capacidad de los procesos productivos de las plantas que manufacturan mezcla asfáltica para los proyectos de Conservación Vial, las plantas incluidas en el análisis, así como la cantidad de resultados analizados se muestran en la Tabla 4. Los resultados de ensayo se obtienen de los informes de verificación de la calidad emitidos durante el año 2019 por los laboratorios de verificación que laboran en las diferentes plantas indicadas anteriormente.

Tabla 4

Cantidad de informes analizados por planta

Planta	Cantidad de Informes de verificación analizados
Meco Uruca	218
Meco Río Claro	148
Meco Nicoya	169
Meco Guápiles	39
HS Guápiles	214
Conansa Calle Blancos	95

A los resultados de los parámetros de ensayo reportados en los informes se les realiza el análisis de capacidad, según los límites de especificación establecidos en el cartel. Los parámetros analizados son: todos los tamaños granulométricos para mezcla de 12,5mm, contenido de vacíos, porcentaje de VFA y la relación polvo/asfalto.

De este análisis se obtienen los índices de calidad IPP y el IPPk, a los cuales se les realiza una comparación con los criterios indicados en la Tabla 3, para identificar la capacidad del proceso en cada parámetro analizado y además identificar si el proceso está centrado entre los límites de especificación o si el proceso no está centrado.

Análisis de capacidad para la curva granulométrica de MAC de 12,5 mm

Observación 1: Algunos de los centros de producción de mezcla asfáltica demuestran tener índices de capacidad de proceso productivo inferiores al adecuado para el trabajo¹, en los tamaños granulométricos de la curva granulométrica (½”, ¾”, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°200) lo que podría evidenciar un riesgo de incumplir los requisitos de especificación establecidos.

Para el análisis de capacidad de la granulometría establecida para la mezcla de 12,5 mm se determinaron los índices de capacidad **IPp** e **IPpk** para los resultados reportados por los diferentes laboratorios de verificación de cada uno de los tamaños granulométricos establecidos en la curva granulométrica (½”, ¾”, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°200) para cada una de las plantas indicadas en la Tabla 4. Esto permite obtener una medida de precisión y exactitud para la producción de MAC en la parte granulométrica.

Los índices determinados se muestran en la Tabla 5, por malla y por planta, de los cuáles se destacan con rojo aquellos IPpk que se consideran no son adecuados para el proceso de producción (valor menor a 1) y con naranja los IPpk que requieren algún tipo de control (igual o mayor a 1).

Tabla 5

Índices IPp e IPpk para mallas de todas las plantas

Planta		MALLA							
		12,5 mm	9,5 mm	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°200
Meco Uruca	IPp	1,4	2,1	2,1	1,6	1,9	2,4	3,4	3,7
	IPpk	0,6 LEI	1,9	1,3	1,5	1,4	1,5	2,7	2,6
Meco Río Claro	IPp	1,6	2,2	2,8	2,0	2,4	3,8	5,4	4,5
	IPpk	1,0 LEI	2,0	1,9	1,3	2,3	3,0	4,9	3,3
Meco Nicoya	IPp	1,0	1,1	1,3	0,9	1,1	1,3	1,8	2,2
	IPpk	0,4 LEI	1,0 LEI	1,0 LEI	0,8 LES	0,9 LES	1,1	1,7	1,8
Meco Guápiles	IPp	1,3	1,2	1,5	1,0	1,3	1,9	3,0	3,2
	IPpk	0,4 LEI	1,0 LEI	0,8 LEI	1,0 LES	0,7 LES	0,9 LES	2,2	2,5
HS Guápiles	IPp	0,9	1,6	2,0	1,8	1,5	1,8	2,9	4,7
	IPpk	0,8 LEI	1,5	0,8 LEI	1,3	1,2	1,1	2,4	3,7
Conansa Calle Blancos	IPp	1,3	1,7	1,6	1,5	1,9	2,2	2,5	1,8
	IPpk	0,7 LEI	1,3	0,7 LEI	1,2	1,4	1,2	1,8	1,1

Nota: 1. Índices marcados en rojo se consideran no adecuados para el proceso de producción 2. Índices marcados en naranja se consideran que requieren algún tipo de control.

¹ Ver Tabla 3.

Con relación al índice de capacidad del proceso IPp de los valores tabulados en la Tabla 5, se observa que la planta de producción con los índices de capacidad más altos para todos los tamaños granulométricos, es el centro de producción de Meco Río Claro. Esto denota una alta capacidad de cumplimiento de los límites de especificación en particular en las mallas de 30, 50 y 200 donde los índices determinados son mayores a 4. Por su parte el centro de producción de Meco Uruca demuestra ser la segunda planta de producción de mezcla asfáltica en tener índices de capacidad con valores altos que oscilan entre 2 a 4 en el 63% de las mallas.

En cuanto al índice IPpk, se observa que el centro de producción de Meco Guápiles es el que presenta valores menores a 1 en el 75% de los tamaños granulométricos, lo que es un indicativo de que el proceso de producción tiene una marcada tendencia hacia alguno de los límites de especificación en las mallas $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8, N°16 y N°30. En tanto que el centro de producción Meco Nicoya, muestra valores menores a 1 en el 63% de los tamaños granulométricos, en las mallas $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8 y N°16, compartiendo el comportamiento de tendencia acentuada hacia alguno de los límites de especificación.

Por su parte, los centros de producción de Conansa Calle Blancos y el de Hernán Solís Guápiles muestran índices de capacidad (IPp) aproximados a 1,7 en el 63% de los tamaños granulométricos y con índices de IPpk aproximados de 0,7 en las mallas de $\frac{1}{2}$ " y N°4, evidenciando que el comportamiento de estas mallas tiene una tendencia evidente hacia alguno de los límites de especificación.

Uso del índice de capacidad para determinar el comportamiento del proceso

Observación 2: Del análisis del comportamiento de las curvas granulométricas en el proceso productivo se identificaron tendencias hacia alguno de los límites de la especificación en algunas de las plantas analizadas, lo cual se determina por la diferencia existente entre el IPp y el IPpk.

Como se mencionó anteriormente, el valor del IPpk es una medida de precisión y exactitud del proceso, por lo que, si el IPp y el IPpk (superior e inferior) son aproximadamente iguales, implica un proceso que está centrado entre los límites de la especificación. Sin embargo, si entre el IPp y el IPpk existe una diferencia notoria implica que el proceso no está centrado en el rango de la especificación, mostrando una tendencia a ubicarse hacia alguno de los límites de especificación y el valor meta.

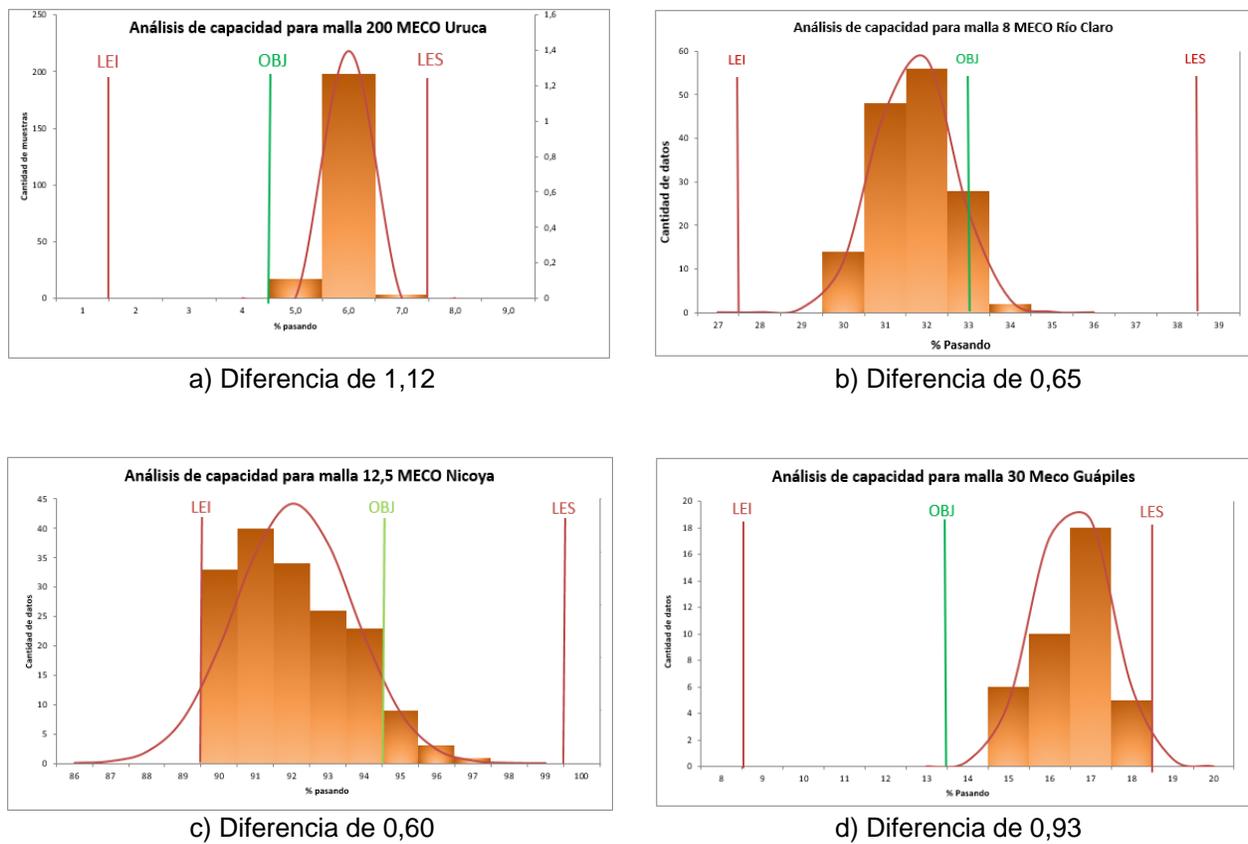
Si se asume que los datos analizados tienen un comportamiento normal, se pueden ajustar a una curva normal (campana de Gauss) como se muestra en la Figura 3. Por lo que al comparar la diferencia numérica entre el IPp y el IPpk, se podría determinar si existe un riesgo potencial a que datos puedan encontrarse fuera de los límites de especificación, como se representa en la Figura 3 b y c.

Según los índices obtenidos (Tabla 5), se pudo determinar que para diferencias mayores a aproximadamente 0,6 entre el IPp^2 y $IPpk$, se obtienen procesos que efectivamente cumplen con la requerimientos establecidos en el cartel; sin embargo, no están distribuidos en todo el rango de la especificación, por lo que estadísticamente existe un riesgo potencial de que algunos datos no cumplan algún límite de la especificación.

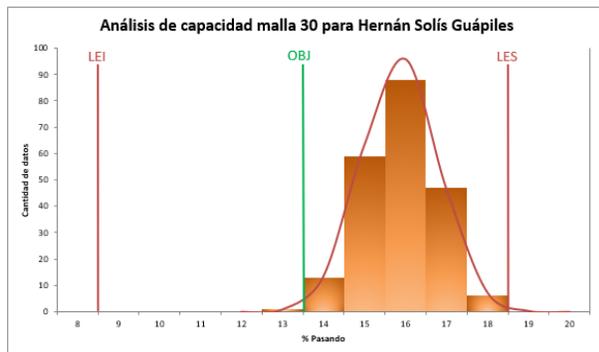
A continuación en la Figura 3, se presentan las gráficas de algunos casos en donde se presenta la diferencia mencionada entre el IPp y el $IPpk$, con el fin de evidenciar el comportamiento observado de las diferentes mallas en el rango de la especificación.

Figura 3

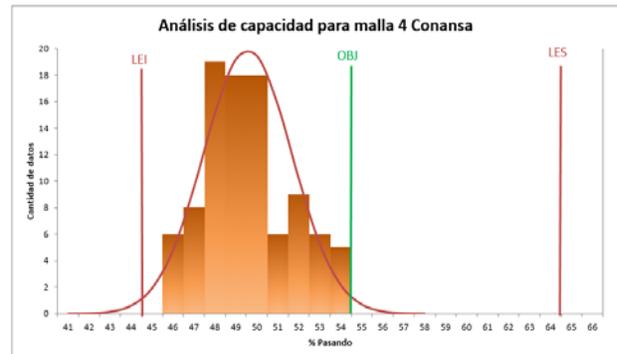
Histogramas para Análisis de Capacidad



² Para índices de IPp menores de 1,6



e) Diferencia de 0,68



f) Diferencia de 0,86

De los resultados analizados se pudieron identificar claras tendencias hacia algún límite de especificación como se evidencia en las gráficas a, b, c, d, e y f de la Figura 3, estos son sólo algunos ejemplos de cómo solo con la diferencia entre el IPp y el IPpk se podría tener un conocimiento del comportamiento del proceso productivo, su ubicación y el posible cumplimiento de las especificaciones.

Análisis de capacidad para el tamaño granulométrico de 12,5 mm

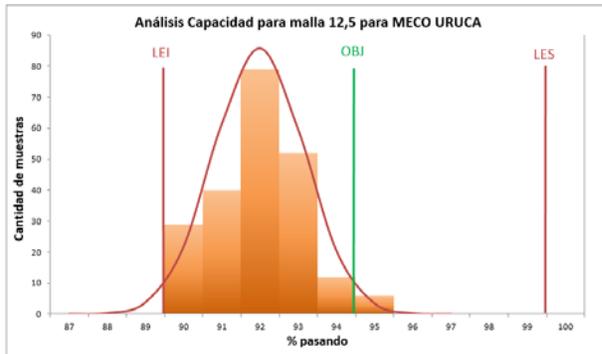
Observación 3: Se determina que los resultados de la malla de 12,5 mm reportados para todas las plantas tienen un IPpk menor o igual 1, con tendencia hacia al LEI.

Como se ha mencionado anteriormente, la capacidad del proceso se suele interpretar como el grado de aptitud para producir dentro de las especificaciones establecidas por la Administración. Y en el caso de la malla de 12,5 mm, aunque ningún dato se encuentra fuera del límite de especificación, se puede observar una clara tendencia hacia valores muy cercanos al LEI.

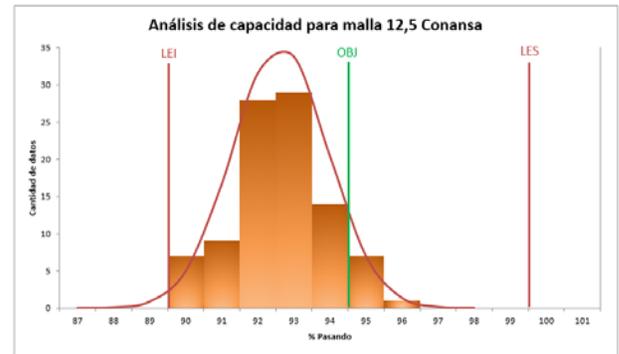
Con los datos correspondientes al IPp e IPpk ,se puede determinar que para la malla 12,5 mm en todas las plantas se obtiene un IPpk menor o igual a 1, la mayoría con tendencia al límite inferior de la especificación, tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

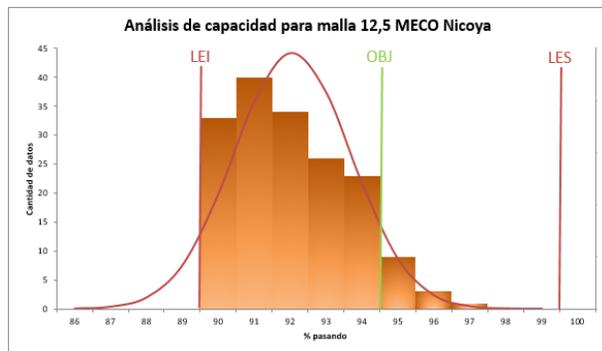
Histogramas para el Análisis de Capacidad malla 12,5 mm



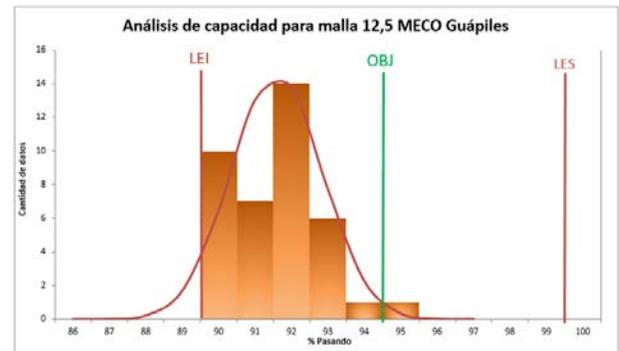
a) $IPpk = 0,6$



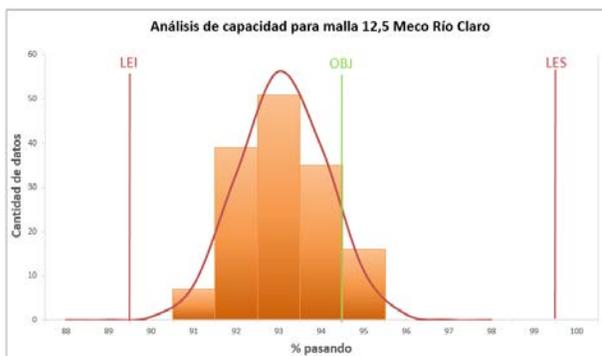
b) $IPpk = 0,7$



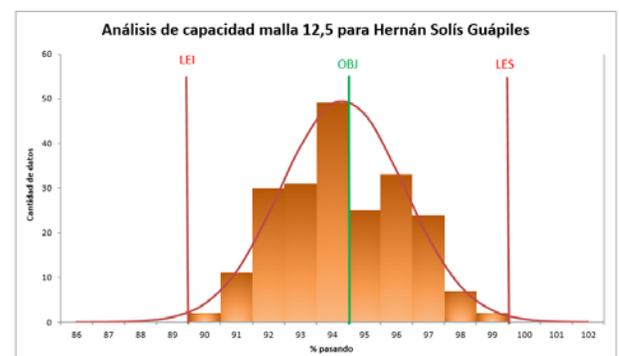
c) $IPpk = 0,4$



d) $IPpk = 0,4$



e) $IPpk = 1,0$



f) $IPpk = 0,8$

En los histogramas de la Figura 4, se observa que aunque en los resultados de las muestras se encuentran dentro de los límites de especificación, en la mayoría de los casos el pico de la curva de distribución normal está desplazado con relación al valor medio de la especificación. En el 83% de los casos los datos se encuentran por debajo del valor objetivo y están cerca del límite de especificación

inferior. En la Figura 4 se puede observar como en los gráficos a), b), c), d) y e), se encuentra bajo este valor medio del rango de la especificación.

Como se ha mencionado en informes anteriores³ de auditoría técnica y como se demuestra con los datos analizados, la fracción gruesa de las mezclas asfálticas de 12,5 mm tienen una tendencia hacia la parte inferior de la especificación.

Asimismo, llama la atención a esta auditoría los cortes en los datos exactamente en el LEI, sin ningún dato por fuera de este límite, aunque se analizaron un total de 883 diferentes muestras para todas las plantas analizadas. Lo cual será analizado en el siguiente apartado.

Análisis de cumplimiento de especificación para el tamaño granulométrico de 12,5 mm

Observación 4: En algunos centros de producción se determina un porcentaje de resultados fuera del límite de especificación al aplicar el modelo de inferencia estadística establecido en el cartel, a pesar que ningún dato se observa fuera de estos límites.

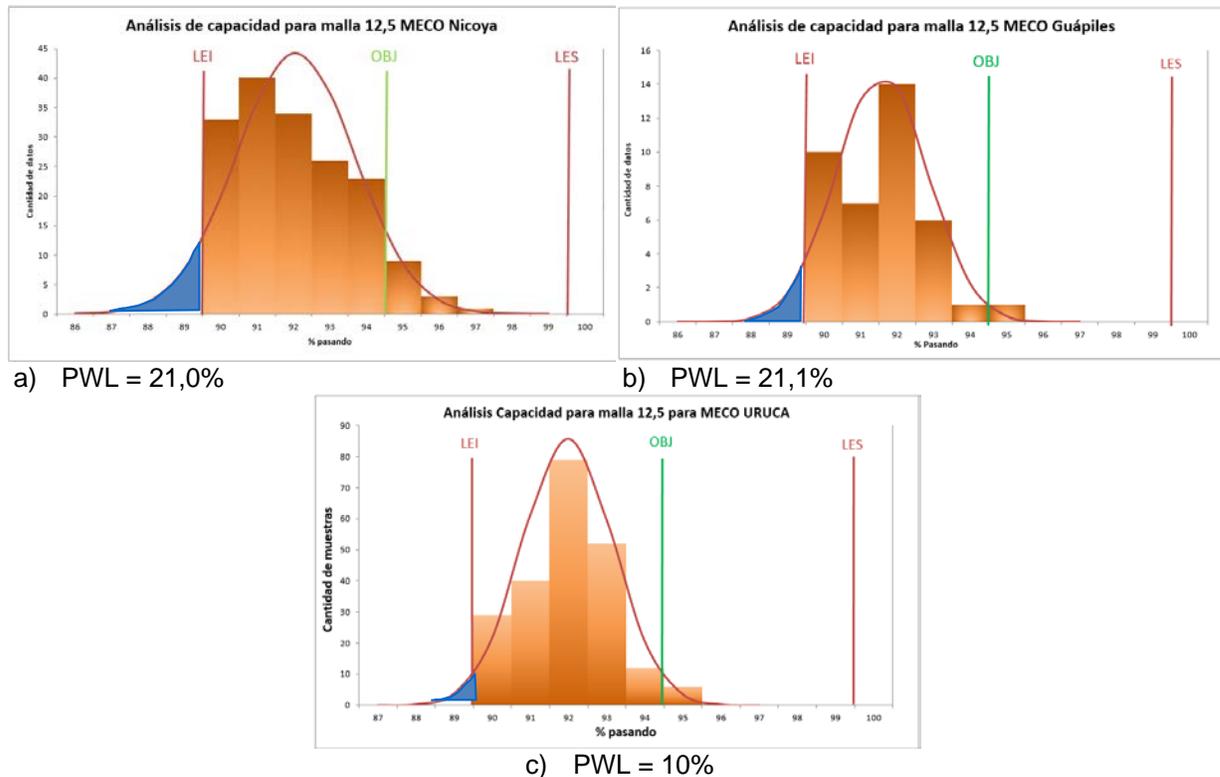
A pesar que hay algunos centros de producción de mezcla asfáltica que no muestran valores fuera de los límites de especificación en la malla de 12,5 mm, se ha observado que por efecto de la variabilidad existente del proceso productivo evidenciada por los índices IPP y el IPPk, estadísticamente se infiere un porcentaje de resultados que están fuera del límite inferior de especificación, tal como se muestra en la Figura 5. La tendencia de los datos hace que por el comportamiento normal de los datos se estime un porcentaje fuera del límite inferior, representado en azul.

Al aplicar el modelo estadístico establecido en el cartel de licitación “Determinación del porcentaje de trabajo dentro de los límites de especificación” (el cual se basa en la premisa que la población tiene un comportamiento normal), a los resultados granulométricos de la malla analizada se logra estimar que el 22%, 21% y el 10% de los valores estarían fuera del límite inferior para las plantas Meco Nicoya, Meco Guápiles y Meco Uruca respectivamente.

³ Informes LM-PI-AT-033-19, LM-PI-AT-154-17 y LM-PI-AT-021-14

Figura 5

Histogramas para el Análisis de Capacidad malla 12,5 mm



Análisis general de capacidad para la malla N°4

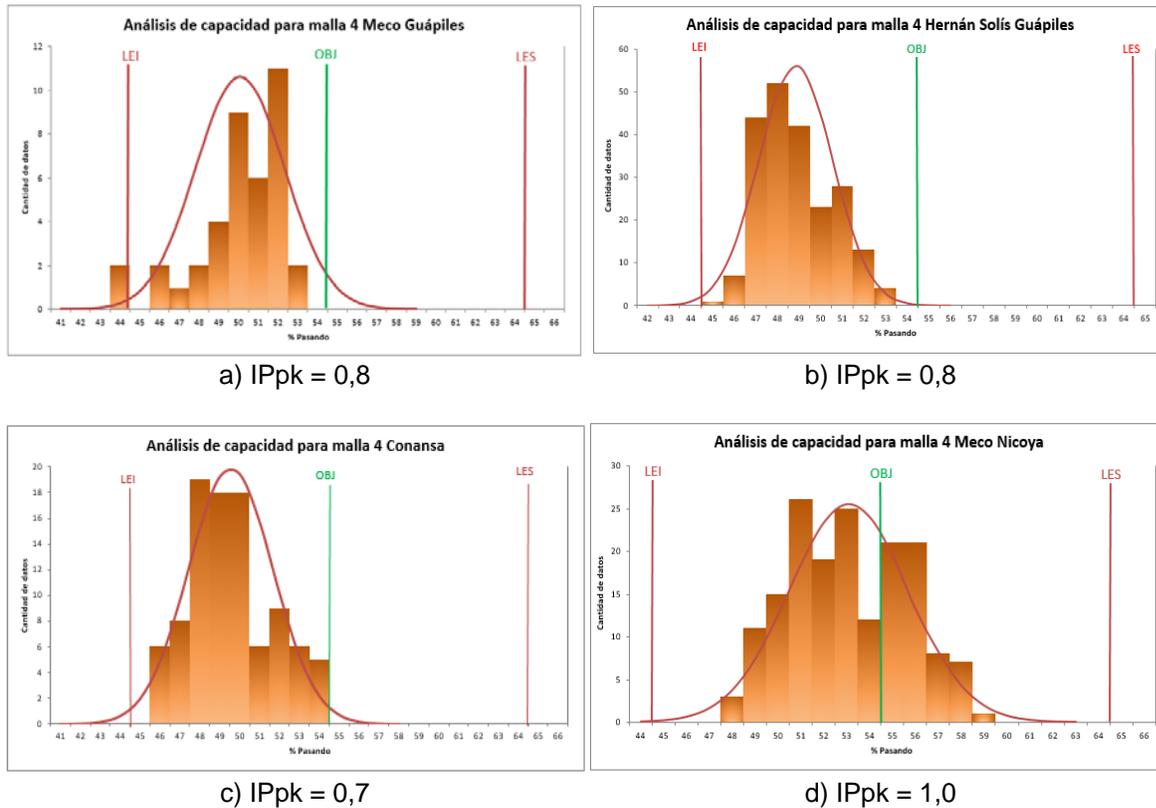
Observación 5: Los resultados reportados para la malla N°4 reflejan que la mitad de las plantas analizadas tienen un proceso con tendencia hacia al LEI, con un IPpk menor o igual a 1.

Con relación a los resultados de ensayo reportados para la malla N°4, se establece que para las plantas MG, HSG, CO y MN se determinan índices de capacidad de proceso igual o menores a 1 y con una marcada tendencia al LEI, para los tres primeros casos, lo cual también advierte de un riesgo potencial a que el conjunto de resultados al ser analizadas mediante el modelo estadístico pueda presentar valores fuera del LEI.

Además, se advierte que en los gráficos a, b y c de la Figura 6, el 100% de los datos se encuentran por debajo del valor medio del rango de la especificación (valor objetivo). Y para el caso del gráfico d. de la Figura 6, el porcentaje por debajo del valor medio del rango de la especificación es de 64%.

Figura 6

Histogramas para el Análisis de Capacidad de la malla N°4



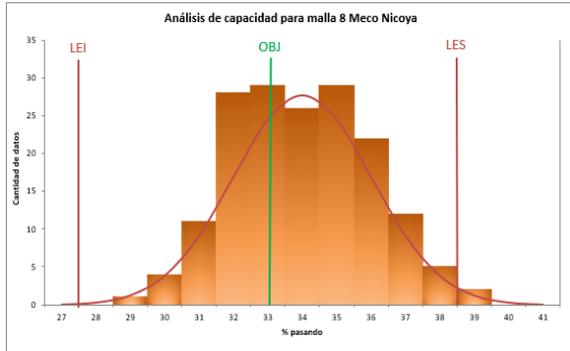
Análisis general de capacidad para la malla N° 8, N°16 y N° 30

Observación 6: Se logra identificar $IPpk$ menores o iguales a 1 en las mallas N° 8, N°16 y N° 30 en MN y MG, con tendencias hacia el LES.

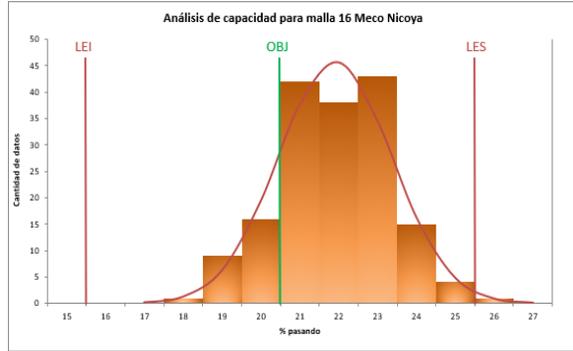
De la totalidad de resultados para las mallas N°8, N° 16 y N°30, se denota que las plantas de MN y MG cuentan con índices de capacidad de proceso igual o menores a 1 con tendencia al LES, lo cual también podría indicar un riesgo potencial a que el total de muestras pueda salir del LES, al ser aplicado el modelo estadístico. Se logra observar en Figura 7, que la mayoría de los datos se encuentran por encima del valor medio del rango de la especificación específicamente en el gráfico a) 81%, b) 54%, c) 44% d) 85% y e) 100%.

Figura 7

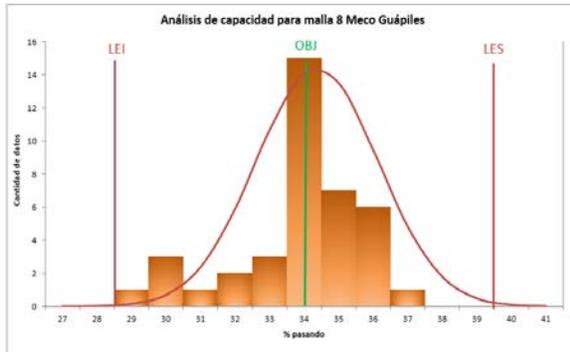
Histogramas Análisis de Capacidad MG y MN



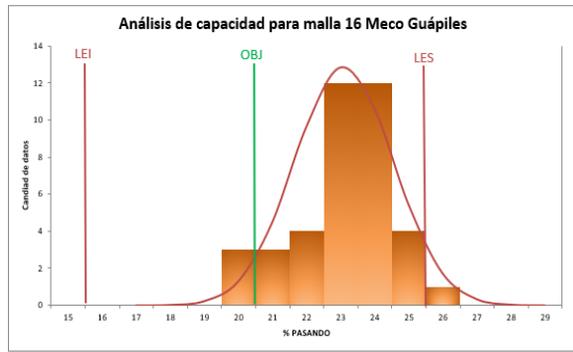
a) $IPpk = 0,8$



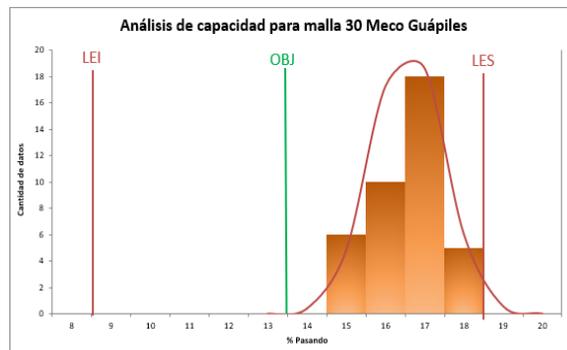
b) $IPpk = 0,9$



c) $IPpk = 1,0$



d) $IPpk = 0,7$



e) $IPpk = 0,9$

SEGUNDA PARTE

13. COMPARACIÓN DE ÍNDICES IPP E IPPK DE MEZCLA ASFALTICA

SOBRE LA CAPACIDAD DE CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE LA MAC

En el presente Capítulo se realiza el análisis del cumplimiento de los límites de especificación para los parámetros volumétricos establecidos en la metodología Marshall para la mezcla asfáltica de 12,5 mm, tales como el VFA, contenido de vacíos y relación polvo-asfalto.

Para ello se determinan los índices de calidad **IPp** e **IPpk** con los resultados reportados en los informes de calidad emitidos por los diferentes laboratorios de verificación, para cada uno de los parámetros mencionados, para las plantas MRC, MN, MG, HSG, CO y MU. Los índices permiten obtener una medida de precisión y exactitud para la producción de MAC de la parte de los parámetros de volumetría mencionados.

Análisis general de capacidad para parámetros volumétricos de la MAC

Observación 7: Se determina que algunos de los centros de producción de mezcla asfáltica tienen índices de capacidad de proceso productivo inferiores al valor considerado como adecuado para el trabajo⁴, en los parámetros volumétricos analizados.

Los índices de capacidad **IPp** e **IPpk** determinados para los parámetros volumétricos de la MAC, se muestran por parámetro y por planta en la Tabla 6, de los cuáles se destacan con rojo aquellos **IPpk** que se consideran no son adecuados para el proceso de producción (valor menor a 1) y con naranja los **IPpk** que requieren algún tipo de control (igual o mayor a 1).

Respecto al índice de capacidad del proceso **IPp** -de los valores tabulados en la Tabla 3-, se observa que la planta de producción con los índices de capacidad más altos para los parámetros volumétricos analizados es el centro de producción de Meco Río Claro. Por su parte el centro de producción Meco Nicoya demuestra tener los índices **IPp** más bajos de los centros de producción para los parámetros indicados.

Además, se observa que para el parámetro de relación polvo asfalto se tienen índices de capacidad del proceso **IPp** mayores a 1,3 llegando a 2,9 lo cual refleja una alta competencia en los procesos de producción de las plantas estudiadas. Dicha capacidad mostrada está directamente relacionada con el alto desempeño de dosificación que se observó para la malla 200, donde los procesos mostraban ser altamente eficaces.

⁴ Ver Tabla 3.

Tabla 6

Valores de IPp e IPpk para parámetros volumétricos de la MAC

Planta	índice	Contenido de vacíos	VFA	Relación polvo - asfalto
Meco Río Claro	IPp	1,28	0,84	1,77
	IPpk	1,13	0,45	0,97
Meco Nicoya	IPp	0,64	0,47	1,28
	IPpk	0,58	0,22	1,13
Meco Guápiles	IPp	0,84	0,66	2,36
	IPpk	0,81	0,36	1,59
HS Guápiles	IPp	0,90	0,71	2,86
	IPpk	0,53	0,56	2,41
Conansa Calle Blancos	IPp	0,72	NI	NI
	IPpk	0,54	NI	NI
Meco Uruca	IPp	0,92	NI	NI
	IPpk	0,88	NI	NI

Nota: 1. Índices marcados en rojo se consideran no adecuados para el proceso de producción
2. Índices marcados en naranja se consideran que requieren algún tipo de control.
3. NI= No se indican resultados

En cuanto al índice **IPpk**, se evidencia que la mayoría de los centros de producción presentan valores menores a 1 en dos de los parámetros volumétricos (VFA y contenido de vacíos), lo que es un indicativo de que el proceso de producción manifiesta una tendencia hacia alguno de los límites de especificación en los parámetros anteriormente indicados y con posibilidad que se produzcan algunos incumplimientos en estos parámetros. En tanto que en el tercer parámetro volumétrico (relación polvo asfalto) se observan valores cercanos a 1,0 hasta 2,4 lo cual es un indicativo de un proceso cualificado para cumplir los requisitos establecidos.

Análisis general de capacidad para el Contenido de Vacíos

Observación 8: Los resultados de IPp e IPpk determinados para el parámetro de contenido de vacíos evidencian que la mayoría de los centros de producción analizados tienen un proceso con tendencia al LES, con un IPpk menor o igual a 1.

Al analizar los resultados de contenido de vacíos de las plantas incluidas en el presente estudio, se logran determinar índices **IPpk** menores a 1 para los centros de producción MN, MG, HSG, CON y MU, lo cual es indicativo de que los procesos están desplazados hacia alguno de los límites de especificación. Esto implica -desde el punto de vista estadístico- un riesgo potencial de que del análisis

Informe LM-INF-IC-D-006-2020	enero , 2021	Página 27 de 35
------------------------------	--------------	-----------------

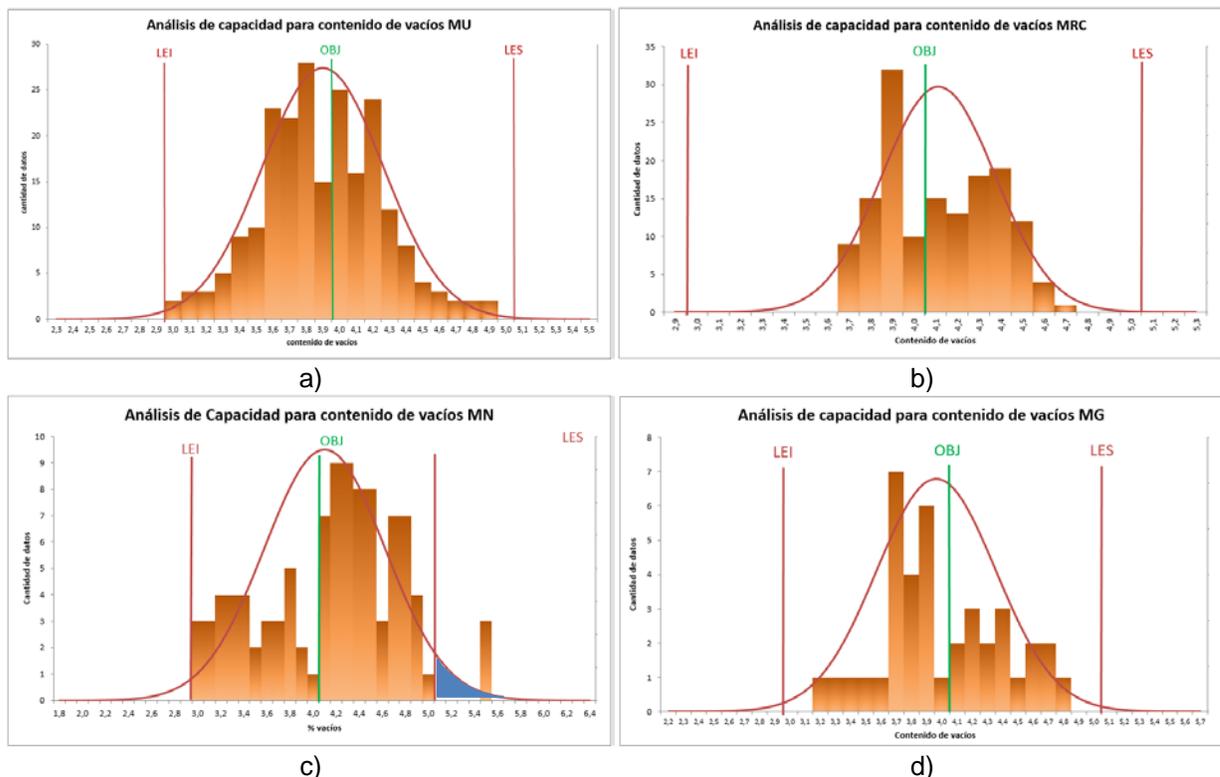
de la muestra de los datos se pueda inferir que un porcentaje se encuentre fuera de los límites de especificación. En cuanto a la planta MRC muestra un valor de **IPpk** de 1,1 lo que indica que el proceso requiere algún tipo de control del mismo.

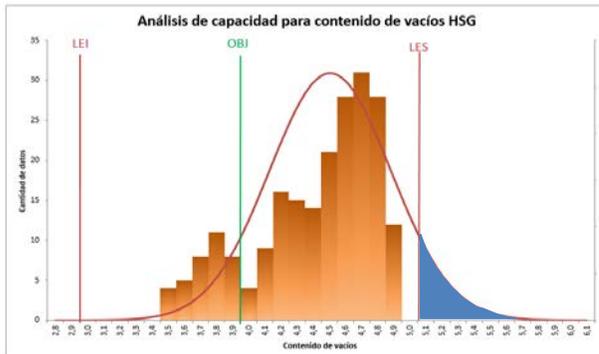
Al examinar el histograma de distribución de los datos con el fin de observar la distribución de los resultados en el rango de la especificación, se observa que cuatro de las plantas incluidas en el estudio, los resultados se mantienen cercanos al límite superior. Por lo que, si se considera la variabilidad propia del proceso productivo de la mezcla asfáltica, se esperaría que aumentara la probabilidad de que se supere dicho límite, produciendo potenciales incumplimientos de las especificaciones establecidas en el cartel.

Por último, al efectuar el análisis estadístico para estimar la cantidad de producto que cumple con los requisitos contractuales establecidos, se logra determinar un incumplimiento del 12,5% y 11,6%, para las plantas de MN y HSG tal como se muestra en los histogramas c) y e) de la Figura 6 para las demás plantas no se determinan datos fuera de los límites de especificación.

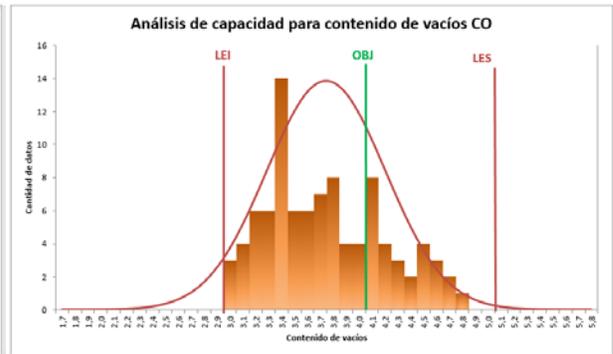
Figura 8

Análisis de capacidad para contenido de vacíos





e)



f)

Análisis general de capacidad para el parámetro VFA

Observación 9: Los valores de IPP e IPPk determinados para el parámetro VFA demuestran procesos de fabricación poco eficientes e imprecisos en la producción de mezcla asfáltica en caliente respecto a la especificación establecida para este parámetro.

Con los resultados de VFA reportados por los laboratorios de verificación de calidad, se realiza el análisis de capacidad para este parámetro, considerando los centros de producción MN, MRC, MG y HSG. De los índices IPPk estimados (ver **Tabla 6**) se puede observar que los valores se encuentran por debajo del valor recomendado de 0,67 para ser considerado como un proceso apto, obteniendo índices que van desde 0,22 hasta 0,56 lo que refleja un proceso no adecuado.

Además, de las gráficas de histogramas se logra establecer que el comportamiento del conjunto de datos analizados tiene una tendencia hacia el LES en todas las plantas, tal como se presenta en la Figura 9.

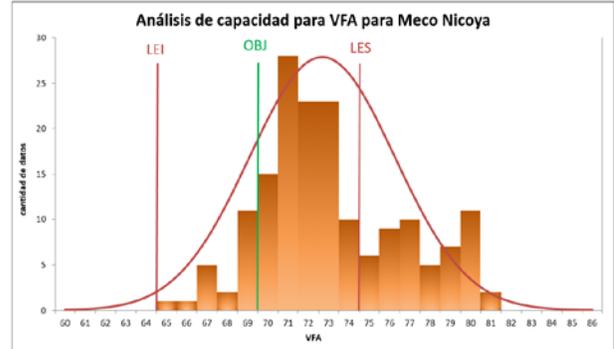
Los resultados obtenidos para los centros de producción evaluados, no cumplen los requisitos normativos establecidos contractualmente en las especificaciones para el parámetro volumétrico VFA. Particularmente para la planta MN, se determina -para un tamaño de muestra de 169 datos- un valor de porcentaje de incumplimiento mayor al permitido. Esta situación establecería que el producto supera el requisito de aceptabilidad, de acuerdo con el Modelo de Aceptación o Rechazo de la sección 107.05 del CR2010.

Figura 9

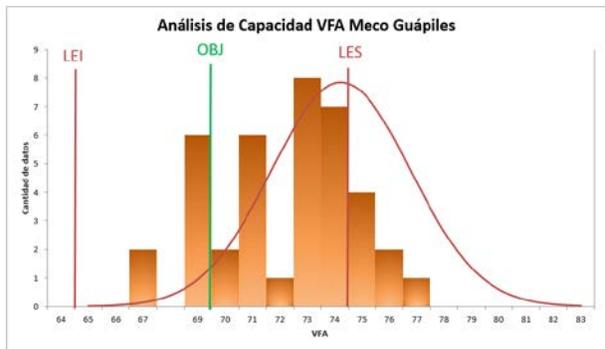
Análisis de capacidad para parámetro VFA



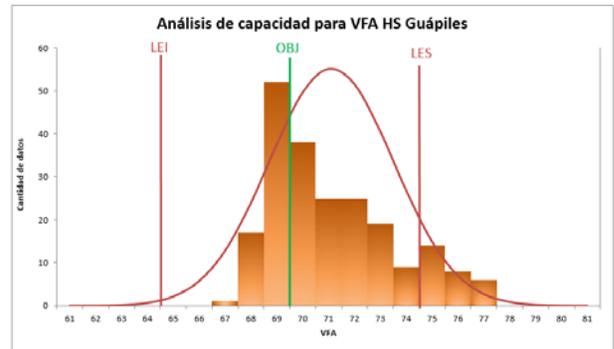
a) Porcentaje de incumplimiento de 18%



b) Porcentaje de incumplimiento de 55%



c) Porcentaje de incumplimiento de 29%



d) Porcentaje de incumplimiento de 12%

La metodología de diseño Marshall le concede gran importancia a la volumetría de la mezcla asfáltica resultante de la combinación granulométrica y el ligante asfáltico es por ello que se definen rangos específicos en los que se deben mantener los valores de los parámetros volumétricos (VMA, VFA y la relación polvo/asfalto), los cuales determinan el acomodo de la materia prima y el espacio disponible en la mezcla asfáltica compactada, con el fin de lograr un buen desempeño de la carpeta asfáltica durante la etapa de operación. (Cervantes Et al., 2009)

La intención de delimitar el valor del parámetro VFA en un rango específico, es para asegurar un espesor adecuado de película de asfalto en la mezcla asfáltica. Es por esto que el rango de VFA varía de acuerdo al nivel de tráfico.

Valores mayores a los permitidos por la especificación para el parámetro VFA, podría conllevar a deterioros por inestabilidad de la mezcla o exudación de asfalto; además, se podrían presentar problemas de trabajabilidad de la mezcla durante el proceso de colocación, entre otros efectos que podría manifestar la mezcla asfáltica. (Cervantes Et al., 2009)

El comportamiento de los parámetros VFA y relación polvo/asfalto podría estar atribuido a varios factores, entre los cuales se puede citar la relación existente entre la fracción fina y gruesa de la combinación granulométrica, la porosidad del agregado, el porcentaje de asfalto en la mezcla y el porcentaje de agregado fino y polvo mineral presente en la mezcla. (Cervantes Et al., 2009)

Análisis general de capacidad para el parámetro Polvo Asfalto

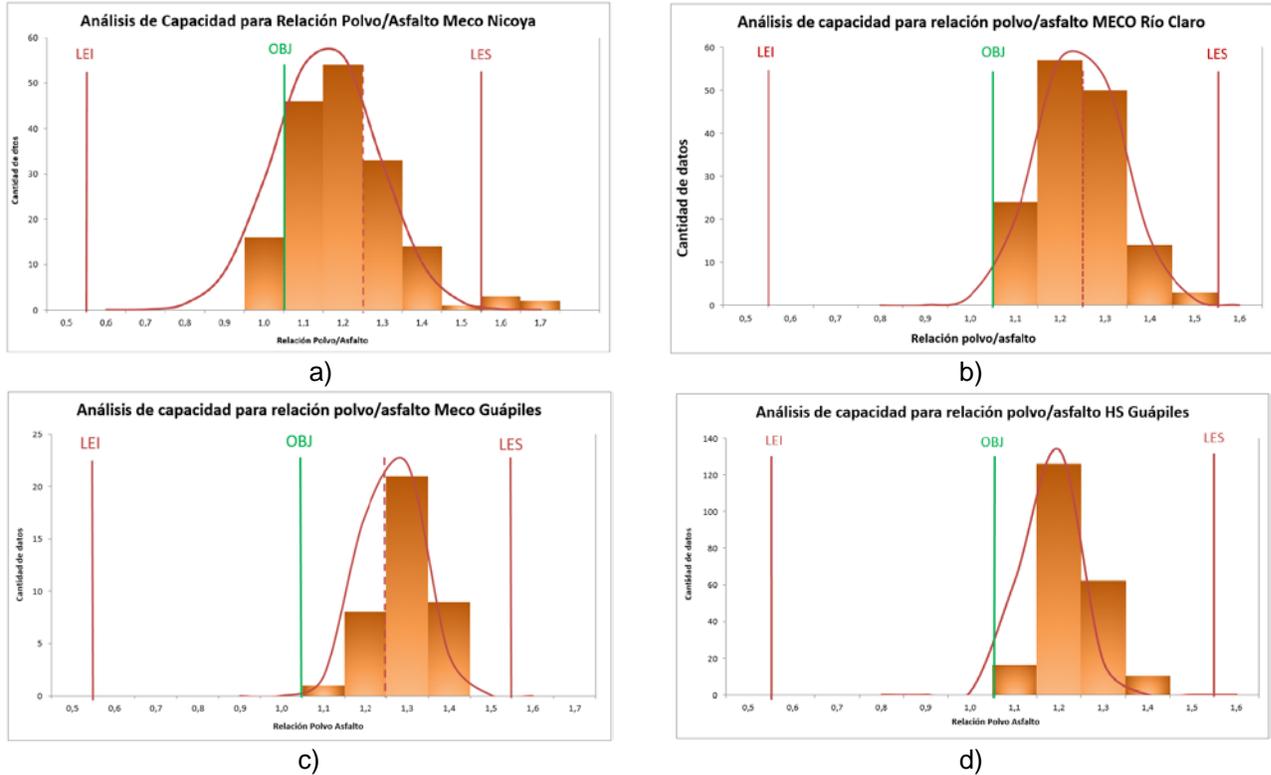
Observación 10: Se determina una buena eficiencia en la producción de la mezcla asfáltica para el parámetro volumétrico de polvo asfalto debido a que en la mayoría de los procesos de producción de mezcla asfáltica reporta valores de IPp e IPpk mayores a 1,0 con una clara tendencia hacia él LES.

Al evaluar el comportamiento de los resultados de ensayo -reportados por los laboratorios de verificación de calidad-, de la relación polvo/asfalto mediante gráficos de barras tal como se presenta en la Figura 10, se logra observar que los centros de producción MN, MRC, MG y HSG muestran una tendencia hacia él LES, con valores de **IPpk** mayores a 1, inclusive mayores a 1,33 para los dos últimos centros de producción.

Del histograma de distribución de los datos, se observa que en las cuatro plantas que se pudieron analizar existen resultados que se mantienen cercanos al límite superior, por lo que la variabilidad propia del proceso productivo de mezcla asfáltica aumentaría la probabilidad de que se supere dicho límite, derivando la posibilidad de potenciales incumplimientos de las especificaciones establecidas en el cartel.

Figura 10

Análisis de capacidad relación polvo/asfalto para las plantas MN, MRC, MG, HSG



Con relación al límite superior de especificación, se logra establecer que no existen datos que incumplan el valor provisional de 1,6%. Sin embargo, al evaluar el valor convencional del límite superior establecido en las metodologías de diseño de mezcla asfáltica de 1,3%, se logra establecer un nivel de incumplimiento de 27,3% (MN), 54,3% (MRC), 59,8% (MG) y 4,2% (HSG). De los resultados anteriores se puede establecer que los valores de MRC y MG superan -por un amplio margen- el requisito de aceptabilidad (el máximo incumplimiento aceptable es de 25%), de acuerdo con el Modelo de Aceptación o Rechazo de la sección 107.05 del CR2010.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. Conclusiones

Sobre la capacidad del proceso de producción

- La planta de producción de Meco Río Claro presenta los índices de capacidad más altos para todos los tamaños granulométricos, en tanto las plantas de Meco Guápiles y Meco Nicoya demuestra tener los índices de capacidad más bajos, indicativo de que los procesos de producción tienen una marcada tendencia hacia alguno de los límites de especificación.
- La planta de producción Meco Río Claro obtiene los índices de capacidad más altos para los parámetros volumétricos analizados. Por su parte el centro de producción Meco Nicoya demuestra tener los índices más bajos para los parámetros volumétricos examinados.

Sobre la curva granulométrica

- La mayoría de los resultados de los diferentes tamaños granulométricos analizados no muestran una distribución normal de los datos que abarque el rango establecido por la especificación, sino que existen claras tendencias hacia alguno de los límites de la especificación.
- Los resultados de granulometría para la malla 12,5 mm de todas plantas, se encuentran por debajo del valor medio de la especificación con una clara tendencia hacia el LEI. Aunque existe esta clara tendencia, no se observó ningún resultado por debajo del límite inferior de las 883 muestras analizadas; sin embargo, por inferencia estadística se determinan incumplimientos en las muestras.
- Los resultados para la malla N°4 indican que la mitad de las plantas determinan valores de IPpk por debajo del valor medio de la especificación, con una clara tendencia hacia el LEI.
- En las restantes mallas de la parte fina de la granulometría (N°8, N°16 y N°30), se denota una tendencia hacia LES, concentrando la mayoría de los datos entre el valor medio y límite superior de la especificación.
- La planta de producción de Meco Río Claro presenta los índices de capacidad más altos para todos los tamaños granulométricos, en tanto las plantas de Meco Guápiles y Meco Nicoya demuestra tener los índices de capacidad más bajos, indicativo de que los procesos de producción tienen una marcada tendencia hacia alguno de los límites de especificación.

Sobre los requisitos de la mezcla asfáltica

- Algunas de las plantas de producción de mezcla asfáltica determinan valores de IPpk que demuestran una baja capacidad de proceso para los parámetros volumétricos analizados.
- En cuanto al parámetro de contenido de vacíos los valores de IPP e IPpk evidencian una baja capacidad de los procesos productivos de las plantas de producción de mezcla asfáltica.
- Se logra determinar grandes incumplimientos en el parámetro de VFA en todos los centros de producción.

- El parámetro volumétrico de polvo asfalto reporta valores de IPP e IPPk mayores a 1,0 lo que es un indicativo de una buena eficiencia en la mayoría de los procesos de producción de mezcla asfáltica. Sin embargo, muestra una clara tendencia hacia él LES.

13.2. Recomendaciones

A la Gerencia de Conservación Vial

- Se insta solicitar a las plantas asfálticas a que apliquen controles estadísticos de calidad con el fin de optimizar el proceso de producción de MAC con el fin de reducir su variación o desplazar la ubicación de los datos hacia el centro del rango de la especificación.

Al Departamento de Calidad de Conavi

- Poner en práctica procedimientos de control estadístico de procesos con para reducir la variación del proceso de producción de MAC o procurar reubicar los resultados hacia el centro del rango de la especificación, con el fin de disminuir la probabilidad de incumplimientos específicamente en:
 - las mallas de la parte gruesa y algunas de la parte fina.
 - el contenido de vacíos.
 - el parámetro VFA

14. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña-Acuña, j. (2012). *Control de calidad. Un enfoque integral y estadístico*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Cervantes Calvo, V., & Rodríguez Castro, E. (2009). *Evaluación de los diseños de mezcla asfáltica en caliente utilizados en actividades de conservación vial. Cumplimiento de los requisitos técnicos de las especificaciones contractuales y normativa vigente*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
- Cervantes Calvo, V., & Salas Chaves, M. (2016). *Causas y consecuencias de la exudación*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
- 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.
- MOPT. (2010). *Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes*. San José.



EQUIPO AUDITOR

Preparado por: Ing. Víctor Cervantes Calvo Auditor Técnico	Preparado por: Ing. Rose Mary Cabalceta Rubio Asistente Técnico	Visto Bueno de Legalidad: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR
Revisado y aprobado por: Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc. Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica	Aprobado por: Ing. Alejandro Navas Carro, MSc. Director General LanammeUCR	