

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-045-13

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL N°1, CARRETERA BERNARDO SOTO, TRAMO AEROPUERTO-MANOLOS.

PROYECTO: Conservación de la Red Nacional Pavimentada. Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Línea 18 Zona 1-5: Alajuela Norte

SEGUNDA PARTE

INFORME FINAL

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

San José, Costa Rica
Setiembre, 2013

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





Información técnica del documento

1. Informe en versión final LM-PI-AT-045-13.	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL N°1, CARRETERA BERNARDO SOTO, TRAMO AEROPUERTO –MANOLOS. Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Línea 18 Zona 1-5: Alajuela Norte.	4. Fecha del Informe Setiembre, 2013	
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias ---*---*		
9. Resumen <i>Calidad del material de subbase granular y base granular colocados en el proyecto:</i> Los resultados de granulometría reportados por los laboratorios de control de calidad y verificación de calidad para los materiales granulares de subbase y base evidencian incumplimientos en diversos tamices con relación a la granulometría establecida en las Especificaciones Especiales, para el periodo de estudio (noviembre 2011 a marzo de 2012). Con relación a los límites de consistencia, densidad y humedad in situ e índice de soporte (CBR), demuestran cumplimiento de las especificaciones establecidas. <i>Calidad del material de base estabilizada colocado en el proyecto:</i> Los resultados de los ensayos granulométricos realizados por los laboratorios de control de calidad y verificación de calidad para el material granular para base estabilizada muestran incumplimientos para diversos tamices establecidos en la curva granulométrica contractual, durante el periodo de análisis (noviembre 2011 a marzo de 2012). Asimismo se determina que los resultados de resistencia a la compresión de la base estabilizada con cemento, reportados por los laboratorios de control de calidad y verificación de calidad, fueron variables con relación a la resistencia requerida en el diseño para el mismo periodo de análisis. <i>Especificaciones para subbase granular y base granular:</i> Los resultados de calidad reportados por los laboratorios de control de calidad y verificación de calidad, para los materiales granulares de subbase, base y base estabilizada fueron valorados con especificaciones distintas a las establecidas en el Cartel de Licitación.		
10. Palabras clave Subbase granular, Graduación B, Base Estabilizada con cemento, Resistencia, Granulometría, Límites Atterberg.	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 60

INFORME EN VERSIÓN FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES UTILIZADOS
EN EL PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL N°1, CARRETERA BERNARDO
SOTO, TRAMO AEROPUERTO – MANOLOS. Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Línea 18
Zona 1-5: Alajuela Norte

Departamento encargado del proyecto: Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, CONAVI
Ingeniero de CONAVI Zona 1-5 Alajuela Norte: Ing. Esteban Sandoval Leitón.
Laboratorio de verificación de calidad: Laboratorio CACISA

Empresa Contratista: Constructora Hernán Solís
Laboratorio de autocontrol de calidad: LGC Ingeniería de Pavimentos

Monto Total original del contrato de conservación: ₡5.982.104.437,00 (colones)
Plazo original de ejecución: 1095 días naturales

Monto original del proyecto de rehabilitación: ₡ 5.771.647.012,65 (colones)
Plazo original de ejecución: no hay un plazo establecido de forma oficial

Coordinador de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:
 Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD

Coordinadora de Auditoría Técnica: Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng.	Audidores: Ing. Víctor Cervantes Calvo. Ing. Wendy Sequeira Rojas. Ing. Mauricio Salas Chaves.	Asesor Legal: Lic. Miguel Chacón Alvarado
---	--	---

Primer Informe de Auditoría Técnica: LM-PI-AT-040-12, "Evaluación de la gestión de las actividades de rehabilitación vial en la Ruta Nacional N° 1, Carretera Bernardo Soto, Sección de Control 20010, Tramo Intercambio Aeropuerto-Intercambio Manolo's" entregado en noviembre de 2012.

Segundo Informe de Auditoría Técnica: LM-PI-AT-045-13, "Evaluación estadística de los ensayos de calidad de los materiales utilizados en el proyecto de rehabilitación de la Ruta Nacional N° 1, Carretera Bernardo Soto, Tramo Intercambio Aeropuerto-Intercambio Manolo's" entregado en setiembre de 2013.

Ubicación del proyecto auditado:



Figura 1. Ubicación del Proyecto de Rehabilitación, Tramo Intercambio Aeropuerto-Intercambio Manolo's

GLOSARIO TÉCNICO

AASHTO: Normas de ensayo publicadas por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte

ASTM: Normas de ensayo publicadas por la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales

CR-77: Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes publicado en el año 1978

Ingeniero de Proyecto: funcionario encargado de la Administración, responsable de Inspeccionar la ejecución de los trabajos de conservación vial.

Autocontrol de calidad: Organismo de ensayo, contratado quien realiza la gestión de calidad y ensayos a los materiales por parte del Contratista ejecutor de los trabajos.

Verificación de calidad: conjunto de actividades realizadas por un Organismo de Ensayo, para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los materiales y productos, de conformidad con los términos contractuales pactados con un Contratista ejecutor de obras.

CBR: El valor de CBR es una medida de la capacidad de soporte de suelos y agregados (resistencia al esfuerzo cortante), bajo condiciones de densidad alcanzada mediante niveles de compactación controlados y una humedad específica (humedad óptima), expresado como un porcentaje, en donde valores menores a 8% reflejan un suelo de mala capacidad y valores mayores de 20% se consiguen para suelos con excelente capacidad de soporte .

BE-25: La base estabilizada BE-25 consiste en estabilizar un material granular (que se diferencia del material de base) con cemento hidráulico con el fin de alcanzar una resistencia a la compresión promedio de 30 kg/cm^2 cuando se falla a los 7 días.

BE-35: La base estabilizada BE-35 consiste en estabilizar un material granular (que se diferencia del material de base) con cemento hidráulico con el fin de alcanzar una resistencia a la compresión promedio de 40 kg/cm^2 cuando se falla a los 7 días.

Variabilidad: Diferencias en el comportamiento de todo fenómeno observable y medible que se repite bajo iguales condiciones, debidas a cambios en factores no controlables, que influyen sobre él. Este comportamiento es imperceptible, ya que es inherente a cada fenómeno o proceso. La variabilidad puede ser pequeñas, como en el caso de procesos industriales, ó puede ser grande, como en el caso de fenómenos en que está involucrado el comportamiento humano, como los fenómenos psicológicos, sociológicos y económicos. La variabilidad existente en los fenómenos se puede reducir, se puede explicar parcialmente, pero nunca se puede eliminar.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE GRÁFICOS	7
1. FUNDAMENTACIÓN	8
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	8
3. OBJETIVO DEL INFORME Y METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	9
4. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	10
5. ALCANCE DEL INFORME	11
6. ANTECEDENTES DEL INFORME	11
7. LIMITACIONES PARA LA EJECUCIÓN DEL INFORME	12
8. RESPONSABLES DEL PROYECTO	12
9. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR	13
10. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	14
11. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA	15
12. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	15
13. ESTRUCTURA DEL INFORME DE AUDITORÍA	18
 SECCIÓN I: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES GRANULARES DE SUBBASE Y BASE.	
1. MARCO TEORICO	21
2. SOBRE LA APLICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES ESPECIALES DEL CARTEL DE LICITACION PARA LA SUBBASE Y BASE	22
3. SOBRE LA CALIDAD DE LA SUBBASE GRANULAR (SECCIONES DE AMPLIACIÓN)	24
4. SOBRE LA CALIDAD DE LA BASE GRANULAR (SECCIONES DE AMPLIACIÓN)	27
 SECCIÓN II: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO.	
1. MARCO TEORICO	30
1.1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE TRATAMIENTO DE BASES CON CEMENTO	30
1.2. CRITERIO DE ESTA AUDITORÍA TÉCNICA EN RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA	32
1.3. CRITERIO TÉCNICO DE ESTA AUDITORIA TÉCNICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ESTABLECIDA EN EL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA DEL PROYECTO DE REHABILITACIÓN EN EL TRAMO AEROPUERTO-MANOLO'S	36
1.4. REFLEXIÓN DE GRIETAS EN PAVIMENTOS CON BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO	37
2. SOBRE LA APLICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES ESPECIALES DEL CARTEL DE LICITACION	39
3. SOBRE LA CALIDAD DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO	41
CONCLUSIONES	58.
RECOMENDACIONES	59.

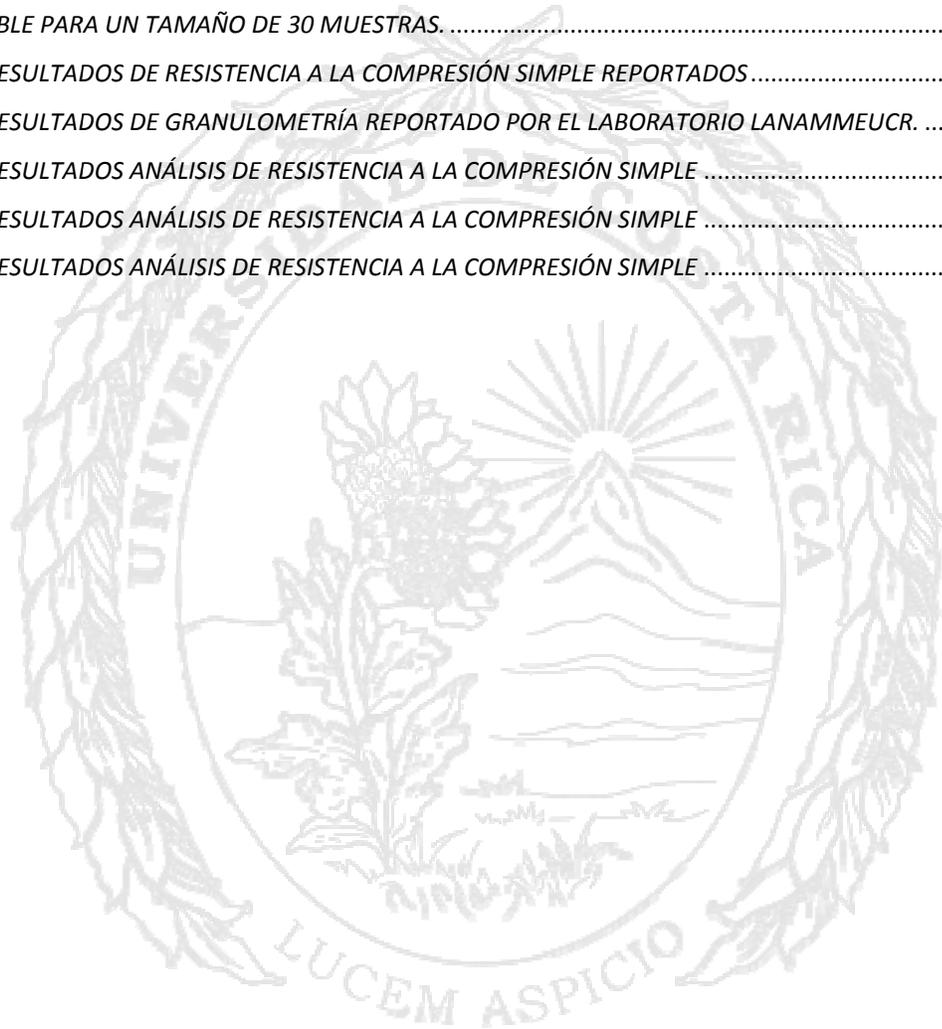
LISTA DE TABLAS

TABLA 1. <i>ESPECIFICACIONES PARA MATERIAL DE SUBBASE GRANULAR CARTELARIAS Y</i>	23
TABLA 2. <i>ESPECIFICACIONES PARA MATERIAL DE BASE GRANULAR CARTELARIAS Y</i>	23
TABLA 3. <i>TIPOS DE AGRIETAMIENTO ASOCIADOS A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</i>	35
TABLA 4. <i>TIPOS DE AGRIETAMIENTO ASOCIADOS AL TIPO DE BASE ESTABILIZADA DEL CR-77</i>	35
TABLA 5. <i>ESPECIFICACIONES PARA MATERIAL DE BASE ESTABILIZADA CARTELARIAS Y</i>	40
TABLA 6. <i>RELACIÓN HUMEDAD-DENSIDAD, DISEÑO BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO</i> ,.....	48



LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. CURVA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL, QUE CUMPLIRÍA DE MANERA SIMULTÁNEA EL VALOR MÍNIMO Y PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, PARA UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR MÁXIMA ACEPTABLE PARA UN TAMAÑO DE MUESTRA CONOCIDO.....	33
GRÁFICO 2. CURVA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL, QUE CUMPLE DE MANERA SIMULTÁNEA EL VALOR MÍNIMO Y PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, PARA UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR MÁXIMA ACEPTABLE PARA UN TAMAÑO DE 30 MUESTRAS.....	34
GRÁFICO 3. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE REPORTADOS.....	49
GRÁFICO 4. RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA REPORTADO POR EL LABORATORIO LANAMMEUCR.....	52
GRÁFICO 5. RESULTADOS ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	54
GRÁFICO 6. RESULTADOS ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	54
GRÁFICO 7. RESULTADOS ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	55



INFORME EN VERSIÓN FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL N°1, CARRETERA BERNARDO SOTO, TRAMO AEROPUERTO – MANOLOS

1. FUNDAMENTACIÓN.

La auditoría técnica externa a los procesos, controles, laboratorios, proyectos e instituciones públicas que efectúan sus labores 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.”

2. OBJETIVO 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 versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 8 de 60
--	----------------------------------	----------------

3. Objetivo del informe.

El objetivo general de esta auditoría técnica, es realizar una evaluación de la calidad del diseño de base estabilizada, así como evaluar con respecto a las especificaciones los resultados emitidos durante el periodo Noviembre de 2011 a Abril de 2012¹ por el laboratorio de autocontrol y el laboratorio de verificación de calidad de los materiales de subbase, base granular y base estabilizada, incorporados al proyecto de rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Bernardo Soto, Tramo Intercambio Aeropuerto– Intersección Manolo’s, realizado según el Cartel de Licitación *"Conservación Vial de la Red Vial Nacional Pavimentada (CV) por Precios Unitarios, Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Línea 18 Zona 1-5: Alajuela Norte"*.

Asimismo, se tiene como propósito dar a conocer a la Administración, desde el punto de vista externo y constructivo, los aspectos que se desvían de los requerimientos normativos dentro del proceso de gestión del proyecto, para ello se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar estadísticamente los resultados de los ensayos de autocontrol y verificación de calidad realizado a los materiales de subbase, base granular y base estabilizada, en relación con las especificaciones contractuales. Así como los resultados obtenidos por el LanammeUCR para el material de base estabilizada).
2. Evaluar los criterios y la metodología utilizados para realizar el diseño de la base estabilizada con cemento, y su correspondencia con los términos contractuales.
3. Considerar, según los aspectos evaluados, el posible comportamiento de las obras de rehabilitación de la estructura del pavimento.

El presente informe, es una segunda parte del proceso de auditoría iniciado en el año 2012 en el proyecto de rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Bernardo Soto, Tramo Intercambio Aeropuerto – Intercambio Manolos realizado según el Cartel de Licitación *"Conservación Vial de la Red Vial Nacional Pavimentada (CV) por Precios Unitarios, Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Línea 18 Zona 1-5: Alajuela Norte"*, en donde se emitió el informe **LM-PI-AT-040-12**, *"Evaluación de la gestión de las actividades de rehabilitación vial en la Ruta Nacional N° 1, Carretera Bernardo Soto, Sección de Control 20010, Tramo Intercambio Aeropuerto-Intercambio Manolo's"*.

Se procura que este informe sea una herramienta que le permita a la Administración evaluar las condiciones en que se desarrolló el proyecto de manera que pueda contribuir a la toma de decisiones sobre aspectos que se deben considerar tanto en este proyecto como en futuras obras viales para que se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de atrasos en los plazos de conclusión, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles y buscando siempre la calidad requerida y

¹ Referirse al apartado 7 del presente informe en donde se indican las limitaciones existentes para la ejecución del mismo.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 9 de 60
--	----------------------------------	----------------

esperada en las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifique la inversión realizada.

4. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.

Este informe se efectuó siguiendo los procedimientos de auditoría técnica, mediante la revisión de la documentación del proyecto, la verificación del proceso constructivo mediante visitas al sitio, muestreo y realización de ensayos de laboratorio al material de base estabilizada utilizado en el proyecto.

Las actividades que se desarrollaron por el equipo de auditoría técnica consistieron en visitar los diversos frentes de trabajo y hacer una revisión de los documentos contractuales relacionados con el proyecto, así como programar muestreos de los materiales de base estabilizada.

Se realizaron visitas de campo los días 04, 19 y 24 de enero, 27, 28 y 29 de febrero, 02, 06, 09, 12, 13, 14 y 16 de marzo de 2012; con el propósito de observar el desarrollo del proyecto, la aplicación de las buenas prácticas constructivas. La recopilación de evidencia documental, se efectuó durante las vistas a sitio y mediante solicitud expresa a la Ingeniería del proyecto. De las actividades efectuadas durante este período de tiempo se emitió un primer informe relacionado con el proyecto, identificado como LM-PI-AT-040-12, "Evaluación de la gestión de las actividades de rehabilitación vial en la Ruta Nacional N° 1, Carretera Bernardo Soto, Sección de Control 20010, Tramo Intercambio Aeropuerto-Intercambio Manolo's".

También, durante dicho proceso de auditoría, se realizaron varios muestreos de materiales a cargo del laboratorio LanammeUCR, en las siguientes fechas 19 de enero de 2012, 27 y 28 febrero de 2012 y 2 de marzo de 2012.

La toma y ensayo de muestras en el proyecto por parte de la Auditoría Técnica dentro del proceso de fiscalización, no tiene como finalidad cumplir la función del autocontrol ni la verificación de calidad y tampoco le corresponde a esta Auditoría Técnica, realizar evaluaciones exhaustivas a nivel de proyecto que son de competencia propia de la Administración, por lo que el presente informe no es un dictamen final de la calidad del proyecto de rehabilitación de la carretera Bernardo Soto, sino un insumo para que la Administración realice una revisión de los resultados obtenidos por el LanammeUCR, en contraste con los controles propios, tanto de la verificación como del autocontrol de calidad por parte del Contratista, controles que deben existir en todo proyecto de obra vial. Es competencia de la Administración, determinar la aceptación o rechazo del material, así como su respectivo pago, según lo establece el CR-77 en su *Sección 105.04* y al apartado 7. *Pago de obra ejecutada en función de la calidad*, del Tomo II, del Cartel de Licitación.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 10 de 60
--	----------------------------------	-----------------

5. ALCANCE DEL INFORME.

El estudio que realiza esta auditoría técnica consiste en el análisis general del diseño de base estabilizada presentado por el Contratista para este proyecto de rehabilitación; así como la evaluación de los resultados de los ensayos realizados por el LanammeUCR. Asimismo, se incluye la evaluación estadística de los resultados de autocontrol y verificación de la calidad del periodo comprendido entre los meses de noviembre de 2011 a abril de 2012. El estudio contempla el análisis de los resultados obtenidos de los materiales de subbase granular, base granular y base estabilizada; por lo tanto no se incluyó dentro del análisis el material de préstamo ni de la carpeta asfáltica.

6. ANTECEDENTES DEL INFORME.

En relación con el estudio que se desarrolla en el presente informe, este atañe a una continuación (segundo informe) de un proceso de auditoría iniciado en el año 2012 en el proyecto de rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Bernardo Soto, Tramo Intercambio Aeropuerto – Intercambio Manolos realizado según el Cartel de Licitación "*Conservación Vial de la Red Vial Nacional Pavimentada (CV) por Precios Unitarios, Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Línea 18 Zona 1-5: Alajuela Norte*", en donde se emitió el informe **LM-PI-AT-040-12**, "*Evaluación de la gestión de las actividades de rehabilitación vial en la Ruta Nacional N° 1, Carretera Bernardo Soto, Sección de Control 20010, Tramo Intercambio Aeropuerto-Intercambio Manolo's*" con fecha de entrega 13 de noviembre de 2012.

Dicho informe exponía aspectos relacionados con: especificaciones insuficientes para garantizar la calidad y eficiencia de actividades de rehabilitación, especificaciones técnicas que difieren de las establecidas en el Cartel de Licitación para los materiales de base y subbase granular, falta de evaluación del factor de pago por calidad para los materiales de base y subbase granular e inconsistencias de los procesos llevados para el trámite de adelanto de materiales, entre otros aspectos desarrollados en el mismo. En vista de los hallazgos encontrados en este primer informe, se decide desarrollar una segunda parte para valorar estadísticamente los resultados de control y de verificación de calidad reportados para los materiales de subbase, base granular y base estabilizada.

Asimismo, durante el proceso de auditoría se emitieron diversos oficios advirtiendo sobre diferentes aspectos que se evidenciaban en el proyecto.

A manera de antecedente, en relación con las especificaciones vigentes en este proyecto para los materiales de subbase, base granular y base estabilizada, debe destacarse que durante el proceso de auditoría se tuvo conocimiento de que mediante el oficio DCV-02-5865-2009 del 13 de octubre de 2009, emitido durante el proceso de aclaraciones al cartel de licitación, fueron propuestos cambios a las graduaciones de los materiales granulares indicados anteriormente establecidas en el cartel de licitación; sin embargo, la aclaración contenida en dicho oficio no fue incorporada a la versión final del cartel de licitación ni al

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 11 de 60
--	----------------------------------	-----------------

contrato respectivo y su Addendum N° 1, de ahí que sea criterio de esta Auditoría Técnica que las especificaciones para los materiales de subbase, base granular y base estabilizada, vigentes para este proyecto, son las indicadas en la versión final del Cartel Licitación, el Contrato y su Addendum N°1 “M-304 (4): Suministro, colocación y compactación de base de agregado triturado, Graduación B” y “M-204 (1): Suministro, colocación y compactación de sub-base de agregado triturado”, ello de conformidad con la prevalencia de documentos contenida en el referido contrato.

7. LIMITACIONES PARA LA EJECUCIÓN DEL INFORME.

Mediante los oficios LM-AT-137-2012, del 10 de octubre de 2012, y el oficio LM-AT-145-12 del 08 de noviembre del 2012, esta Auditoría Técnica consultó al Gerente a.i. de Conservación de Vías y Puentes y al Ingeniero de Proyecto de la Zona 1-5, Línea 18 sobre la formulación de algún diseño adicional² de base estabilizada que se haya generado para el proyecto de rehabilitación de la carretera Bernardo Soto, Línea 18, Zona 1-5. Una vez cumplidos los plazos de respuesta indicados en cada uno de esos oficios, y en razón de que esta Auditoría Técnica no pudo evidenciar (por falta de respuesta del CONAVI) la existencia de algún otro documento en donde se haya presentado y aprobado adicionalmente algún “Diseño de Base Estabilizada”, ya sea para la sección existente o para la ampliación de la calzada donde se colocó material nuevo, se analizó únicamente el documento aportado en el oficio GCSV-01-1526, de fecha 24 de abril del 2012, Informe N°1007-2011 (elaborado por el laboratorio LGC), que corresponde a la base estabilizada de material combinado para la sección existente.

De igual forma, en relación con los informes de autocontrol y verificación de calidad, se trabajó con la información suministrada por el CONAVI, mediante los oficios DR-(región central)-56-12-0420, de fecha 8 de marzo del 2012, y GCSV-01-11-1176 de fecha 30 de marzo del 2012, los que suministraron durante las visitas a la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, que fuera escaneado por esta Auditoría Técnica. No obstante, para algunos meses la información no estaba completa, en relación con los requisitos técnicos para aceptación y pago de obra.

8. RESPONSABLES DEL PROYECTO.

a) Responsables por parte de la empresa constructora:

- **Contratista:** La empresa Contratista "Constructora Hernán Solís S.R.L.", adjudataria de la Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV para la Línea 18, Zona 1-5: Alajuela Norte es la encargada de realizar los trabajos de rehabilitación mayor indicados anteriormente.

² Al recibido mediante el oficio GCSV-01-12-1526, de fecha 24 de abril del 2012, donde se indica que está "pendiente el diseño de la base final y su correspondiente aceptación por parte de la Administración".

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 12 de 60
--	----------------------------------	-----------------

- Laboratorio de Autocontrol de Calidad: el consultor de calidad del Contratista y laboratorio de autocontrol es el organismo de ensayo LGC Ingeniería de Pavimentos SA, quien es la empresa encargada de efectuar los ensayos de control de calidad a los materiales y procesos constructivos que realiza el Contratista en este proyecto, así como el diseño de la base estabilizada.

b) Responsables por parte de la Administración:

- Entidad ejecutora del contrato: Gerencia de Conservación de Vías y Puentes de CONAVI
- Laboratorio de Verificación de Calidad, por parte del CONAVI: la verificación de calidad está a cargo de la Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A (Laboratorio CACISA) que es el organismo de ensayo encargado de efectuar los ensayos de verificación de calidad a los materiales y procesos constructivos que realiza el Contratista en este proyecto.

9. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR.

- Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng. (Coordinadora, Unidad de Auditorías Técnicas)
- Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico Líder)
- Ing. Wendy Sequeira Rojas (Auditora Técnica)
- Ing. Mauricio Salas Chaves (Auditor Técnico)
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)

10. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN VERSIÓN PRELIMINAR LM-PI-AT-045B-13.

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-065-2013 del 15 de julio de 2013 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-045B-13 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 10 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar.

Posterior al envío del informe preliminar, se le brinda audiencia a la parte auditada para que se refiera al informe preliminar, el día 24 de julio del 2013 a las 9:00am en las instalaciones del LanammeUCR en donde se realizó la presentación del informe LM-PI-AT-045B-13 en su versión preliminar y en la que participaron los ingenieros Ing. Edgar May Cantillano, Gerente a.i de Conservación de Vías y Puentes, Ing. Esteban Sandoval Leitón, Ing. Rodrigo Ulloa Meléndez, Ing. Pablo Camacho Salazar e Ing. Eddie Baltodano

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 13 de 60
--	----------------------------------	-----------------

Araya, Ingenieros de Zonas de la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes. Asimismo estuvieron presentes el Lic. Reynaldo Vargas Soto, Ing. Alex Cubillo Campos e Ing. Melissa Salas Pérez de la Auditoría Interna de CONAVI. Así como los auditores encargados del informe y la coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica-PITRA LanammeUCR, Ing. Jenny Chaverri Jiménez.

El día 29 de julio del 2013 se recibe el oficio GCSV-056-13-03358-RC emitido por el ingeniero Edgar May Cantillano en donde se solicita ampliar el plazo inicial de 10 días hábiles indicados en el oficio LM-AT-065-2013, atendiendo la solicitud mediante el oficio LM-AT-071-2013, en donde se indica que la prórroga solicitada se puede ampliar solamente en un plazo de 10 días hábiles, adicionales a los otorgados previamente, esto con el fin de cumplir el programa de labores establecido para el presente año. De igual manera se recibe solicitud similar en oficio DIE-03-13-2568 recibido el 05 de agosto de 2013 emitido por el Ing. Ingeniero Cristian Vargas Calvo, Director Ejecutivo a.i. CONAVI, respondiéndose que el plazo se mantiene, por lo tanto la fecha establecida para la recepción de comentarios queda establecida para el día 14 de agosto del 2013.

Para dicha fecha no se reciben comentarios por parte de la parte auditada, por lo tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica se procede a emitir el presente informe LM-PI-AT-045-13 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley. La emisión del informe final se realiza el 10 de septiembre del 2013.

11. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo auditor en este informe de auditoría se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las muestras extraídas 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 versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 14 de 60
--	----------------------------------	-----------------

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 de los requisitos contractuales.

12. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA.

En el proyecto de rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, tramo Intercambio Aeropuerto – Intercambio Manolo´s, se realizó un análisis de los materiales que conforman la estructura del pavimento colocado con el fin de evaluar la calidad de los mismos. Específicamente, se evaluaron los resultados de autocontrol y verificación de la calidad del material de subbase y base granular, así como la base estabilizada con cemento. Adicionalmente, la Unidad de Auditoría Técnica solicitó la realización de muestreo y ensayos de los materiales asociados a la base estabilizada al Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR, cuyos resultados también son analizados en el presente informe.

Es importante aclarar que la toma de muestras del proyecto por parte de la Auditoría Técnica dentro del proceso de fiscalización, no tiene como finalidad cumplir la función del autocontrol ni la verificación de calidad y tampoco le corresponde a esta Auditoría Técnica, realizar evaluaciones exhaustivas a nivel de proyecto que son de competencia propia de la Administración, por lo que el presente informe no es un dictamen final de la calidad del proyecto de rehabilitación de la carretera Bernardo Soto, sino un insumo para que la Administración realice una revisión de los resultados obtenidos por el LanammeUCR, en contraste con los controles propios, tanto de la verificación como del autocontrol de calidad por parte del Contratista, controles que deben existir en todo proyecto de obra vial. Es competencia de la Administración, determinar la aceptación o rechazo del material, así como su respectivo pago, según lo establece el CR-77 en su Sección 105.04 y al apartado 7. *Pago de obra ejecutada en función de la calidad*, del Tomo II, del Cartel de Licitación.

La Auditoría Técnica es un mecanismo externo e independiente cuyo fin es determinar si la inversión se está realizando eficientemente, así como un mecanismo para la propia Administración de obtener insumos de mejora en los proyectos viales.

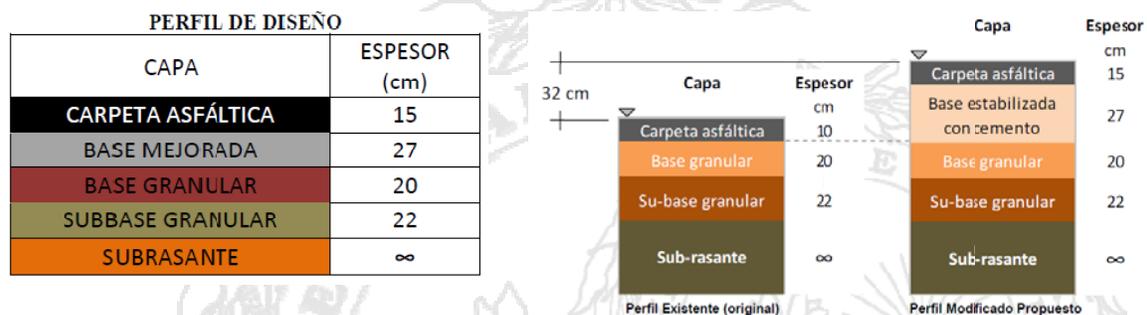
13. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto consiste en la rehabilitación del tramo "Aeropuerto - Intercambio Manolos", de la Ruta Nacional N° 1, Sección de Control 20010, de la Autopista Bernardo Soto, para una longitud de aproximadamente 12 km, con la finalidad de *"restablecer la sección transversal de la ruta, ante el nivel de deterioro que presenta la carretera, aunado a los retrasos del proceso de gestión de la Concesión de Obra Pública"*(oficio DR-(Región

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 15 de 60
--	----------------------------------	-----------------

Central)-056-2011-1001). Los trabajos a realizar³ consisten en estabilizar un espesor de material de base conformado por material recuperado de la estructura existente y material granular virgen mediante la adición de cemento Portland y la construcción de una carpeta asfáltica como superficie de ruedo.

La estructura de pavimento propuesta se muestra en la siguiente figura, donde se observa que con relación a la estructura original existente (antes de la intervención) el incremento de la estructura rehabilitada sería de aproximadamente 32 cm.



Fuente: Informe N° 368-2011, pag. 31, LGC Ingeniería de Pavimentos S.A

Fuente: informe Auditoría Técnica LM-PI-AT-040-12 "Evaluación de la gestión de las actividades de rehabilitación vial en la ruta Nacional N°1, Noviembre 2012.

Figura 2. Estructura de pavimento propuesta Proyecto de Rehabilitación, Tramo Intercambio Aeropuerto – Intercambio Manolo´s

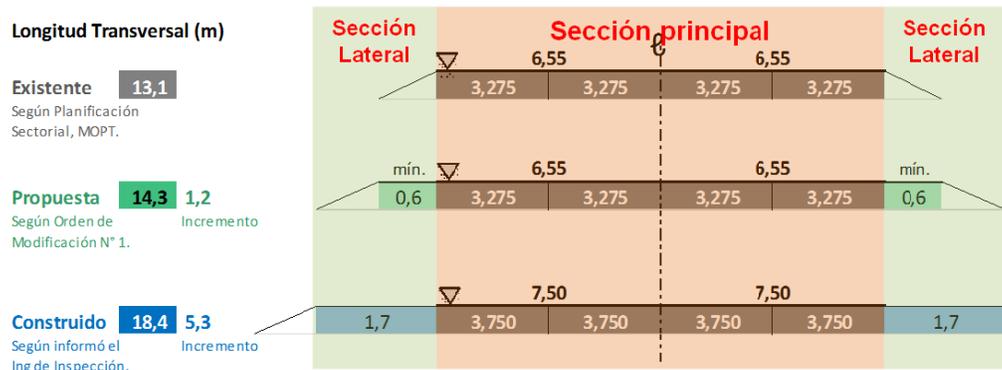
La estabilización de la base consistió en la recuperación de los 10 cm de la carpeta asfáltica existente y una adición de material granular de base correctivo⁴ (para rectificación de granulometría), mezcladas con cemento Portland, para generar una capa de base estabilizada, inicialmente⁵ tipo BE-35, con una resistencia a la compresión mínima permisible de 30 kg/cm² y una resistencia promedio de 40 kg/cm², según el CR-77.

Además, se consideró ampliar el ancho de la carretera proponiéndose originalmente una longitud de 60 cm (como mínimo a cada lado), para el restablecimiento de la sección transversal de la carretera necesaria para evacuar las aguas y proteger la inversión realizada.

³ De acuerdo con la orden de modificación N°1, comunicada en oficio DR-(Región Central)-056-2011-1001

⁴ Denominado en el diseño de base estabilizada como material virgen.

⁵ Dicha resistencia se establece inicialmente en la Orden de Modificación, posteriormente tanto en el Diseño Estructural propuesto para la rehabilitación, como en el Diseño de Base Estabilizada se aumenta la resistencia a la compresión definiéndose solamente un valor mínimo de 45 kg/cm².



Fuente: Elaborado por Auditoría Técnica

Figura 3. Ancho de carretera propuesto y construido, Proyecto de Rehabilitación, Tramo Intercambio Aeropuerto – Intercambio Manolo´s.

Para esta ampliación lateral se planteó realizar una excavación a una profundidad⁶ de 90 cm, y una posterior colocación de capas de relleno que brindarán una continuidad con la intervención realizada en la zona central, colocando un material de sub base granular sobre el terreno natural, sobre ella una capa de base granular y finalmente una capa de material de base granular estabilizado con cemento, tal como se ilustra en la siguiente figura.



Figura 4. Detalle de cada una de las secciones rehabilitadas en el proyecto.

Finalmente, la sección de ampliación se construyó en una longitud de 1,7 metros en ambos sentidos, en vez de los 0,6 metros por sentido propuestos en la estructura de

⁶ Hasta 140 cm cuando el suelo, presentara condiciones diferentes a las solicitadas en el diseño.

pavimento inicial. Igualmente el ancho de los carriles se amplió en 47,5 cm cada uno (aumentando la sección transversal en 1,9 m) dando como resultado que la sección transversal final de la carretera que se construyó, con relación a la existente, tuvo un incremento total de 5,3 metros (2,65 metros por sentido, según la figura 3).

14. ESTRUCTURA DEL INFORME DE AUDITORÍA.

Considerando las obras del presente proyecto de rehabilitación auditado se definieron dos tipos de secciones⁷, según la siguiente figura, con diferentes materiales granulares, a saber:

- La **sección principal** corresponde a la recuperación y trituración de la carpeta asfáltica existente (reciclado), que se combinaron posteriormente con un "material granular correctivo", con la intención de ajustar la granulometría de la carpeta reciclada a la especificación solicitada, denominado como "material virgen" en los informe de calidad generados por el laboratorio LGC, la cual en el presente informe se denominará "Base estabilizada combinada". En esta sección se mantienen las capas originales de base y subbase y subrasante existentes en el proyecto.
- La sección de las **ampliaciones**, ubicadas en las secciones laterales (estructuras nueva), para lo cual y para coincidir con la estructura central, tal y como se detalla en la figura 3, se construyó una capa de material granular de subbase emplazada sobre el terreno natural, seguida de una capa de base granular, posteriormente se colocó una capa de base granular estabilizada con cemento.

En los apartados que a continuación se desarrollan, se analizarán cada uno de los materiales granulares nuevos incorporados en cada una de las estructuras construidas, a saber la sección principal (base estabilizada con material combinado) y en las secciones laterales de ampliación (sub base, base granular y base granular estabilizada). De manera que, el informe se divide en dos secciones, según los siguientes temas:

⁷ El diseño de Base Estabilizada informe N°1007-2011 de la empresa LGC Ingeniería de Pavimentos S.A, indica dos tipos de materiales: base granular (identificación N°7551) y combinación de material virgen y carpeta asfáltica recuperada (identificación N°7440 y 7372).

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 18 de 60
--	----------------------------------	-----------------

SECCIÓN I: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES GRANULARES DE SUBBASE Y BASE COLOCADOS EN LA AMPLIACIÓN.

- Conceptos teóricos asociados.
- Evaluación de la calidad de los materiales para subbase y base granular, por medio del análisis de los informes de autocontrol y verificación de la calidad, y su correspondencia con la normativa contractual, considerando para ello los siguientes aspectos:
 - Especificaciones técnicas.
 - Granulometría.
 - Límites de consistencia.
 - Densidad y humedad.
 - Índice de soporte, CBR.
- Conclusiones y posibles efectos en el desempeño de las obras de rehabilitación de la calzada, en razón de la evaluación de la calidad de los materiales.

SECCIÓN II: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO.

- Conceptos teóricos asociados.
- Evaluación de la calidad de la base estabilizada con cemento por medio del análisis de los informes de autocontrol y verificación de calidad, y su correspondencia con la normativa contractual, considerando para ello los siguientes aspectos:
 - Especificaciones técnicas.
 - Diseño.
 - Granulometría.
 - Relación humedad-densidad.
 - Resistencia a la compresión simple.
- Conclusiones y posibles efectos en el desempeño de las obras de rehabilitación en la calzada, en razón de la evaluación de la calidad de los materiales.

Se debe aclarar que la evaluación de calidad estadística que se realiza para evaluar el nivel de cumplimiento, corresponde según lo indicado en la apartado "*7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad*", en el Tomo II del Cartel de Licitación, y las especificaciones técnicas indicadas en la Tabla A₂ (que de acuerdo con la normativa

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 19 de 60
--	----------------------------------	-----------------

contractual se debe realizar a través de la verificación de la calidad), no sólo tiene como objetivo comprobar estadísticamente con un nivel de confianza elevado, el cumplimiento de las especificaciones, sino que además permite establecer el pago a precio reducido en función de la calidad, a través de la determinación y aplicación del factor de pago.

La aplicación de herramientas estadísticas para el análisis de los ensayos de calidad, es una actividad fundamental en cualquier proceso productivo pues permite predecir el nivel de calidad del producto, corregir y prevenir desviaciones y mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de producción. Las herramientas estadísticas de control de procesos evalúan no sólo los resultados fuera de los límites de especificación, sino también la variabilidad del proceso, misma que puede aumentar la probabilidad de que la totalidad del producto no cumpla con el nivel de calidad establecido por las especificaciones, como resultado de la variabilidad inherente del proceso.

- **Inferencia estadística de la calidad del trabajo realizado.**

Por esta razón y con el propósito de aportar elementos que permitan la interpretación de los resultados de los ensayos y acrecentar la calidad de los productos que se utilizan en las labores de construcción de infraestructura vial, esta Auditoría Técnica realiza una evaluación estadística de los resultados de los materiales obtenidos de las muestras tomadas y ensayadas por el personal técnico del LanammeUCR y los ensayos reportados por los laboratorios de autocontrol y verificación de la calidad. Para ello se aplica el procedimiento establecido en la sección de "*Pago de obra ejecutada en función de la calidad*" del Cartel de Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV para la Línea 18, Zona 1-5: Alajuela Norte", con la finalidad de evidenciar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción.

Para el análisis la metodología contractual establece que inicialmente se deben determinar los índices de calidad para cada uno de los ensayos que se van a analizar y luego obtener para cada uno, el porcentaje de datos fuera de los límites de especificación (PT), según lo que establece el Cartel de Licitación al respecto. El porcentaje fuera de los límites de especificación es una estimación del porcentaje de la totalidad del producto que podría encontrarse fuera de los rangos de especificación para las muestras o periodo analizado (lote).

SECCIÓN I

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES GRANULARES DE SUBBASE Y BASE COLOCADOS EN LA AMPLIACIÓN.

1. CONCEPTOS GENERALES.

Teniendo claro, que la estructura de la calzada en cuestión está compuesta por una capa de subbase, base y capa de ruedo, se definen de manera general las funciones de cada una:

- **Subrasante:** corresponde al material natural (o de préstamo), ubicado a lo largo del alineamiento horizontal del pavimento, que tiene como función soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad tenga la subrasante, el espesor de las capas del pavimento será más reducido, y habrá un ahorro en costos, sin mermar la calidad.
- **Subbase:** material granular de una calidad superior al de la subrasante, que se especifica en términos de granulometría, condiciones de plasticidad y resistencia. Tiene por objeto: servir de capa de drenaje al pavimento, controlar o eliminar en lo posible cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante, controlar la ascensión capilar del agua provenientes de las capas freáticas cercanas protegiendo así al pavimento contra los hinchamientos que se producen en época lluviosa.
- **Base:** material granular de alta calidad, para lo cual sus características se definen de forma similar a la subbase. Se utiliza para: absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir uniformemente los esfuerzos a la sub-base y la subrasante.
- **Capa de superficie de ruedo** (losa o carpeta asfáltica): su función es proporcionar una superficie plana y segura al rodamiento de los vehículos. Debe tener suficiente resistencia tanto al desgaste como a la fractura para soportar las cargas. Debe ser antiderrapante y no puede deformarse.

En general, es preferible, que se propongan estructuras para las cuales los riesgos se minimicen en las capas profundas, con el fin de evitar acciones de conservación de naturaleza tal que al final deban considerarse como reconstructivas, con alto costo. Para ello, resulta necesario que estos materiales reúnan condiciones bajas de plasticidad, en los que la presencia de finos plásticos no propicien un mal desempeño del material (evitar

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 21 de 60
--	----------------------------------	-----------------

altos contenidos), la granulometría proporcione una matriz que permita la resistencia requerida y una adecuada compactación. En cuanto al proceso de compactación, es importante que a través de la técnica utilizada en sitio se logre, la densidad adecuada y necesaria para asegurar las condiciones estructurales deseadas, sobre todo para materiales susceptibles a cambios volumétricos causados por absorción o pérdida de agua, lo cual se debe ver y tratar como un factor esencial para asegurar el buen desempeño de la estructura.

Considerando estos aspectos y la evaluación estadística se obtienen los siguientes resultados, a partir de la información que el CONAVI suministró a esta Auditoría Técnica, que tal y como se indicó en el apartado "7. Limitaciones para la ejecución del informe", no atendió a la totalidad de la información solicitada por esta Auditoría Técnica.

2. SOBRE LA APLICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES ESPECIALES DEL CARTEL DE LICITACION PARA LA SUBBASE Y BASE.

HALLAZGO N°1: De acuerdo con los informes de ensayo de los laboratorios de control y verificación de calidad, para la valoración de la calidad de los materiales granulares utilizados en la subbase granular y base granular se utilizan especificaciones distintas a las establecidas en el Cartel de Licitación.

Para la realización de varias actividades el cartel de Licitación Pública No.2009-LN-000003-CV, en el Tomo II, en el apartado "Especificaciones Especiales", establece las especificaciones técnicas para la calidad y los procesos constructivos, requeridas para la aceptación y el pago de las obras. En relación con los materiales para la subbase y base granular, contractualmente se tienen establecidos los siguientes renglones de pago:

- M-204 (1): "Suministro, Colocación y Compactación de Sub-base de agregado triturado",.
- M-304 (4): "Suministro, Colocación y Compactación de base de agregado triturado, Graduación B",

A partir del análisis de los resultados emitidos por los laboratorios encargados de los ensayos de autocontrol y verificación de calidad, se constata que se aplicaron las especificaciones de las secciones 204 "Subbase" y 703.06 "Agregados para base no tratada y capas de superficie", que establece el CR-77 para la evaluación de las granulometrías de los materiales granulares (ver detalle en las tablas 1 y 2). No se evidenció durante la ejecución del proceso de auditoría ninguna autorización oficial por parte de la Administración para efectuar algún cambio de las condiciones cartelarias.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 22 de 60
--	----------------------------------	-----------------

Tabla 1. Especificaciones para material de subbase granular cartelarias y las utilizadas por el autocontrol y la verificación.

Malla No.	Abertura (mm)	CARTEL DE LICITACIÓN	VERIFICACIÓN (Cacisa)	AUTOCONTROL (LGC)
		Renglón M-204 (1) Subbase granular Porcentaje Pasando	CR-77 Subbase A Sección 204	CR-77 Subbase B Sección 204
3"	76,2	--	100	--
2 1/2"	63	100	--	--
2"	50	97-100	--	--
1 1/2"	38,1	--	--	100
1"	25	65-79	--	--
1/2"	12,5	45-59	--	--
N°4	4,75	28-42	40-70	40-70
N°40	0,425	--	10-50	10-50
N°50	0,3	9-17	--	--
N°200	0,075	4-8	0-15	0-15

(*) El laboratorio de verificación en cuatro muestras del mes de febrero de 2012 aplica la granulometría CR-77 Subbase B, de la sección 204.

Tabla 2. Especificaciones para material de base granular cartelarias y las utilizadas por el autocontrol y la verificación.

Malla No.	Abertura (mm)	CARTEL DE LICITACIÓN	AUTOCONTROL (LGC)
		Renglón M-204 (1) Base granular Porcentaje Pasando	VERIFICACIÓN (Cacisa) CR-77 Base No Tratada Graduación B, Sección 703.06 Porcentaje Pasando
2"	50	--	--
1 1/2"	37,5	100	100
1"	25	97-100	70-100
3/4"	19	--	60-90
3/8"	9,5	56-70	45-75
N°4	4,75	39-53	35-60
N°10	2,0	--	25-50
N°40	0,425	--	10-30
N°50	0,3	12-21	--
N°200	0,075	4-8	5-15

De manera que al comparar las granulometrías de las tablas 1 y 2, se determina que tanto para la subbase como para la base granular, las granulometrías de referencia utilizadas para el autocontrol y la verificación, difieren de lo que se establece contractualmente. En el caso de la subbase granular, la granulometría contractual es más continua que la

propuesta por el CR-77, lo que podría permitir un mejor acomodo de las partículas (mayor densidad). En aquellos tamices donde coinciden las especificaciones especiales con las especificaciones del CR-77 (tamices N°4 y N°200), se observa un rango de variación más estrecho, lo que incidiría en la densidad de la granulometría resultante.

Para la base granular, se determina que la especificación granulométrica contractual es más fina que la del CR-77, lo que permitiría al material alcanzar una mayor densidad. Es conveniente, para materiales granulares, evitar la presencia de humedad (condición de agua retenida y/o saturación) por lo que es necesario asegurar un buen sistema de drenaje superficial y subdrenaje.

Este hallazgo se fundamenta en el análisis y los hallazgos que se presentan a continuación, donde para efectos del presente informe, la evaluación de los resultados obtenidos por los laboratorios de autocontrol y verificación de calidad, se evalúan de conformidad con los criterios establecidos en el Cartel de Licitación.

3. SOBRE LA CALIDAD DE LA SUBBASE GRANULAR (SECCIONES DE AMPLIACIÓN).

HALLAZGO N° 2: De acuerdo con las especificaciones especiales, el material de sub base granular no cumple con los requisitos granulométricos establecidos contractualmente según el análisis de los resultados reportados en los informes de calidad realizados en noviembre 2011 a abril de 2012, por el autocontrol y la verificación.

Tal y como se ha indicado en el Hallazgo N°1, tanto el laboratorio de calidad de verificación (Cacisa), como de autocontrol (LGC), no evalúan el material según las "Especificaciones Especiales" indicadas en el Cartel de Licitación, sino que más bien utilizan las especificaciones del CR-77, según la "Sección 204 Subbase" del "Manual de especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes", CR-77, el primero, verificación, para subbase Tipo A y el segundo para subbase Tipo B.

Es importante recordar lo indicado anteriormente, en el sentido que en este proyecto de rehabilitación se colocó material de subbase granular solamente en los tramos donde se amplió la calzada, ya que en la estructura existente, la capa de subbase permaneció inalterada.

Del análisis de calidad realizado en el Anexo N°1 de este informe, se establece el cuadro 1 donde se resumen los resultados obtenidos.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 24 de 60
--	----------------------------------	-----------------

Cuadro 1. Evaluación del nivel de cumplimiento de especificaciones contractuales del material de subbase granular, a partir de los informes de calidad de autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa).

Parámetro	Evaluación de la Calidad del Material de Subbase Granular_ Sección de Ampliación (según informes de calidad de autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa))																																																																																					
	Especificaciones y/rangos	Resultados																																																																																				
Granulometría	<p>Especificaciones especiales (Cartel)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Malla N°</th> <th>% Pas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 1/2"</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>97-100</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>65-79</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>45-59</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>28-42</td> </tr> <tr> <td>N°50</td> <td>9-17</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>4-8</td> </tr> </tbody> </table>	Malla N°	% Pas	2 1/2"	100	2"	97-100	1"	65-79	1/2"	45-59	N°4	28-42	N°50	9-17	N°200	4-8	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Laboratorio</th> <th>Tamiz</th> <th>Nivel de Incumplimiento (NI)</th> <th>Max valor NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">nov-11</td> <td rowspan="2">LGC</td> <td>N°4</td> <td>87%</td> <td rowspan="2">51%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>52%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">dic-11</td> <td rowspan="2">LGC</td> <td>N°4</td> <td>87%</td> <td rowspan="2">53%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>59%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ene-12</td> <td rowspan="2">LGC</td> <td>N°4</td> <td>33%</td> <td rowspan="2">53%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>61%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">feb-12</td> <td rowspan="2">LGC</td> <td>N°4</td> <td>62%</td> <td rowspan="2">57%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>35%</td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido	nov-11	LGC	N°4	87%	51%	N°200	52%	dic-11	LGC	N°4	87%	53%	N°200	59%	ene-12	LGC	N°4	33%	53%	N°200	61%	feb-12	LGC	N°4	62%	57%	N°200	35%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Laboratorio</th> <th>Tamiz</th> <th>Nivel de Incumplimiento (NI)</th> <th>Max valor NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Noviembre - Diciembre 2011</td> <td rowspan="5">Cacisa</td> <td>2"</td> <td>0%</td> <td rowspan="5">62%</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>97%</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>35%</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>23%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>62%</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">Enero - Febrero 2012</td> <td rowspan="4">Cacisa</td> <td>2"</td> <td>0%</td> <td rowspan="4">62%</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>92%</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>56%</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>53%</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>N°200</td> <td>63%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido	Noviembre - Diciembre 2011	Cacisa	2"	0%	62%	1"	97%	1/2"	35%	N°4	23%	N°200	62%	Enero - Febrero 2012	Cacisa	2"	0%	62%	1"	92%	1/2"	56%	N°4	53%			N°200	63%	
	Malla N°	% Pas																																																																																				
2 1/2"	100																																																																																					
2"	97-100																																																																																					
1"	65-79																																																																																					
1/2"	45-59																																																																																					
N°4	28-42																																																																																					
N°50	9-17																																																																																					
N°200	4-8																																																																																					
Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido																																																																																		
nov-11	LGC	N°4	87%	51%																																																																																		
		N°200	52%																																																																																			
dic-11	LGC	N°4	87%	53%																																																																																		
		N°200	59%																																																																																			
ene-12	LGC	N°4	33%	53%																																																																																		
		N°200	61%																																																																																			
feb-12	LGC	N°4	62%	57%																																																																																		
		N°200	35%																																																																																			
Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido																																																																																		
Noviembre - Diciembre 2011	Cacisa	2"	0%	62%																																																																																		
		1"	97%																																																																																			
		1/2"	35%																																																																																			
		N°4	23%																																																																																			
		N°200	62%																																																																																			
Enero - Febrero 2012	Cacisa	2"	0%	62%																																																																																		
		1"	92%																																																																																			
		1/2"	56%																																																																																			
		N°4	53%																																																																																			
		N°200	63%																																																																																			
Consistencia Limite Líquido	<p>≤ 30 en porción de material pasando tamiz N° 40 (CR-77)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Laboratorio</th> <th colspan="2">Subbase granular</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <th>Nivel Incumplimiento</th> <th>Max NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>nov-11</td> <td rowspan="5">LGC</td> <td>3%</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>dic-11</td> <td>0%</td> <td>49%</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>16%</td> <td>47%</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>17%</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>mar-12</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>dic-11</td> <td rowspan="2">Cacisa</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>13%</td> <td>51%</td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Subbase granular				Nivel Incumplimiento	Max NI permitido	nov-11	LGC	3%	51%	dic-11	0%	49%	ene-12	16%	47%	feb-12	17%	51%	mar-12	-	-	dic-11	Cacisa	-	-	ene-12	13%	51%																																																					
Mes	Laboratorio	Subbase granular																																																																																				
		Nivel Incumplimiento	Max NI permitido																																																																																			
nov-11	LGC	3%	51%																																																																																			
dic-11		0%	49%																																																																																			
ene-12		16%	47%																																																																																			
feb-12		17%	51%																																																																																			
mar-12		-	-																																																																																			
dic-11	Cacisa	-	-																																																																																			
ene-12		13%	51%																																																																																			
Índice Plástico	<p>≤ 7 en porción de material pasando tamiz N° 40 (CR-77)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Laboratorio</th> <th colspan="2">Subbase granular</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <th>Nivel Incumplimiento</th> <th>Max NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>nov-11</td> <td rowspan="5">LGC</td> <td>1%</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>dic-11</td> <td>0%</td> <td>49%</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>17%</td> <td>47%</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>1%</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>mar-12</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td rowspan="2">Cacisa</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>4%</td> <td>51%</td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Subbase granular				Nivel Incumplimiento	Max NI permitido	nov-11	LGC	1%	51%	dic-11	0%	49%	ene-12	17%	47%	feb-12	1%	51%	mar-12	-	-	ene-12	Cacisa	-	-	feb-12	4%	51%																																																					
Mes	Laboratorio	Subbase granular																																																																																				
		Nivel Incumplimiento	Max NI permitido																																																																																			
nov-11	LGC	1%	51%																																																																																			
dic-11		0%	49%																																																																																			
ene-12		17%	47%																																																																																			
feb-12		1%	51%																																																																																			
mar-12		-	-																																																																																			
ene-12	Cacisa	-	-																																																																																			
feb-12		4%	51%																																																																																			
Humedad-Densidad Sitio	<p>Mínimo densificación de 95% de la densidad seca. (Cartel y CR-77)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Laboratorio</th> <th colspan="2">Subbase granular</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <th>Nivel Incumplimiento</th> <th>Max NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>nov-11</td> <td rowspan="6">LGC</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>dic-11</td> <td>8%</td> <td>38%</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>13%</td> <td>38%</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>29%</td> <td>38%</td> </tr> <tr> <td>mar-12</td> <td>7%</td> <td>52%</td> </tr> <tr> <td>abr-12</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>nov-11</td> <td rowspan="4">Cacisa</td> <td>43%</td> <td>36%</td> </tr> <tr> <td>dic-11</td> <td>27%</td> <td>36%</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>17%</td> <td>36%</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>14%</td> <td>38%</td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Subbase granular				Nivel Incumplimiento	Max NI permitido	nov-11	LGC	-	-	dic-11	8%	38%	ene-12	13%	38%	feb-12	29%	38%	mar-12	7%	52%	abr-12	-	-	nov-11	Cacisa	43%	36%	dic-11	27%	36%	ene-12	17%	36%	feb-12	14%	38%																																												
Mes	Laboratorio	Subbase granular																																																																																				
		Nivel Incumplimiento	Max NI permitido																																																																																			
nov-11	LGC	-	-																																																																																			
dic-11		8%	38%																																																																																			
ene-12		13%	38%																																																																																			
feb-12		29%	38%																																																																																			
mar-12		7%	52%																																																																																			
abr-12		-	-																																																																																			
nov-11	Cacisa	43%	36%																																																																																			
dic-11		27%	36%																																																																																			
ene-12		17%	36%																																																																																			
feb-12		14%	38%																																																																																			
Índice de Soporte, CBR	<p>CBR ≥ 30% (Cartel y CR-77)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Laboratorio</th> <th colspan="2">Subbase granular</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <th>Nivel Incumplimiento</th> <th>Max NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>nov-11</td> <td rowspan="4">LGC</td> <td>0%</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>dic-11</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>22%</td> <td>42%</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td rowspan="2">Cacisa</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>29%</td> <td>46%</td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Subbase granular				Nivel Incumplimiento	Max NI permitido	nov-11	LGC	0%	51%	dic-11	-	-	ene-12	22%	42%	feb-12	-	-	ene-12	Cacisa	-	-	feb-12	29%	46%																																																								
Mes	Laboratorio	Subbase granular																																																																																				
		Nivel Incumplimiento	Max NI permitido																																																																																			
nov-11	LGC	0%	51%																																																																																			
dic-11		-	-																																																																																			
ene-12		22%	42%																																																																																			
feb-12		-	-																																																																																			
ene-12	Cacisa	-	-																																																																																			
feb-12		29%	46%																																																																																			

Max valor NI permitido: nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

Al respecto, el análisis estadístico de los resultados de granulometría tanto de autocontrol como de verificación de calidad, determinan un porcentaje de incumplimiento (como se muestra en el cuadro 1) para el material de subbase evaluado según la metodología contractual, evidenciando una granulometría con una cantidad de finos mayor a la indicada en *las Especificaciones Especiales*. Dicho incumplimiento, de acuerdo con los criterios de evaluación y pago establecidos contractualmente, es mayor al permitido para aceptación del material, por lo que se recomienda a la Administración revisar la consideración de la viñeta e) del apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad" en cuanto a lo establecido para la recepción del material. Es criterio de esta auditoría que al evidenciarse un incumplimiento constante y sostenido⁸, tal como se observa en el cuadro 1, la Administración debió formular medidas correctivas durante el proceso constructivo para lograr la aceptación del material.

En relación con la consistencia del material evaluado, se considera el periodo que abarca de noviembre del 2011 a febrero del 2012, para autocontrol, y de enero a febrero del 2012, para la verificación, dado que en la documentación que se aportó no se incorporó la información de la totalidad de los meses del periodo de evaluación que se propone en este informe de auditoría técnica (noviembre 2011-abril 2012). Al respecto, se puede establecer que en general el material cumple el límite líquido e índice de plasticidad, donde la tendencia más bien es hacia un material no plástico.

En relación con las densidades en sitio del material evaluado⁹, del análisis de los resultados de autocontrol se obtienen cumplimiento en dicho parámetro (Ver Anexo N°1, apartado 3). Por su parte, con los resultados de verificación de calidad (Cacisa), el análisis estadístico revela que durante el mes de noviembre del 2011 se presenta porcentaje de incumplimiento del 43%, por lo que de acuerdo con los criterios de evaluación y pago establecidos contractualmente, este es mayor al permitido para aceptación del material, por lo que se recomienda a la Administración revisar la consideración de la viñeta e) del apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad" en cuanto a lo establecido para la recepción del material. Para el resto de los meses el material demuestra cumplimiento, (según se muestra Anexo N°1, apartado 3). Cabe mencionar que en la información que suministró el CONAVI, no se aportó información de los meses de marzo y abril del 2012.

Por otro lado, en lo que al CBR se refiere, el análisis estadístico del material ensayado, evidencia cumplimiento para los resultados de autocontrol y de verificación (Anexo N°1, apartado 4). El análisis se realiza para el periodo que va de noviembre de 2011 a febrero de 2012 por autocontrol (LGC) y de enero y febrero de 2012 por verificación (Cacisa), pues en la documentación suministrada por el CONAVI, no se incorporó la información

⁸ Durante los meses de noviembre y diciembre de 2011, enero y febrero de 2012, se denotan altos porcentajes de incumplimiento, sin mostrar una disminución de los mismos durante el periodo evaluado.

⁹ En la información que suministró el CONAVI, no se encontró información del mes de noviembre del 2011.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 26 de 60
--	----------------------------------	-----------------

que corresponde a todo el periodo de evaluación de este informe de auditoría técnica, noviembre del 2011 a abril del 2012.

Considerando el análisis realizado anteriormente (basados en los informes de autocontrol y verificación de la calidad suministrados por el CONAVI), es criterio de esta Auditoría Técnica, que de acuerdo con las condiciones de incumplimiento anteriormente indicadas, especialmente en el parámetro de la granulometría, se debió valorar los resultados de ensayo de autocontrol y de verificación de calidad, conforme a los parámetros y factores de pago cartelarios, según el apartado "*7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad*", del Tomo II del Cartel de Licitación. Además, la administración en su momento debió atender las disposiciones del cartel y aquellas medidas correctivas en los resultados recurrentes, que se presentaron en el cuadro 1.

4. SOBRE LA CALIDAD DE LA BASE GRANULAR (SECCIONES DE AMPLIACIÓN)

HALLAZGO N° 3: De acuerdo con las especificaciones especiales, el material de base granular no cumple con los requisitos granulométricos establecidos contractualmente según el análisis de los resultados reportados en los informes de calidad realizados en noviembre 2011 a abril de 2012, por el autocontrol y la verificación.

Tal y como se ha indicado anteriormente, para el proyecto de rehabilitación se colocó material de base granular en los tramos donde se amplió la calzada. Una parte del material de base granular colocado en las ampliaciones de la calzada, también se estabilizó con cemento, este tema se analiza en la Sección II de este informe.

De acuerdo con el cuadro 2, en relación con la granulometría, los resultados reportados durante el periodo comprendido entre noviembre 2011 y abril de 2012, tanto de autocontrol como para la verificación de calidad, evidencian incumplimientos mayores al valor permitido en la metodología contractual, el detalle del análisis se desarrolla en el Anexo N°2.

Este incumplimiento se presenta a un nivel tal que, de acuerdo con los criterios de evaluación y pago establecidos contractualmente, es mayor al permitido para aceptación del material, por lo que se recomienda a la Administración revisar la consideración de la viñeta e del apartado "*7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad*" en cuanto a lo establecido para la recepción del material. Es criterio de esta auditoría que al evidenciarse un incumplimiento constante y sostenido¹⁰, tal como se observa en el cuadro 2, la Administración debió formular medidas correctivas durante el proceso constructivo para lograr la aceptación del material.

¹⁰ Durante los meses de noviembre y diciembre de 2011, enero, febrero y marzo de 2012, se observan altos porcentajes de incumplimiento, sin mostrar una disminución de los mismos durante el periodo evaluado.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 27 de 60
--	----------------------------------	-----------------

En relación con los resultados de consistencia, el material evaluado según la información facilitada a esta Auditoría Técnica, se analiza para el periodo de diciembre del 2011 a marzo del 2012, en el caso del autocontrol (LGC), y de enero a febrero del 2012 para la verificación (Cacisa), pues en la información suministrada por el CONAVI, no se incorporó la información respectiva de todos los meses requeridos para el periodo de evaluación que se propone en este estudio de auditoría técnica, noviembre del 2011 hasta abril del 2012. Tal y como se muestra en el cuadro 2, en general el material determina un nivel de cumplimiento, tanto para el límite líquido como el índice de plasticidad.

En relación con el análisis de los resultados de las densidades en sitio del material evaluado, se tiene por autocontrol de calidad (LGC) valores de cumplimiento para el periodo de estudio (en la información que suministró el CONAVI, no se encontró información del mes de noviembre del 2011). Por su parte el análisis de los resultados de la verificación de calidad (Cacisa), de noviembre del 2011 a enero del 2012, determinan el cumplimiento en la mayor parte del periodo evaluado, sin embargo para febrero del 2012 el incumplimiento es del 68%, por lo que de acuerdo con la normativa para el pago en función de la calidad el material evaluado excede el valor para aceptar dicho material. Cabe aclarar, que en la información que suministró el CONAVI, no se encontró información de los meses de marzo y abril del 2012, por parte de la verificación de calidad.

Por otro lado, en lo que al CBR se refiere, para el material evaluado, éste presenta un cumplimiento en todo el periodo examinado. El análisis se realiza para el periodo comprendido entre diciembre de 2011 a febrero de 2012 por autocontrol (LGC) y de enero y febrero de 2012 por verificación (Cacisa), pues en la documentación suministrada por el CONAVI, no se incorporó la información que corresponde a todo el periodo de evaluación de este informe de auditoría técnica, noviembre del 2011 a abril del 2012.

Considerando el análisis realizado anteriormente (basados en los reportes de autocontrol y verificación de la calidad suministrados por el CONAVI), es criterio de esta Auditoría Técnica, que de acuerdo con las condiciones de incumplimiento de las especificaciones especiales anteriormente evidenciadas, en particular en el parámetro de granulometría, los resultados de ensayo de autocontrol y de verificación de calidad, correspondía evaluarlos conforme a los parámetros y factores de pago cartelarios, según el apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad", del Tomo II del Cartel de Licitación. Además, la administración en su momento debió atender las disposiciones del cartel y las medidas correctivas de los resultados recurrentes, que se reflejan en el cuadro 2.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 28 de 60
--	----------------------------------	-----------------

Cuadro 2. Evaluación del nivel de cumplimiento de especificaciones contractuales del material de base granular, a partir de los informes de calidad de autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa)

Parámetro	Evaluación de la Calidad del Material de Base Granular_ Sección de Ampliación (según informes de calidad de autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa))																								
	Especificaciones y/rangos	Resultados																							
Granulometría	Especificaciones especiales (Cartel) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Malla N°</th> <th>% Pas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>97-100</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>56-70</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>39-53</td> </tr> <tr> <td>N°50</td> <td>12-21</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>4-8</td> </tr> </tbody> </table>	Malla N°	% Pas	1 1/2"	100	1"	97-100	3/8"	56-70	N°4	39-53	N°50	12-21	N°200	4-8	Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido	Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido
		Malla N°	% Pas																						
		1 1/2"	100																						
		1"	97-100																						
		3/8"	56-70																						
		N°4	39-53																						
		N°50	12-21																						
		N°200	4-8																						
		nov-11	LGC	1 1/2"	0%	57%	ene-12	Cacisa	1 1/2"	0%	60%														
				1"	100%																				
		3/8"	97%																						
		N°4	74%																						
		N°200	27%																						
dic-11	LGC	1 1/2"	0%	44%	feb-12	Cacisa	1 1/2"	0%	53%																
		1"	100%																						
		3/8"	99%																						
		N°4	83%																						
		N°200	29%																						
ene-12	LGC	1 1/2"	0%	48%	feb-12	Cacisa	1 1/2"	0%	53%																
		1"	99%																						
		3/8"	89%																						
		N°4	53%																						
		N°200	59%																						
feb-12	LGC	1 1/2"	0%	46%	mar-12	LGC	1 1/2"	0%	53%																
		1"	95%																						
		3/8"	58%																						
		N°4	24%																						
		N°200	78%																						
mar-12	LGC	1 1/2"	0%	53%			1 1/2"	0%																	
		1"	100%																						
		3/8"	29%																						
		N°4	8%																						
		N°200	64%																						

Max valor NI permitido: nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

SECCIÓN II

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DE BASE ESTABILIZADA.

1. MARCO TEORICO.

En la siguiente sección se explican algunos conceptos y criterios importantes para el desarrollo y comprensión del presente informe de auditoría técnica.

1.1. Conceptos básicos sobre tratamiento de bases con cemento.

El desarrollo socio-económico del país va en paralelo con la demanda social de un transporte de calidad, de ahí que las carreteras requieran materiales con mayor durabilidad y estructuras con buen desempeño para un tráfico pesado que va en aumento, para lo cual, por aspectos de costos de operación vehicular y de intervención, su mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción deben reducirse en la medida de lo posible pero sin menoscabo de la funcionalidad y seguridad vial que deben proveer las carreteras a los usuarios.

Por otro lado, las nuevas políticas y normas ambientales representan grandes limitaciones en cuanto al uso de materiales de tajo y ríos, lo que ha generado una tendencia al reciclado de materiales de carreteras, así como el uso subproductos industriales, suelos contaminados, etc. Lo anterior, sin considerar que existe cierta carencia de materiales de buena calidad en los sitios donde intervienen o construyen carreteras.

Es así como, para garantizar carreteras con buen desempeño y eficiencia de la inversión a largo plazo, desde años atrás diversos países han venido realizando mejoras en la metodología de diseños (más ajustados a las necesidades reales de la carretera y a los recursos disponibles), las técnicas y procesos constructivos (menores plazos y reducción de riesgos en la calidad constructiva deseada) y las mejoras de las características de los materiales (más durables, resistentes y mejor desempeño), de manera que puedan reducirse los espesores de los pavimentos sin detrimento de su durabilidad y desempeño.

Sobre esto último, se destaca el caso de los materiales para bases, cuya función dentro de un pavimento, en conjunto con la subbase, por un lado es drenar el agua que se filtra por la carpeta y evitar la ascensión capilar, y por el otro transmitir los esfuerzos producidos por las cargas de los vehículos en la superficie de ruedo a la subrasante (suelo) adecuadamente distribuida y con una intensidad apropiada para no dañar la subrasante y la propia integridad del pavimento.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 30 de 60
--	----------------------------------	-----------------

En aquellos casos donde el material granular de la base no cumple con las condiciones mecánicas necesarias para que funcione como tal, para lo cual resulta necesario modificar sus características, una de las técnicas utilizadas implica la incorporación de cemento que permite resolver problemas de plasticidad y/o de capacidad de soporte CBR (mejoramiento de la base). Además, el cemento también se puede incorporar en una cantidad tal que permita reforzar la estructura granular (estabilización de la base ó base reforzada), proporcionándole una cohesión permanente, poco influida por la humedad, mayor durabilidad y resistencia mecánica a la deformación bajo las cargas del tráfico, que además producto de las reacciones físico-químicas del cemento con las partículas finas o polvo mineral, aumenta su resistencia y rigidez. De esta forma se permite con ello menores espesores de la propia capa de base y de la capa superficial de ruedo, dependiendo de las necesidades de tráfico.

En el año 2012, el LanammeUCR emitió el informe LM-PI-PU-0001-12 “*Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento*”, documento técnico-científico que recopila la experiencia de varios profesionales a nivel nacional, en el cual se definen conceptos y aspectos técnicos relacionados con la estabilización o mejoramiento de los suelos.

A continuación se detallan algunos de estos conceptos que a criterio esta Auditoría Técnica son importantes para el desarrollo de este informe:

- **Base mejorada:** Corrige deficiencias de un material granular que pueden experimentar problemas en relación con el índice plástico y/o el límite líquido, a través de la adición de porcentajes bajos de cemento (por ejemplo menos del 3%).
- **Base estabilizada:** Técnica que con la incorporación del cemento a un material granular tiene como objetivo el incremento de la cohesión para mejorar las características mecánicas y su durabilidad, en paralelo con un incremento en la resistencia y rigidez, situación que podría permitir la reducción del espesor de la capa de ruedo. En nuestro país se rigen por las especificaciones del CR-77, *Sección 308 Bases estabilizadas con cemento portland*.
- **Base recuperada:** Es el tratamiento similar al de la base estabilizada, para un espesor de material compuesto por la capa de rodadura y material granular de corrección, o bien compuesto por la capa de rodadura y un porcentaje de material granular existente en la estructura del pavimento (base e incluso subbase), que una vez escarificados y pulverizados, se les adiciona cemento para generar un material resultante que cumpla nuevamente con la función de una base, según las especificaciones técnicas y las demandas de tránsito requeridas.

Cabe mencionar que desde el punto de vista de desempeño del pavimento, la calidad de la capa de base es muy importante, por lo que su construcción debe obedecer a un marco

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 31 de 60
--	----------------------------------	-----------------

de especificaciones integral (proceso constructivo y características de los materiales), cuyo diseño se fundamente en estudios técnicos que garanticen el desempeño de los materiales a largo plazo, así como los parámetros físico-mecánicos que deben cumplir estas bases granulares o bases estabilizadas. En consecuencia es imprescindible hacer un análisis estructural para establecer la intervención requerida a ejecutar, con el propósito de elegir la mejor alternativa para el proyecto y con ello garantizar al país el uso eficiente de los recursos, compromiso absolutamente inherente a la buenas prácticas de ingeniería.

Para la contratación de una determinada obra es muy importante definir sus especificaciones técnicas, así como los criterios de aceptación, pago reducido por calidad o incluso el rechazo, aspectos fundamentales para el control y aseguramiento de la calidad, tema que en el presente informe será analizado más adelante. Es propio de la Ingeniería desarrollar y aplicar tecnologías bien fundamentadas que garanticen el buen desempeño de las obras con una eficiente inversión.

1.2. Criterio de esta Auditoría Técnica en relación con la resistencia a la compresión de la base estabilizada.

A manera de antecedente cabe recalcar el criterio expresado en su oportunidad por el LanammeUCR en cuanto a lo descrito en la sección 308 "*Base Estabilizada con cemento Portland*" señalado en las "*Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-77*", mediante el oficio LM-PI-044-12, de fecha 07 de mayo de 2012, emitido por el Coordinador del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR, al señor Director Ejecutivo de CONAVI, Ing. José Luis Salas Quesada.

Dicho oficio se relaciona con lo normado en el manual de "*Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-77)*", en la sección 308, en donde se tipifican dos tipos de bases estabilizadas con cemento, a saber:

- **BE-25** con una resistencia a la compresión mínima de 21 kg/cm² y promedio de 30 kg/cm² a los 7 días de curado.
- **BE-35** con una resistencia a la compresión mínima de 30 kg/cm² y promedio de 40 kg/cm² a los 7 días de curado.

Derivándose de tal sección que, la totalidad de los resultados de resistencia a la compresión de bases estabilizadas BE-25, ensayadas en laboratorio, deben mostrar un valor promedio de 30 kg/cm², sin que ningún valor sea menor a 21 kg/cm². De manera similar, se interpreta para bases estabilizadas BE-35, ensayadas en laboratorio, donde el valor promedio es de 40 kg/cm², con ningún valor obtenido menor a 30 kg/cm².

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 32 de 60
--	----------------------------------	-----------------

Resulta importante destacar que una de las principales confusiones de esta especificación, es el hecho de que no indica explícitamente un valor máximo de resistencia, por lo que el objetivo de dicho oficio es aclarar la posición del LanammeUCR en cuanto a la interpretación que se le ha dado a las especificaciones normadas en el CR-77. En ese sentido, pese a que en el CR-77 no se expresa claramente un límite superior de resistencia en estas especificaciones, se interpreta que este valor se encuentra tácitamente establecido, el cual mediante análisis estadísticos elementales es posible inferir, a partir de los límites anteriormente indicados (valor promedio y valor mínimo), un valor máximo y una desviación estándar asociada que permita cumplir simultáneamente ambos requisitos de resistencia a la compresión de bases estabilizadas con cemento, para cualquier tamaño de muestra ensayado.

El oficio supracitado se refiere, a manera de ejemplo, a la especificación establecida para la base estabilizada BE-35, para lo cual aplica la metodología estadística indicada en el apartado "Evaluación Estadística del Trabajo", sección 107.05 del CR-2010 (metodología similar a la de la sección de "Pago de obra ejecutada en función de la calidad", del Cartel de Licitación de este proyecto), para calcular mediante inferencia estadística la desviación estándar máxima aceptable para una muestra dada (que para este caso asume 30 muestras, una por cada día de colocación de base estabilizada en un mes), que de manera simultánea cumpla con los valores de resistencia mínima y resistencia promedio (30 y 40 kg/cm² respectivamente), tal como se ejemplifica en el Gráfico 1.

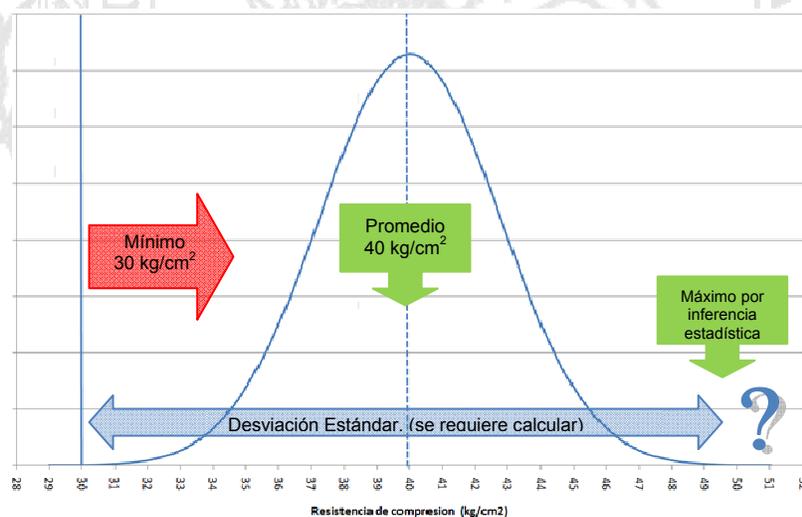


Gráfico 1. Curva de distribución normal, que cumpliría de manera simultánea el valor mínimo y promedio de resistencia a la compresión, para una desviación estándar máxima aceptable para un tamaño de muestra conocido.

Cabe destacar que el análisis propuesto es válido sólo si los datos se comportan de acuerdo con una distribución normal, lo que permite inferir un límite máximo aceptable, que aunque no esté especificado de forma explícita, es aconsejable que se controle para evitar altos valores de resistencia a la compresión en las bases estabilizadas.

Para efectos del presente informe, de manera similar se aplica dicho análisis estadístico¹¹, a la base estabilizada tipo BE-35¹², según especificaciones indicadas en el CR-77, de manera que se obtiene el valor máximo de resistencia a la compresión de 50 kg/cm² y una desviación estándar 2,74 kg/cm², tal y como se ilustra en el *Gráfico 2*.

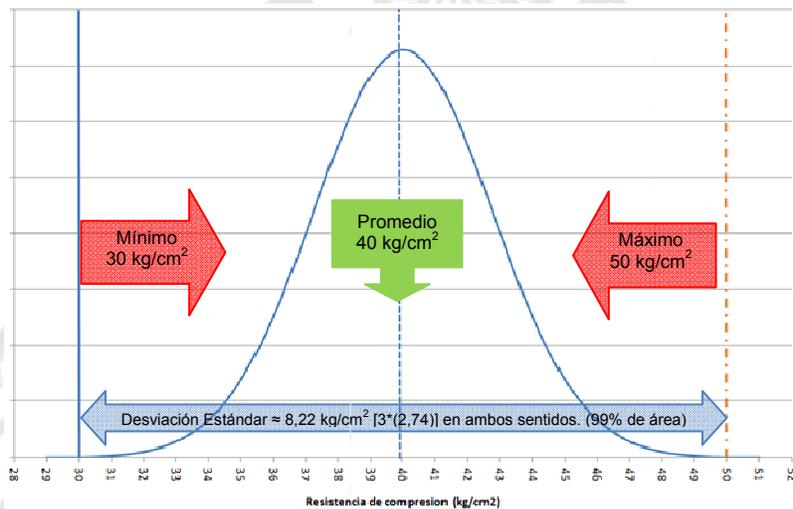


Gráfico 2. Curva de distribución normal, que cumple de manera simultánea el valor mínimo y promedio de resistencia a la compresión, para una desviación estándar máxima aceptable para un tamaño de 30 muestras.

- **Aspectos relacionados con los efectos de la restricción de valores altos de resistencia a la compresión en las bases estabilizadas.**

Resulta indispensable controlar el valor de resistencia a la compresión de la capa de base estabilizada, para evitar un exceso de resistencia que provocaría una gran rigidez, volviéndola susceptible al agrietamiento y a problemas de fisuración por contracción, con la consecuencia de que las grietas se podrían reflejar en las capas adicionales que se colocarán sobre la base, es decir la carpeta asfáltica. En función de la resistencia a compresión a los 7 días se puede estimar cualitativamente, la severidad de agrietamiento posible de las bases estabilizadas con cemento según el siguiente criterio:

¹¹El análisis se realiza suponiendo un tamaño muestral de 30 observaciones y un nivel de confianza de 90%.

¹² Que para una base estabilizada tipo BE-25, se obtiene un valor máximo de resistencia a la compresión de 39 kg/cm² con una desviación estándar de 2,45 kg/cm².

Tabla 3. Tipos de agrietamiento asociados a la resistencia a la compresión a los 7 días¹³.

Resistencia a la compresión, 7 días	Tipo de Agrietamiento
$Rc\ 7 \leq 20\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento muy leve o imperceptible
$20\ \text{kg/cm}^2 \leq Rc\ 7 \leq 30\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de muy leve a leve
$30\ \text{kg/cm}^2 \leq Rc\ 7 \leq 40\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de leve a moderado
$40\ \text{kg/cm}^2 \leq Rc\ 7 \leq 55\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de moderado a alto
$Rc\ 7 \geq 60\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de alto a severo *

Rc 7: Resistencia a la compresión a los 7 días.

() Se recomienda la construcción de juntas para minimizar el agrietamiento.*

De acuerdo con la información contenida en la tabla anterior, para el caso de que se presente un agrietamiento con un nivel igual o inferior al aquí señalado como moderado, se puede esperar que esta condición no afecte la vida útil ni el desempeño a largo plazo de la estructura del pavimento, esto siempre y cuando el diseño en laboratorio, el proceso constructivo y el control de calidad de la base, se haya ejecutado correctamente. Lo anterior, bajo el supuesto de que tanto el diseño estructural como el plan de mantenimiento del pavimento, se realizan de forma adecuada y de acuerdo con las necesidades reales de la calzada.

Al relacionar las resistencias a la compresión para cada uno de los tipos de base estabilizada especificadas en el CR-77, a saber BE-25 y BE-35, con el nivel de agrietamiento esperado en función de la resistencia a los 7 días (según *Tabla 3*), se puede establecer que la base estabilizada BE-25 tendría menor riesgo de desarrollar problemas de fisuración dado que presenta una menor rigidez y una menor susceptibilidad al agrietamiento, tal como se aprecia en la *Tabla 4*. En cuanto a la base estabilizada BE-35, esta podría estar sujeta a un agrietamiento alto, por tener mayor rigidez, siendo propensa a la fisuración por contracción o a la susceptibilidad al agrietamiento, comprometiendo no sólo su comportamiento, sino también a la carpeta asfáltica, por efecto del reflejo de grietas.

Tabla 4. Tipos de agrietamiento asociados al tipo de Base Estabilizada del CR-77.

Tipo de Base Estabilizada, según CR-77	Resistencia a la compresión, 7 días	Tipo de Agrietamiento
BE-25	$21\ \text{kg/cm}^2 \leq Rc\ 7 \leq 39\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de muy leve a moderado
BE-35	$30\ \text{kg/cm}^2 \leq Rc\ 7 \leq 50\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de leve a alto

Rc 7: Resistencia a la compresión a los 7 días.

¹³Publicación técnica "Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento". Volumen 1, Número 1, LanammeUCR-Marzo 2012.

Algunas prácticas internacionales¹⁴, para cuando se construyen bases estabilizadas con valores de resistencia a 7 días mayores a 45 kg/cm^2 , recomiendan la alternativa de hacer grietas controladas (transversales y/o longitudinales), similar al que se aplica en las losas de hormigón. Técnica por medio de la cual se logra un patrón de grietas uniforme cuyas esquinas serán siempre en ángulo recto, evitando con ello fallas de esquina y de bordes, en la base estabilizada agrietada.

Por todo lo anterior, es imprescindible controlar la cantidad de cemento que se ha de adicionar a los materiales granulares que se estabilizarán, para de esta forma limitar la resistencia a la compresión de los materiales estabilizados a valores menores al máximo indicado por la PCA¹⁴ (resistencia a 7 días de 45 kg/cm^2), con el fin de prescindir de la formación controlada de grietas, fisuras o inclusive cortes en la base estabilizada (como se menciona en el apartado anterior 1.4), que a futuro podrían afectar la calidad de la capa de ruedo, que en caso de ser de mezcla asfáltica se podría presentar el fenómeno de reflejo de la grietas en el espesor de la carpeta de ruedo y con ello el inicio de un proceso prematuro de deterioro

Por otro lado, en relación con el diseño de las base estabilizadas, hay que destacar que el mismo debe generar una mezcla donde el contenido de cemento que se utiliza, que está asociado con el valor de resistencia a la compresión requerida, resulte suficiente como para que la base estabilizada sea resistente, durable y relativamente impermeable. Sin embargo este valor de resistencia no debe ser tan alto como para que genere deterioros asociados con la alta rigidez de la base misma, esto de acuerdo con la Guía de Bases Tratadas con Cemento (CTB) de la PCA (Portland Cement Association).

Por ello es importante, durante la formulación del diseño a escala de laboratorio, realizar un adecuada dosificación de todos los materiales que conforman la base estabilizada, para determinar el porcentaje óptimo de cemento que se debe agregar al material granular, de manera que se pueda alcanzar la resistencia requerida con el mínimo cemento posible para evitar capas extremadamente rígidas, de manera que se pueda maximizar el uso de los recursos.

1.3. Criterio técnico de esta Auditoría Técnica para la evaluación de la resistencia a la compresión establecida en el diseño de base estabilizada del proyecto de rehabilitación en el tramo Aeropuerto-Manolo's.

La base estabilizada con cemento utilizada en el proyecto de la Ruta N°1, en el tramo Intercambio Aeropuerto-Intercambio Manolo's, conforme al diseño presentado en el Informe N°1007-2011, ejecutado por el Laboratorio LGC, debe cumplir con una resistencia a la compresión mínima a los 7 días de 45 kg/cm^2 . Esta resistencia difiere

¹⁴ Como las recomendadas por PCA (Portland Cement Association / Asociación de Cemento Portland).

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 36 de 60
--	----------------------------------	-----------------

considerablemente de los dos tipos de base y resistencias establecidos en la documentación contractual asociada al CR-77 para la BE-25 y BE-35, antes mencionados. Por lo tanto, y ante la ausencia de especificaciones contractuales para la base propuesta por el Contratista (compresión mínima a los 7 días de 45 kg/cm^2), se considerarán como referencia de análisis una BE-35, por tener la resistencia mínima más cercana al de la base propuesta. Es así como, esta Auditoría Técnica para analizar los resultados de laboratorio y evaluar si las resistencias a la compresión de la base estabilizada reportadas por los diversos entes de ensayo se encuentran dentro de una variabilidad razonable (tema que se desarrolla en el Hallazgo N°7), consideró lo siguiente:

- ✓ Comparación de los resultados de ensayo contra la base estabilizada de valor máximo, establecido en el manual de *"Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-77)"*, para el tipo de base estabilizada BE-35, cuya resistencia a la compresión mínima es de 30 kg/cm^2 , un valor promedio de 40 kg/cm^2 y un valor máximo inferido mediante análisis estadístico de 50 kg/cm^2 , tal y como se indicó en el apartado anterior.
- ✓ Aplicación de las pautas para la evaluación estadística del trabajo establecidas en el Cartel de Licitación Pública No.2009-LN-000003-CV, *"Proyectos de Conservación Vial de la Red Vial Nacional Pavimentada"*, para determinar el porcentaje de trabajo fuera de los límites de especificación.

1.4. Reflexión de grietas en pavimentos con base estabilizada con cemento.

Uno de los aspectos a controlar en el uso de base estabilizadas con cemento, es la posibilidad de que se desarrollen fisuras causadas por retracción, por cambios volumétricos debidos a gradientes térmicos o porque las cargas de tránsito originan movimientos verticales diferenciales, y que éstas se reflejen en la superficie de rodamiento, de ahí que resulta necesario aplicar medidas para retardar y/o en lo posible evitar la reflexión de esas fisuras. Para ello, dentro de las prácticas más utilizadas está la colocación de capas asfálticas de gran espesor (que por su alto costo no resulta beneficioso) o la ejecución de juntas transversales de contracción a ciertas distancias en fresco (prefisuración).

Dicho proceso de prefisuración, debe ejecutarse de forma adecuada para evitar que más bien genere la aparición de deterioro prematuro en las capas superiores (en carpetas asfálticas se presenta reflejo de grietas). Es así como, la dirección de la fisuras inducidas por la prefisuración, su espesor y la distancia entre ellas, resultan de suma importancia, pues cuando son fisuras muy finas y próximas, los movimientos horizontales son muy reducidos y los verticales diferenciales están impedidos por la trabazón de las partículas resistentes de los agregados, sin embargo con fisuras más espaciadas aumenta la abertura de la fisura y disminuye su trabazón, de manera que se generan movimientos

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 37 de 60
--	----------------------------------	-----------------

que no puede soportar el pavimento bituminoso. Como consecuencia, puede presentarse la entrada de agua o partículas sólidas dentro de la misma fisura, degradando los bordes de su abertura por cambios volumétricos y por impacto de los vehículos pesados.

Dentro de los principales factores que influyen en el reflejo de las grietas, se tienen:

- Características de la base estabilizada con cemento (naturaleza y granulometría; naturaleza y conglomerado de la mezcla): agregados calizos por su coeficiente de dilatación térmica reducido, así como la de cementos con elevados contenido de puzolanas, debido a su desarrollo lento de resistencia y a su menor calor de dilatación, dan lugar a mezclas que presentan menores problemas de fisuración.
- Condiciones de adherencia entre la base estabilizada y la capa superior e inferior: entre mayor sea el rozamiento entre estas capas; y menor su resistencia a temprana edad, mayor será la proximidad entre fisuras y la abertura de las mismas. Con una adherencia deficiente, la fisura se refleja de forma ramificada, experimentando un grave y rápido deterioro.
- Características y espesores de la capa asfáltica: en general, la evolución del reflejo de las grietas será más lenta en mezclas con altos contenidos de ligante. Por otro lado, entre mayor sea el espesor de la capa de mezcla asfáltica en caliente más se reducen los movimientos de las fisuras y éstas tardan más en reflejarse en la superficie de rueda.
- Condiciones de la puesta en operación de la calzada: el clima y las condiciones de tráfico durante la puesta de operación así como durante su vida útil, influyen considerablemente, tal y como se mencionó anteriormente. En climas cálidos, sin cambios bruscos entre el día y la noche, la tendencia de la reflexión de fisuras es menor.
- Ejecución o no de la prefisuración: será necesario cuando el riesgo del reflejo de fisuras sea elevado y las consecuencias afecten el nivel de funcionamiento requerido, por lo que para la decisión de hacerlo, se debe tomar en cuenta: el tráfico, clima, espesor de capa bituminosa y la resistencia de la base estabilizada.

Sobre lo anterior, como se ha indicado algunas prácticas internacionales recomiendan prefisurar cuando la resistencia de la base estabilizada sea mayor o igual a 46 kg/cm^2 , con una resistencia máxima de 71 kg/cm^2 , eso sí dando por hecho que tanto la mezcla bituminosa como la adherencia entre capas, son adecuadas. Además se recomienda que la distancia entre las fisuras controladas transversales sea entre 2 y 3 metros, preferiblemente en fresco con una profundidad de $1/3$ o $1/4$ del espesor de la capa de base con la incorporación de un elemento que evite la adherencia de la abertura de la fisura (emulsión asfáltica, lámina de plástico flexible, entre otros).

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 38 de 60
--	----------------------------------	-----------------

2. SOBRE LA APLICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES ESPECIALES DEL CARTEL DE LICITACIÓN.

HALLAZGO N°4: De acuerdo con los informes de ensayo de los laboratorios de control y verificación de calidad, para la valoración del material de base estabilizada se utilizan especificaciones distintas a las indicadas en el Cartel de Licitación.

Para la realización de la base estabilizada, ni el Cartel de Licitación Pública No.2009-LN-000003-CV, ni las Especificaciones Especiales establecen un renglón de pago para el agregado para base estabilizada con cemento¹⁵, por lo que ante esta limitante, esta Auditoría Técnica considera que la especificación que prevalece es la *Sección 308: "Base estabilizada con cemento"* del "Manual de especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes", CR-77, por ser parte de la documentación de prevalencia contractual, según el apartado 41 del Tomo I del Cartel de Licitación.

Al analizar los informes de ensayo emitidos por parte del laboratorio de autocontrol de la calidad, se evidencia que utilizan del cartel de licitación la *Sección 703.06 "Agregado para base no tratada y capas de superficie", graduación tipo B* (utilizado tanto para la base granular como para la base estabilizada con cemento), en vez de aplicar las especificaciones contractuales para la evaluación de las granulometrías de la base estabilizada, sección 308 "Base estabilizada con cemento" del CR-77. Por su parte el laboratorio de verificación de calidad, reporta los resultados de granulometría basado en la especificación contractual, sección 308 "Base estabilizada con cemento" del CR-77, sin embargo en los informes emitidos a partir del mes de enero, no indica claramente las especificaciones de referencia, ni las tolerancias tal y como se muestra en la tabla 6.

Asimismo en la tabla 6, se puede observar que la granulometría contractual para base estabilizada, según el CR-77, especifica una alta presencia de material fino (50 a 100% en tamiz N°4), mientras que la especificación para el material de base granular, utilizada por el autocontrol (LGC) para evaluar la base estabilizada, muestra una composición granulométrica con mayor presencia de gruesos (70 a 100% en tamiz 1" y 35 a 60% en tamiz N°4), de acuerdo con publicaciones técnicas del Instituto Americano del Concreto¹⁶ lo anterior podría incidir en la demanda de cemento, ya que una granulometría gruesa requerirá mas cemento para conglomerar adecuadamente los agregados, suscitando con ello rigideces altas. Para el caso contrario, una granulometría más fina se puede lograr una adecuada reacción del cemento y el material a estabilizar generando una matriz que soporte las cargas vehiculares y las condiciones de clima.

¹⁵ Dicha situación se indicó en el informe LM-PI-AT-040-12, "Evaluación de la Gestión de las Actividades de Rehabilitación Vial en la Ruta Nacional N° 1, Carretera Bernardo Soto, Sección de Control 20010, Tramo Intercambio Aeropuerto-Intercambio Manolo's", emitido en noviembre de 2012.

¹⁶ Boletín Educativo ACI E1-07, "Agregados para Concreto" desarrollado por el Comité de Materiales para Construcción de Concreto.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 39 de 60
--	----------------------------------	-----------------

Tabla 5. Especificaciones para material de base estabilizada cartelarias y las utilizadas por el autocontrol y la verificación.

Malla N°	Abertura (mm)	CARTEL DE LICITACIÓN	AUTOCONTROL (LGC) Base Estabilizada	VERIFICACIÓN (CACISA) Base Estabilizada
		Sección 308 Base Estabilizada con Cemento Portland	CR-77 Base No Tratada Graduación B, Sección 703.06	Sección 308 Base Estabilizada con Cemento Portland
		Porcentaje Pasando	Porcentaje Pasando	Porcentaje Pasando
2"	50	100	--	100 (*)
1 1/2"	37,5	--	100	--
1"	25	--	70-100	--
3/4"	19	--	60-90	--
3/8"	9,5	--	45-75	--
N°4	4,75	50-100	35-60	50-100 (*)
N°10	2,0	--	25-50	--
N°40	0,425	20-70	10-30	20-70 (*)
N°50	0,3	--	--	--
N°200	0,075	5-35	5-15	5-35 (*)

(*) A partir del mes de enero se deja de reportar la especificación de referencia en los informes de ensayo.

En este caso se debe resaltar el hecho de que la verificadora (Cacisa), en los informes de ensayo reportados durante el mes de diciembre de 2011 y los primeros días de enero de 2012 se indican las especificaciones granulométricas correspondientes a la sección 308 del CR-77. Sin embargo a partir de la segunda quincena de enero de 2012 los informes de ensayo no indican la especificación contractual, ni la tolerancia de referencia, solamente se reporta el resultado de ensayo, lo que no permite determinar claramente los criterios de evaluación de dicho material .

Este hallazgo se fundamenta en el análisis y los hallazgos que se presenta a continuación, donde para efectos del presente informe, la evaluación de los resultados obtenidos por los laboratorios de autocontrol y verificación de calidad, se evalúan de conformidad con los criterios establecidos en el Cartel de Licitación y el CR-77¹⁷, debido a que el cartel es omiso en establecer especificaciones de granulometría para la Base Estabilizada.

¹⁷ Éste último por ser un documento contractualmente vigente para la ejecución del proyecto de marras.

3. SOBRE EL DISEÑO Y LA CALIDAD DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO.

Tal y como se ha indicado anteriormente, para el proyecto de rehabilitación se colocó material de base estabilizada, de la siguiente forma:

- Sección **principal** corresponde a la recuperación y trituración de la carpeta existente, corregida posteriormente con un material para ajuste granulométrico (material correctivo, denominado material virgen), la cual en el presente informe se denominará “Base estabilizada combinada”.
- Sección correspondiente a las **ampliaciones**, está conformada por un material granular (material de base granular) estabilizado. A este material se le denominará “Base granular estabilizada”



Figura 5. Tipo de materiales que conforman cada una de las secciones rehabilitadas en el proyecto.

Para cada una de estas dos secciones (central y ampliaciones), se debe realizar el correspondiente diseño de base estabilizada, con el respectivo material que se colocaría en cada una de esas secciones, para con ello determinar el porcentaje de dosificación de cemento correspondiente.

Es por ello que con el fin de evaluar la suficiencia del diseño de base estabilizada con cemento utilizado en las obras de rehabilitación, se revisó el informe¹⁸ N°1007-2011 de la empresa LGC Ingeniería de Pavimentos S.A, realizado el 22 de noviembre de 2011.

Además para complementar este análisis, el equipo auditor solicitó al Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR reproducir el diseño de base estabilizada del informe N°1007-2011 utilizando materiales previamente muestreados en este proyecto de rehabilitación. Los resultados de la reproducción del diseño se incluyen en este apartado y son contrastados con los resultados del Informe N°1007-2011.

¹⁸ Proporcionado a esta auditoría mediante el oficio GCSV-01-1526 del 24 de abril de 2012

Por último, en el presente apartado se analizan los ensayos de calidad realizados para este material, tanto por el laboratorio de autocontrol de calidad como por el laboratorio de verificación de calidad. En el análisis se consideran únicamente los resultados de granulometría y resistencia a la compresión de las bases estabilizadas.

El Cartel de Licitación Pública No.2009-LN-000003-CV "Proyectos de Conservación Vial de la Red Vial Nacional Pavimentada", no establece propiamente un renglón de pago para agregados de base estabilizada con cemento, sólo tipifica el ítem M304(4) para agregado de base granular tipo B. Por lo que para efectos de este informe, la evaluación de los resultados obtenidos por los laboratorios de autocontrol y verificación de calidad, se realiza de conformidad con el criterio establecido en el Cartel de Licitación, y se aplica el manual "*Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-77)*", específicamente la "*Sección 308 Base estabilizadas con cemento Portland*".

Es importante enfatizar la omisión que se presenta en el cartel en este sentido, ya que el renglón de pago para agregado de base estabilizada debió incluirse (crear el renglón), dada la influencia que tiene la combinación granulométrica sobre la demanda de cemento y por ende en los costos del producto final, entre otros aspectos. Esta situación se puso de manifiesto en el informe LM-PI-AT-040-12, "*Evaluación de la Gestión de las Actividades de Rehabilitación Vial en la Ruta Nacional N° 1, Carretera Bernardo Soto, Sección de Control 20010, Tramo Intercambio Aeropuerto-Intercambio Manolo's*". (Parte 1, noviembre de 2012).

HALLAZGO N° 5: El método de diseño de la base estabilizada con cemento presentada por el Contratista, no se ajusta a la metodología de diseño establecida según el Cartel de Licitación, en cuanto a su contenido y los procedimientos de ensayo utilizados.

Para definir la correcta formulación de la dosificación, y posterior aplicación del diseño de base estabilizada en obra, se debe determinar en laboratorio la óptima combinación de los siguientes elementos: cantidad de agregado, porcentaje del agua, dosis de cemento y energía de compactación para cualquiera de los dos tipos de Base Estabilizada indicados en el CR-77, a saber BE-25 y BE-35.

La determinación de esos cuatro parámetros son indispensables para garantizar el mínimo costo y un exitoso desempeño de la base estabilizada y por ende, del pavimento, lo que conlleva también a regular la cantidad de cemento dosificada, evitando adicionar altas cantidades que podrían generar el riesgo potencial de agrietamiento por efecto de

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 42 de 60
--	----------------------------------	-----------------

una alta resistencia, así como regular la relación agua y cemento (a/c), primordialmente para definir la durabilidad de la Base Estabilizada.

La Sección 308 “Base Estabilizada con Cemento Portland”, del CR-77, establece las especificaciones para cada uno de los materiales constituyentes de las bases estabilizadas tipo BE-25 y BE-35, así como para el producto fabricado, de manera tal que el proceso para obtener la óptima combinación se esquematiza como sigue:

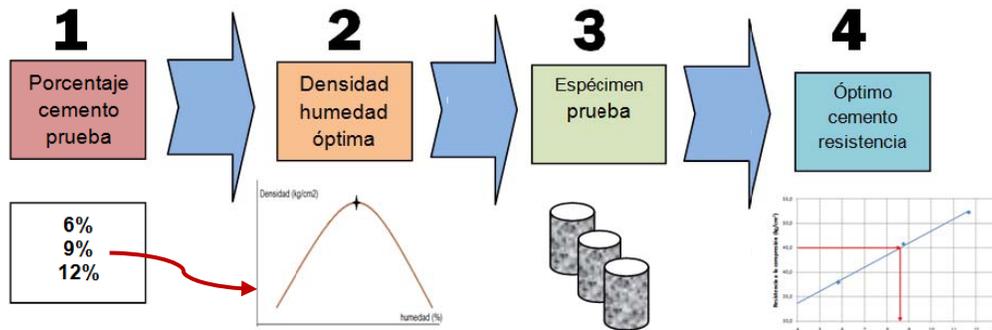


Figura 6. Esquema de análisis para la determinación de la dosificación óptima de cemento.

Es así como para establecer el diseño y obtener la óptima combinación de agregado, humedad y cemento, se deben realizar los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico del material a estabilizar.
- Determinación de la relación humedad – densidad para bases de cemento¹⁹.
- Pruebas posibles para medir el grado de estabilización²⁰:
 - ✓ Resistencia a la compresión simple (prueba requerida contractualmente).
 - ✓ Resistencia a la tensión diametral (prueba brasileña).
 - ✓ Prueba de durabilidad.
- Además se debe efectuar el ensayo de límites de Atterberg (líquido e índice plástico).

¹⁹ Según CR-77 el ensayo se realiza mediante norma AASHTO T134 (o norma equivalente ASTM D558).

²⁰ Algunos de estos ensayos son recomendados por entes internacionales, como la Asociación de Cemento Portland (PCA).

Considerando lo anterior, una vez revisado el diseño de base estabilizada presentado por el Contratista mediante el Informe N°1007-2011, elaborado por el laboratorio LGC, se determina de forma general, lo siguiente:

Cuadro 3. Evaluación de los diseños de base estabilizada con cemento, por autocontrol (LGC)

Parámetro	Evaluación del Diseño de la Base Estabilizada (según Informe 1007-2011 de autocontrol (LGC))	
	Especificaciones y/rangos	Resultados

Sección Central (existente)

Proceso de diseño (dosificación):	<p><u>Granulométrica:</u> debe cumplir especificaciones Sección 308, CR-77</p>	<p><u>Carpeta existente:</u> no se presenta su granulometría.</p> <p><u>Base de material granular (correctivo):</u> su granulometría se evalúa con criterio de un material para "base granular" y no como un material para "base estabilizada con cemento", sin embargo al aplicar las especificaciones para una base estabilizada, el material cumple aunque muy ajustado a los límites inferiores, implicando una tendencia a material más grueso de lo requerido.</p> <p><u>Base combinada:</u> no se presenta su granulometría ni el proceso para definir la combinación del material que indican 63% material de corrección y 23% carpeta existente.</p>
	<p><u>Consistencia:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Límite Líquido: ≤ 25 en porción de material pasando tamiz N° 40 (CR-77) • Índice plástico: ≤ 8 en porción de material pasando tamiz N° 40 (CR-77) 	<p><u>Carpeta existente:</u> no aplica</p> <p><u>Base con material granular (correctivo):</u> indica que el material es no plástico (NP)</p> <p><u>Base combinada:</u> no se presenta.</p>
	<p><u>Humedad-densidad:</u> con al menos 3 porcentajes de cemento.</p>	<p><u>Carpeta existente:</u> no aplica</p> <p><u>Base con material granular (correctivo):</u> se determina la densidad máxima y la humedad óptima para el material sin cemento con AASHTO T-180 que corresponde a Próctor Modificado.</p> <p><u>Base combinada:</u> realizan el ensayo de densidad máxima (1.715 kg/cm²) y humedad óptima (11,3 %) pero para suelos sin cemento aplicando el procedimiento de AASHTO T-99 (Proctor Estandar). Sin embargo, no demuestran los valores para cuando se adiciona el cemento para los porcentajes asumidos, para lo cual el CR-77 establece aplicar el procedimiento AASHTO T-134, que usa la misma energía del Proctor Estandar, pero que es un proceso diferente.</p>
	<p><u>Contenido de cemento:</u> que satisfaga resistencia a la compresión simple mínima y máxima.</p>	<p><u>Base combinada:</u> presentan información sobre el proceso de falla para 3 contenidos de cemento (cuyo determinación de la densidad máxima y humedad óptima no se demuestra, según el punto anterior), para lo cual el número de las muestras indicados coinciden con las muestras ensayadas para la densidad y humedad con AASHTO T-99, lo que sugiere un error en el proceso de dosificación que según el CR-77, es AASHTO T-134.</p>

Sección Ampliación (nueva estructura)

Proceso de diseño (dosificación):	En la documentación suministrada por el CONAVI, no se encontró información sobre el diseño específico para la base estabilizada con material virgen. Sin embargo, durante el proceso constructivo, el Ingeniero de Proyecto y un Inspector informaron a esta Auditoría Técnica que estaban utilizando el mismo % de cemento de la base combinada.
-----------------------------------	---

- **ANÁLISIS DEL DISEÑO DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO, CON MATERIAL COMBINADO (SECCIÓN PRINCIPAL).**

Respecto de lo mostrado en el Cuadro N°3, se tienen las siguientes observaciones y conclusiones:

➤ **Granulometría del material combinado estabilizado.**

El análisis granulométrico presentado en el diseño del Contratista no incluyó información que corresponde al material recuperado ni al combinado resultante (que incluye el material de corrección, es decir el material virgen), la cual debió incorporarse con el fin de demostrar que la combinación de materiales propuesta, cumple especificaciones y es apta para utilizarse en una base estabilizada con cemento.

El diseño de la base estabilizada presentado en el Informe N°1007-2011 (LGC), establece que se debe adicionar un 63% del material granular de corrección (material virgen), para lograr que el material resultante de la recuperación de la carpeta asfáltica existente (restante 37%), cumpla con las propiedades granulométricas requeridas para un material granular que se va a estabilizar con cemento hidráulico, según la *Sección 308 Base Estabilizada con Cemento Portland*, del CR-77.

Además, no se indica ni se aclara la manera en que el diseñador estableció las proporciones de los materiales, ya sea por ejemplo mediante la presentación de una gráfica de combinación de los materiales (método de la araña) o a través de la inclusión de una tabulación de la combinación aritmética.

➤ **Determinación de Relación Humedad - Densidad, para el material combinado estabilizado.**

En primera instancia, hay que resaltar el hecho de que en el diseño del Contratista, Informe N° 1007-2011, se presenta la determinación de la densidad máxima y la humedad óptima del material combinado resultante, pero su compactación se ejecutó con el procedimiento AASHTO T-99 (Próctor Estándar), que aplica para suelos sin cemento. Por otro lado, no se presentan la densidad máxima ni la humedad óptima para cuando se adicionan los diferentes porcentajes de cemento, que para este caso, según el CR-77, se debe utilizar el procedimiento AASHTO T-134, que si bien es cierto utiliza la misma energía que el Próctor Estándar, es un procedimiento diferente. Adicionalmente, se debe destacar que metodologías más recientes de diseño sugieren que se use la energía de compactación especificada por el método Próctor Modificado.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 45 de 60
--	----------------------------------	-----------------

Por otro lado, como en el diseño no se indica si para la realización de estos ensayos de humedad máxima y densidad óptima, se añadió algún material cementante, lo que permite establecer que se omitió el proceso de incorporación de diferentes contenidos de cemento al material a ser estabilizado, mismo que tiene como propósito determinar el contenido óptimo de humedad a la densidad máxima para cada contenido de cemento que se indica en el informe del diseño. No se especifica claramente en el documento, cuál fue la densidad y la humedad utilizada.

➤ **Determinación de Resistencia a Compresión Simple, para el material combinado estabilizado.**

En la información incluida en la tabla “Resistencia a la compresión simple de probetas de base estabilizada con cemento portland” del informe de diseño LGC N°1007-2011, se observa que se establecieron 3 contenidos de cemento de prueba, 5,83%, 8,75% y 11,66%, cuyo número de identificación de muestra, coincide con la muestra por medio de las cuales se determinó la densidad máxima y humedad óptima del material combinado sin cemento por medio del procedimiento AASHTO T-99, siendo que el procedimiento contractual que corresponde es el AASHTO T-134, situación que evidencia un error en el proceso de dosificación.

A partir de los resultados de resistencia obtenidos, el Contratista determinó que el porcentaje con el que la base estabilizada combinada, alcanzaba la resistencia de 45 kg/cm² (establecida en el diseño de pavimentos realizado por el laboratorio de control de calidad del contratista), corresponde a 8,75% de cemento ó 3,5 sacos/m³.

En razón de todo lo anterior, se puede concluir que el diseño presentado por el Contratista para la base estabilizada combinada, no se realizó de conformidad con el procedimiento establecido en la normativa del CR-77 y no incluye la información suficiente, pertinente y necesaria para demostrar el proceso de diseño de dosificación de la base estabilizada llevado a cabo, de manera tal que no evidencia el cumplimiento tanto de las especificaciones requeridas como del proceso contractual de diseño (metodología de dosificación).

- **ANÁLISIS DEL DISEÑO DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO, CON MATERIAL DE BASE GRANULAR (SECCIÓN DE AMPLIACIONES).**

En el diseño presentado, Informe 1007-2011, no se incorpora el diseño que corresponde a la base estabilizada con cemento colocado en las ampliaciones.

Asimismo, el CONAVI en la información enviada a esta Auditoría Técnica²¹, a pesar de la solicitud presentada, no remitió un diseño específico para la base estabilizada colocada en las ampliaciones de la calzada. No obstante, durante las visitas realizadas en campo por esta Auditoría Técnica, ante la consulta verbal realizada a la Ingeniería de Proyecto y a uno de los inspectores destacado en el sitio de las obras, éstos indicaron que la proporción de cemento para la base estabilizada con base granular (material virgen), era la misma que se utilizaba en la sección principal existente.

De manera que bajo esas circunstancias esta Auditoría Técnica, solicitó al Laboratorio del LanammeUCR, la evaluación del material virgen y la realización del diseño de la base estabilizada, según las especificaciones que norma al respecto el CR-77.

➤ **Granulometría y consistencia del material de base granular utilizado para base estabilizada.**

El material de la base estabilizada muestreado en las ampliaciones durante el mes de enero de 2012, por el LanammeUCR (Informe I-0073-12), presenta valores por debajo del límite inferior especificado para las mallas N°4, N°40 y N°200. Esto denota que el material de base granular contiene más material grueso que el especificado para una base estabilizada con cemento.

En ese sentido, si se toma en consideración los valores de granulometría registrados en el Informe 1007-2011 de LGC, para el material de base granular virgen (octubre del 2011), y el hecho de que cuando de éstos se evalúan los tamices que corresponden a un material para base estabilizada, según el CR-77, 2", N°4, N°40 y N°200, se determina el cumplimiento para todos, se evidencia que hay una incongruencia importante en relación con los resultados de enero del 2012 del LanammeUCR. En ese sentido, si se hubiera dado el caso de que para enero del 2012, se hubiera presentado un cambio de veta en el tajo, el Contratista debió realizar un ajuste al material y/o un nuevo diseño de la base estabilizada, situación que no se refleja en la documentación que facilitó el CONAVI a esta Auditoría Técnica.

²¹ Aportada en oficios DR-(región central)-56-12-0420 de fecha 8 de marzo del 2012, GCSV-01-11-1176 de fecha 30 de marzo del 2012 y GCSV-01-1526, de fecha 24 de abril del 2012.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 47 de 60
--	----------------------------------	-----------------

➤ **Determinación de Relación Humedad - Densidad, de la base granular estabilizada.**

En virtud de que esta Auditoría Técnica no recibió por parte del CONAVI información del diseño de base estabilizada para las ampliaciones, el Laboratorio del LanammeUCR realizó el diseño respectivo, a solicitud de esta Auditoría Técnica, que reportaron en el Informe I-0339-12. En la siguiente tabla, se puede observar que la base granular estabilizada, en relación con la base combinada (obtenida por el autocontrol LGC, según el Informe 1007-2011), presenta una densidad máxima similar y una humedad óptima mayor, pues para la base combinada reportan valores de 1.715 kg/cm² y 11,3%, respectivamente.

Tabla 6. *Relación humedad–densidad, Diseño base estabilizada con cemento, por Laboratorio LanammeUCR.*

<i>LanammeUCR Inf. I-0339-12</i>		Densidad máxima, kg/m ³	Humedad óptima, %	Procedencia
Contenido de Cemento	6%	1,776	15,1	Diseño
	9%	1,796	15,2	
	12%	1,798	14,8	

Fuente: Auditoría Técnica

➤ **Determinación de Resistencia a Compresión Simple, de la base granular estabilizada.**

A partir de los contenidos de cemento que establece el Laboratorio del LanammeUCR, se realiza la preparación y falla de cilindros a compresión simple para cada contenido de cemento y se obtienen los siguientes resultados:

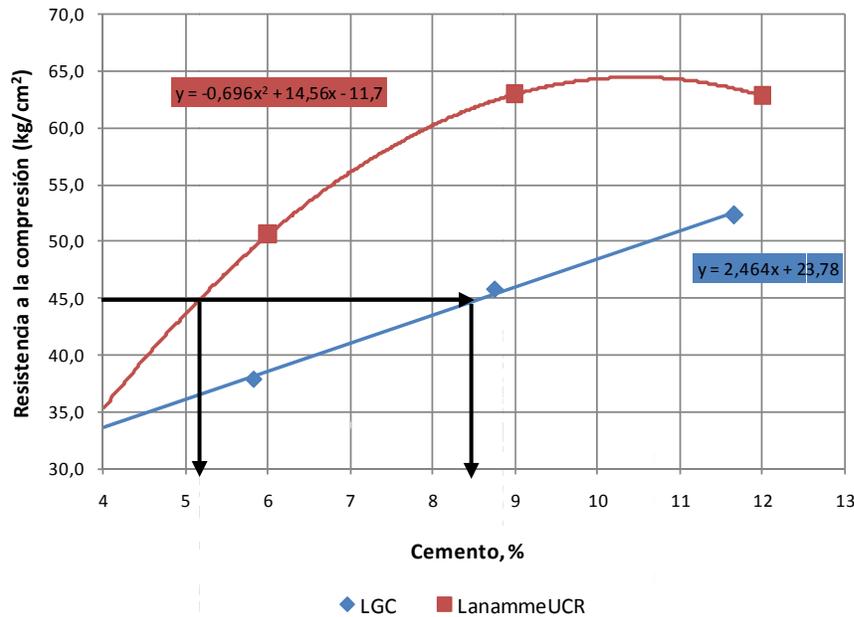


Gráfico 3. Resultados de resistencia a la compresión simple reportados en los diseños de base estabilizada realizado por los laboratorios LGC y LanammeUCR.
 Fuente: Auditoría Técnica

En ese sentido, si se toma en consideración que en el diseño de LGC (Informe 1007-2011), para la base con material combinado estabilizada, se exige una resistencia de 45 kg/cm², para una proporción de cemento de 8,75% (3,5 sacos/m³), y que para esa misma resistencia con la gráfica del diseño del laboratorio del LanammeUCR para el material de base granular estabilizada, se establece un 5,20% (1,8 sacos/m³). De acuerdo con lo externado por el Ingeniero de Proyecto y el Inspector de Campo, en el sentido de que para estabilizar la base con material virgen se usó el mismo contenido de cemento usado para estabilizar la base combinada, se puede determinar que en las ampliaciones se usó una dosificación mayor que la requerida.

En virtud de todo lo anterior, se evidencia que no se presentó, el diseño de la base estabilizada que corresponde a las secciones donde se amplió la calzada con material virgen estabilizado, y que se utilizó para este caso, la misma dosificación de cemento establecida para la estabilización de la base con material combinado, a pesar de que evidentemente son materiales diferentes.

- **ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO COLOCADA.**

HALLAZGO N°6: El material granular utilizado para construir la base estabilizada con cemento, no cumple con las especificaciones granulométricas establecidas en el Cartel de Licitación, según el análisis de los informes de calidad realizados en noviembre 2011 a abril de 2012, por el autocontrol y la verificación.

Cuando se revisa el diseño de las bases estabilizadas, en el apartado anterior, se puede observar que el Contratista reporta en el Informe 1007-2012, una granulometría que concierne a un material para "base granular, graduación B", y no a un material para "base estabilizada con cemento" como corresponde contractualmente, según la Sección 308 del CR-77. No obstante, esta Auditoría Técnica revisó aquellos tamices que corresponden con la normativa contractual, para lo cual se evidenció que el material para el diseño cumple con una base estabilizada con cemento.

A pesar de esto, cuando se evalúa el material colocado durante el proceso constructivo, se determina que el material de base estabilizada no cumple con las especificaciones requeridas. Lo anterior, basado en la evaluación de los informes de calidad de autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa), para lo cual y específicamente para la granulometría nuevamente se consideran los tamices que corresponde a una base estabilizada con cemento, según el CR-77, o sea 2", N°4, N°40 y N° 200, de las cuáles la de 2" y la N°40, no se consideran pues el material evaluado cumple a cabalidad con estas especificaciones.

Específicamente, según el autocontrol (LGC) los incumplimientos se presentan en el tamiz de N°4, evidenciando un material con menor cantidad de finos (granulometría más gruesas), y por ende porcentajes de incumplimiento mayores al porcentaje permitido para aceptación de material, por lo que el material debió ser evaluado con los criterios de evaluación y pago establecidos contractualmente, para los casos analizados de noviembre del 2011 a marzo del 2012, esto si se considera que la granulometría es un parámetro de aceptación según lo indica el CR-77. Es criterio de esta auditoría que al evidenciarse un incumplimiento constante y sostenido²², tal como se observa en el cuadro 4, se debieron tomar medidas correctivas durante el proceso constructivo de manera tal que se lograra que el material cumpliera a cabalidad con la granulometría especificada contractualmente.

Por su parte, en los informes de verificación (Cacisa), aunque se reportan los tamices que efectivamente corresponden a las especificaciones contractuales según Sección 308, CR-77, éstos no hacen referencia al rango que limita cada malla. Para este caso, en la documentación que remitió el CONAVI a esta Auditoría Técnica, sólo se encontró la

²² Durante los meses de noviembre y diciembre de 2011, enero, febrero y marzo de 2012, se denotan altos porcentajes de incumplimiento, sin mostrar una disminución de los mismos durante el periodo evaluado.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 50 de 60
--	----------------------------------	-----------------

información para los meses de diciembre del 2011 y enero del 2012. De manera que del análisis realizado en el Anexo N° 3, se tiene el siguiente cuadro de resumen:

Cuadro 4. Evaluación del nivel de cumplimiento de especificaciones contractuales del material de base estabilizada con cemento colocado, a partir de los informes de calidad de autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa).

Parámetro	Evaluación de la Calidad del																																																			
	Especificaciones y/rangos	Resultados																																																		
Granulometría	Sección 308 del CR-77	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Laboratorio</th> <th>Tamiz</th> <th>Nivel de Incumplimiento (NI)</th> <th>Max valor NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">nov-11</td> <td rowspan="3">LGC</td> <td>N°4</td> <td>75%</td> <td rowspan="3">57%</td> </tr> <tr> <td>N°40</td> <td>97%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>29%</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">dic-11</td> <td rowspan="3">LGC</td> <td>N°4</td> <td>82%</td> <td rowspan="3">44%</td> </tr> <tr> <td>N°40</td> <td>95%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>31%</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">ene-12</td> <td rowspan="3">LGC</td> <td>N°4</td> <td>99%</td> <td rowspan="3">48%</td> </tr> <tr> <td>N°40</td> <td>88%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">feb-12</td> <td rowspan="3">LGC</td> <td>N°4</td> <td>91%</td> <td rowspan="3">46%</td> </tr> <tr> <td>N°40</td> <td>43%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">mar-12</td> <td rowspan="3">LGC</td> <td>N°4</td> <td>90%</td> <td rowspan="3">53%</td> </tr> <tr> <td>N°40</td> <td>33%</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>2%</td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido	nov-11	LGC	N°4	75%	57%	N°40	97%	N°200	29%	dic-11	LGC	N°4	82%	44%	N°40	95%	N°200	31%	ene-12	LGC	N°4	99%	48%	N°40	88%	N°200	15%	feb-12	LGC	N°4	91%	46%	N°40	43%	N°200	5%	mar-12	LGC	N°4	90%	53%	N°40	33%	N°200	2%
	Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido																																															
nov-11	LGC	N°4	75%	57%																																																
		N°40	97%																																																	
		N°200	29%																																																	
dic-11	LGC	N°4	82%	44%																																																
		N°40	95%																																																	
		N°200	31%																																																	
ene-12	LGC	N°4	99%	48%																																																
		N°40	88%																																																	
		N°200	15%																																																	
feb-12	LGC	N°4	91%	46%																																																
		N°40	43%																																																	
		N°200	5%																																																	
mar-12	LGC	N°4	90%	53%																																																
		N°40	33%																																																	
		N°200	2%																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Malla N°</th> <th>% Pas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2"</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>50-100</td> </tr> <tr> <td>N°40</td> <td>20-70</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>5-35</td> </tr> </tbody> </table>	Malla N°	% Pas	2"	100	N°4	50-100	N°40	20-70	N°200	5-35	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Laboratorio</th> <th>Tamiz</th> <th>Nivel de Incumplimiento (NI)</th> <th>Max valor NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">dic-11</td> <td rowspan="3">Cacisa</td> <td>2"</td> <td>NA</td> <td rowspan="3">53%</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>88%</td> </tr> <tr> <td>N°40</td> <td>97%</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">ene-12</td> <td rowspan="3">Cacisa</td> <td>N°200</td> <td>75%</td> <td rowspan="3">48%</td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>NA</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>69%</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>N°40</td> <td>100%</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>N°200</td> <td>99%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido	dic-11	Cacisa	2"	NA	53%	N°4	88%	N°40	97%	ene-12	Cacisa	N°200	75%	48%	2"	NA	N°4	69%			N°40	100%				N°200	99%									
Malla N°	% Pas																																																			
2"	100																																																			
N°4	50-100																																																			
N°40	20-70																																																			
N°200	5-35																																																			
Mes	Laboratorio	Tamiz	Nivel de Incumplimiento (NI)	Max valor NI permitido																																																
dic-11	Cacisa	2"	NA	53%																																																
		N°4	88%																																																	
		N°40	97%																																																	
ene-12	Cacisa	N°200	75%	48%																																																
		2"	NA																																																	
		N°4	69%																																																	
		N°40	100%																																																	
		N°200	99%																																																	
Los informes de calidad no especifican si corresponden a la base combinada o la base con material granular.																																																				
Consistencia																																																				
Límite Líquido	≤ 40 en porción de material pasando tamiz N° 40 (CR-77)	En la documentación suministrada por el CONAVI, para el periodo de noviembre del 2011 a abril del 2012, no se encontró esta información.																																																		
Índice Plástico	≤ 8 en porción de material pasando tamiz N° 40 (CR-77)	En la documentación suministrada por el CONAVI, para el periodo de noviembre del 2011 a abril del 2012, no se encontró esta información.																																																		
Relación humedad-densidad	Mínimo densificación de 95% de la densidad seca.	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Mes</th> <th rowspan="2">Laboratorio</th> <th colspan="2">Base Granular</th> </tr> <tr> <th>Nivel Incumplimiento</th> <th>Max NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>nov-11</td> <td rowspan="6">LGC</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>dic-11</td> <td>2%</td> <td>38%</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>8%</td> <td>40%</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>5%</td> <td>38%</td> </tr> <tr> <td>mar-12</td> <td>19%</td> <td>44%</td> </tr> <tr> <td>abr-12</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>nov-11</td> <td rowspan="4">Cacisa</td> <td>34%</td> <td>36%</td> </tr> <tr> <td>dic-11</td> <td>36%</td> <td>40%</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>27%</td> <td>36%</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>68%</td> <td>44%</td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Base Granular		Nivel Incumplimiento	Max NI permitido	nov-11	LGC	-	-	dic-11	2%	38%	ene-12	8%	40%	feb-12	5%	38%	mar-12	19%	44%	abr-12	-	-	nov-11	Cacisa	34%	36%	dic-11	36%	40%	ene-12	27%	36%	feb-12	68%	44%												
		Mes			Laboratorio	Base Granular																																														
Nivel Incumplimiento	Max NI permitido																																																			
nov-11	LGC	-	-																																																	
dic-11		2%	38%																																																	
ene-12		8%	40%																																																	
feb-12		5%	38%																																																	
mar-12		19%	44%																																																	
abr-12		-	-																																																	
nov-11	Cacisa	34%	36%																																																	
dic-11		36%	40%																																																	
ene-12		27%	36%																																																	
feb-12		68%	44%																																																	
Resistencia a compresión simple	Mín= 30 kg/cm ² Máx= 50 kg/cm ² (utilizando el criterio técnico del apartado 1.3, Sección II)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>Laboratorio</th> <th>Nivel Incumplimiento</th> <th>Max NI permitido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>nov-11</td> <td rowspan="7">LGC</td> <td>2%</td> <td>41%</td> </tr> <tr> <td>dic-11</td> <td>20%</td> <td>41%</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>20%</td> <td>41%</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>80%</td> <td>44%</td> </tr> <tr> <td>mar-12</td> <td>48%</td> <td>46%</td> </tr> <tr> <td>abr-12</td> <td>48%</td> <td>46%</td> </tr> <tr> <td>may-12</td> <td>81%</td> <td>44%</td> </tr> <tr> <td>ene-12</td> <td>60%</td> <td>41%</td> </tr> <tr> <td>feb-12</td> <td>Cacisa</td> <td>84%</td> <td>46%</td> </tr> </tbody> </table>	Mes	Laboratorio	Nivel Incumplimiento	Max NI permitido	nov-11	LGC	2%	41%	dic-11	20%	41%	ene-12	20%	41%	feb-12	80%	44%	mar-12	48%	46%	abr-12	48%	46%	may-12	81%	44%	ene-12	60%	41%	feb-12	Cacisa	84%	46%																	
Mes	Laboratorio	Nivel Incumplimiento	Max NI permitido																																																	
nov-11	LGC	2%	41%																																																	
dic-11		20%	41%																																																	
ene-12		20%	41%																																																	
feb-12		80%	44%																																																	
mar-12		48%	46%																																																	
abr-12		48%	46%																																																	
may-12		81%	44%																																																	
ene-12	60%	41%																																																		
feb-12	Cacisa	84%	46%																																																	

* **Max valor NI permitido** = nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente que depende del número de muestras evaluado, según la metodología

** Los ensayos en estos casos no indica si son de la base combinada o de la base granular.

Con la verificación, se evidencia reiteradamente una tendencia a curvas granulométricas más gruesas (porcentaje pasando menor al requerido) que a la especificada en la sección 308 del CR-77, lo cual concuerda con los resultados analizados anteriormente. Si se considera nuevamente que la granulometría es un parámetro de aceptación, se obtendría que los porcentajes de incumplimiento para los meses de diciembre de 2011 y enero de 2012, son mayores al porcentaje permitido para aceptación de material, por lo que los resultados se deben de analizar de acuerdo con los criterios de evaluación y pago establecidos contractualmente en el apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad", Tomo II del Cartel de Licitación, para el material colocado entre los estacionamientos 17+140 y 22+600.

A manera de referencia se realizó un ensayo de granulometría de la base estabilizada, a través del Laboratorio LanammeUCR, que muestra la misma tendencia que las curvas reportadas por los laboratorios de control y verificación de la calidad, según se muestra en el siguiente gráfico, donde se puede observar que la curva granulométrica se encuentra por debajo del límite inferior de la especificación, mostrando una graduación más gruesa que la requerida en la sección 308 del CR-77.

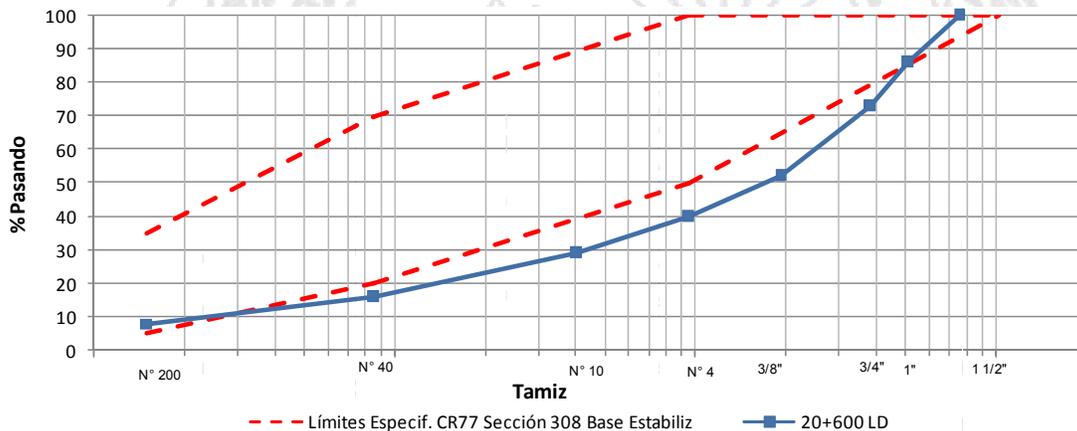


Gráfico 4. Resultados de granulometría reportado por el Laboratorio LanammeUCR.
Fuente: Auditoría Técnica

Los requerimientos granulométricos contractuales establecen una mayor cantidad de agregados finos con el propósito de optimizar la demanda de cemento y con ello asegurar la reacción de estos finos con el cemento adicionado, necesarios para obtener la estabilidad y resistencia buscada en el material resultante.

El efecto que producen curvas granulométricas con pocos finos, es que se requerirá una mayor cantidad de cemento para suplir el faltante de material fino, lo cual podría inducir a desarrollar una mayor resistencia en el material resultante, además de posibles problemas de compactación y de segregación superficial. Lo anterior, además de que se obtiene un material cementante con poca resistencia, con posibles problemas de compactación y

segregación superficial, de ahí que se requiera una mayor cantidad de cemento para suplir el faltante de material fino y evitar dichos inconvenientes.

Por lo tanto, al observarse una pauta de incumplimientos en el periodo de análisis del presente estudio²³, tal como se evidenció anteriormente, se puede establecer que no se plantearon medidas correctivas durante el proceso constructivo que permitieran el acatamiento de las especificaciones técnicas requeridas, de modo que se cumpliera con la calidad requerida de las obras.

HALLAZGO N° 7: Se presenta variabilidad en los resultados de la resistencia a la compresión de la base estabilizada con cemento, con respecto a la resistencia requerida en el proyecto²⁴, según los resultados analizados entre noviembre 2011 a mayo de 2012.

La evaluación de la resistencia a la compresión simple, se analizó de acuerdo con lo expuesto en esta sección en el punto "1.3 Criterio técnico de esta Auditoría Técnica para la evaluación de la resistencia a la compresión establecida en el diseño de base estabilizada del proyecto de rehabilitación en el tramo Aeropuerto-Manolo's", en donde se establece que para el análisis de la resistencia a la compresión se considerará de las dos posibilidades que permite el CR-77, la base estabilizada BE-35 por considerar que su valor de resistencia es la más cercana a los 45 Kg/cm² que propone el diseño (Informe 1007-20011 de LGC).

De la evaluación que se desarrolló en el Anexo N°3, para el periodo de noviembre de 2011 a abril de 2012, para el caso del autocontrol (LGC) y de noviembre del 2011 a febrero del 2012, para la verificación (Cacisa), se tienen los siguiente gráficos:

²³ Comprendido entre noviembre 2011 y mayo 2012.

²⁴ Según el Diseño de la Estructura del pavimento y el Diseño de Base Estabilizada, se requiere una base estabilizada con cemento con una resistencia mínima de 45 kg/cm².

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 53 de 60
--	----------------------------------	-----------------

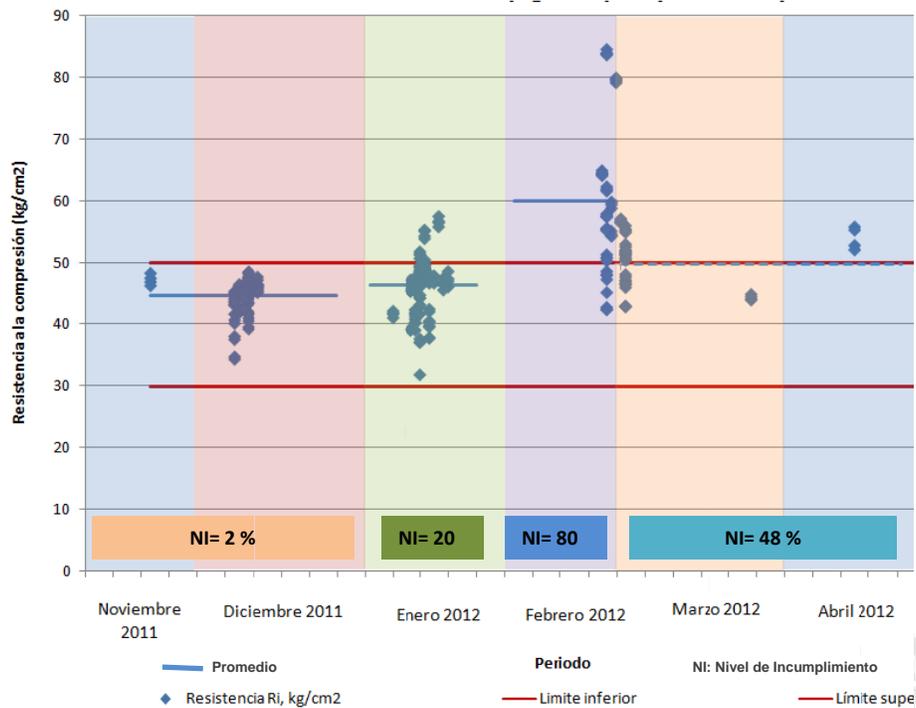


Gráfico 5. Resultados análisis de resistencia a la compresión simple de la base estabilizada, por autocontrol de calidad (LGC).

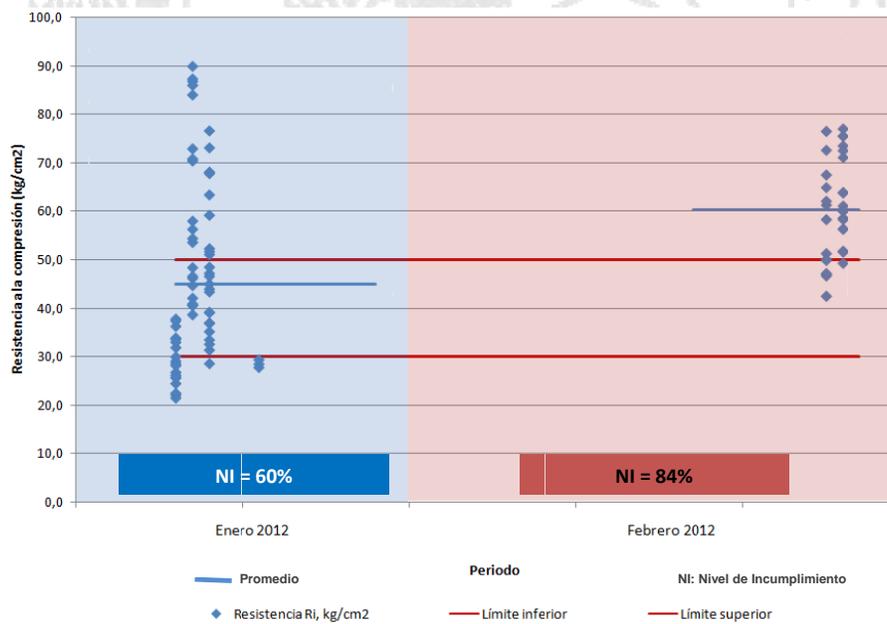


Gráfico 6. Resultados análisis de resistencia a la compresión simple de la base estabilizada, por verificación de calidad (Cacisa).

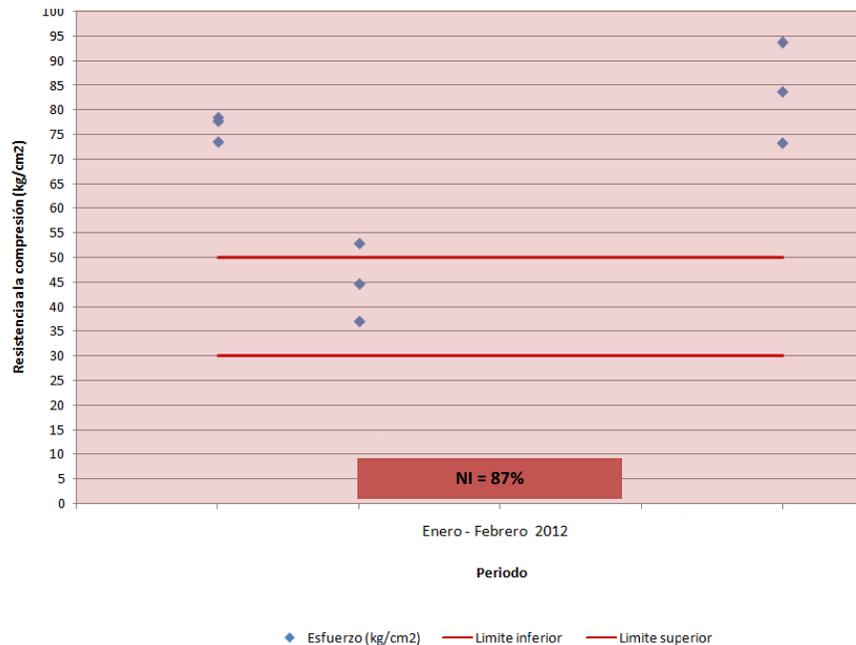


Gráfico 7. Resultados análisis de resistencia a la compresión simple de la base estabilizada, por Laboratorio LanammeUCR.

De acuerdo con los informes de autocontrol (LGC), se puede establecer que entre los meses de noviembre de 2011 y diciembre de 2011 los resultados de resistencia se mantuvieron dentro de las especificaciones de una BE-35. En tanto, que para el mes de enero de 2012, se establece que un 20% de los resultados se encontraban fuera del límite superior. Sin embargo, para los meses de febrero, marzo-abril, mayo de 2012, los porcentajes de resultados fuera de los límites se incrementaron, determinando valores de 80%, 48% y 81%, respectivamente.

Lo anterior muestra que durante los meses de noviembre-diciembre de 2011 y enero de 2012, la base estabilizada con cemento que se colocó entre los estacionamientos 20+100 y 22+150 mostró una resistencia promedio de 45 kg/cm² con una baja variabilidad de los resultados reportados. No obstante para los meses de febrero a mayo de 2012, se observa un aumento en la variabilidad, así como un incremento en la resistencia evidenciando valores más altos (entre 50 kg/cm² y 60 kg/cm²). Valores altos de resistencia podrían inducir el agrietamiento de la base estabilizada y aumentar la posibilidad de reflejo de grietas a la carpeta asfáltica.

Los informes de verificación (Cacisa), no indican cuáles probetas corresponden a material combinado y cuales al material virgen.

Además, se puede observar que para los meses de noviembre y diciembre de 2011 solamente se reportaron resistencias obtenidas a partir de núcleos²⁵, por lo tanto no se incluyeron en el presente análisis. Es criterio de esta Auditoría Técnica (criterio que está ampliamente documentado en literatura internacional) que la obtención de muestras mediante métodos de aserrado afectan la integridad de la matriz cementante y composición granulométrica, que a la postre afectará la rigidez y la resistencia de los núcleos extraídos de la base estabilizada con cemento. Dicha situación podría a su vez afectar la representatividad del material que se pretende evaluar mediante esta técnica.

Por otro lado, en enero de 2012 se realizaron muestreos entre los estacionamientos 20+020 y 22+070, evidenciando los resultados de laboratorio un porcentaje fuera de los límites de especificación de 60%. De igual manera, en el mes de febrero de 2012 se efectuaron ensayos para cuantificar la resistencia de la base estabilizada entre los estacionamientos 16+940 y 17+500, y se estimó un porcentaje fuera de los límites del 84%.

De la evaluación realizada por LanammeUCR, los resultados reflejan que la resistencia de las probetas ensayadas prácticamente se duplica con respecto a la resistencia establecida en el diseño presentado por el Contratista. Este incremento en la resistencia de la base estabilizada concuerda con los resultados presentados por el autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa), para el tramo del proyecto que va de la estación 17+150 a la 17+975, para lo cual el porcentaje de los resultados fuera de los límites, se estimó en un 87%.

Por todo lo anterior, es imprescindible controlar la cantidad de cemento que se ha de adicionar a los materiales granulares que se estabilizarán, para de esta forma limitar la resistencia a la compresión de los materiales estabilizados a valores menores al indicado por la PCA (resistencia a 7 días de 45 kg/cm²). Esto con el fin de prescindir de la formación controlada de grietas, fisuras o inclusive cortes en la base estabilizada, que a futuro podrían afectar la calidad de la capa de ruedo, que en caso de ser de mezcla asfáltica se podría presentar el fenómeno de reflejo de la grieta en el espesor de la carpeta y con ello el inicio de un proceso prematuro de deterioro

Por otro lado, en relación con el diseño de las bases estabilizadas, hay que destacar que el mismo debe generar una mezcla donde el contenido de cemento que se utiliza, que está asociado con el valor de resistencia a la compresión requerida, resulte suficiente como para que la base estabilizada resultante sea resistente, durable y relativamente impermeable, pero no tanto como para que genere deterioros asociados con la alta rigidez

²⁵ Obtenidos a partir de aserrado mecánico con broca de extracción.

de la base misma, esto de acuerdo con la Guía de Bases Tratadas con Cemento (CTB) de la PCA (Portland Cemento Association).

Por ello es importante, durante la formulación del diseño a escala de laboratorio, realizar un adecuada dosificación de todos los materiales que conforman la base estabilizada, para determinar el porcentaje óptimo de cemento que se debe agregar al material granular, de manera que se pueda alcanzar la resistencia requerida con el mínimo cemento posible, para así optimizar el uso de los recursos.

Por último, cabe comentar que el CONAVI autorizó realizar cortes transversales y longitudinales (grietas controladas), con el fin de evitar el reflejo de fisuras (proceso cuidadoso que debe realizarse de forma adecuada), situación que resulta razonable si se considera que las resistencias obtenidas por el autocontrol (LGC), la verificación (Cacisa) y LanammeUCR, reportan valores de resistencias a temprana edad muy superiores a la del diseño, en especial para el mes de febrero. Se puede decir que para este caso la base estabilizada puede presentar un nivel de rigidez importante que podría generar un deterioro prematuro de la estructura. De ahí que esta Auditoría Técnica, considera que es importante dar seguimiento al desempeño que vaya mostrando esta base estabilizada y su efecto en la estructura del pavimento.



14. CONCLUSIONES.

Los proyectos de conservación vial tienen como fin primero la recuperación sostenida y continua de la Red Vial Nacional, de manera que resulta indispensable que el CONAVI realice una adecuada gestión para la planificación, el financiamiento, el desarrollo y su control de calidad, así como para la aprobación y pago de las obras. No obstante de la revisión aquí presentada se puede concluir que no resulta adecuada la gestión relacionada con el control y la verificación de la calidad de los materiales y procesos constructivos asociados a las obras de rehabilitación ejecutadas, tal y como se concluye a continuación.

- 14.1. Se evidenció la aplicación de especificaciones técnicas diferentes a las requeridas contractualmente, por parte del Laboratorio de Control de Calidad y de la Verificación de la Calidad, especialmente en lo que a granulometría se refiere, para el material de subbase y base granular, así como para el material de base estabilizada con cemento.
- 14.2. En algunos casos la evaluación de la granulometría, de acuerdo con el procedimiento contractual de pago en función de la calidad, reporta un alto nivel de incumplimiento para el material evaluado, dentro del periodo de estudio.
- 14.3. Los diseños presentados por el Contratista, para la base estabilizada con cemento no corresponden con el proceso contractual que establece el manual *"Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-77)*, específicamente la *"Sección 308 Base estabilizadas con cemento Portland"*.
- 14.4. La resistencia a la compresión simple de la base estabilizada con cemento, presenta alta variabilidad y valores a temprana edad muy superiores al diseño, lo que hace suponer que la base puede presentar deterioros asociados a una alta rigidez y con ello posibles daños prematuros en la carpeta asfáltica.

Informe versión final LM-PI-AT-045-13	Fecha de emisión: Setiembre 2013	Página 58 de 60
--	----------------------------------	-----------------

15. RECOMENDACIONES.

Le corresponde a la Administración definir e implementar las medidas correctivas y preventivas pertinentes, que contribuyan subsanar los hallazgos y observaciones planteados en el presente informe. A continuación se indican algunas recomendaciones.

A la Ingeniería de Proyecto

- 1.1 Promover la aplicación de las metodologías estadísticas, definidas dentro del contrato, para realizar la valoración de los resultados de calidad (control y verificación) para los diferentes materiales colocados en este proyecto, con el propósito de determinar tanto el cumplimiento de especificaciones, así como la variabilidad de las propiedades ensayadas de los materiales que se incorporan a las obras, para que en los casos que aplique, se determine el pago en función del nivel de calidad de los materiales.
- 1.2 Aplicar técnicas de control de procesos para la producción de los materiales granulares, mediante la valoración continua de diversas propiedades de calidad, de manera tal que permita primordialmente establecer y conocer la desviación de estos procesos productivos y posteriormente controlar la variación que se pueda presentar.
- 1.3 Velar porque el Diseño de Base Estabilizada se realice conforme a la metodología establecida contractualmente, aplicando los diversos ensayos en la sucesión establecida por la normativa. Ello con el fin de garantizar una adecuada definición de la resistencia y el desempeño en la estabilización de bases granulares.
- 1.4 Controlar la resistencia a la compresión de la capa de base estabilizada con el propósito de mantener el proceso productivo cercano a lo establecido contractualmente. Además definir un valor de límite máximo para la resistencia a la compresión de bases estabilizadas tipo BE-25 y BE-35 para minimizar, de esta manera, el riesgo potencial de agrietamiento en la capa de base estabilizada.



Equipo Auditor

Ing. Víctor Cervantes Calvo.
Auditor Técnico, LanammeUCR

Ing. Mauricio Salas Chaves.
Auditor Técnico, LanammeUCR

Ing. Wendy Sequeira Rojas.
Auditora Técnica, LanammeUCR

Aprobado por:

Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.
Coordinadora Auditora Técnica, LanammeUCR

Aprobado por:

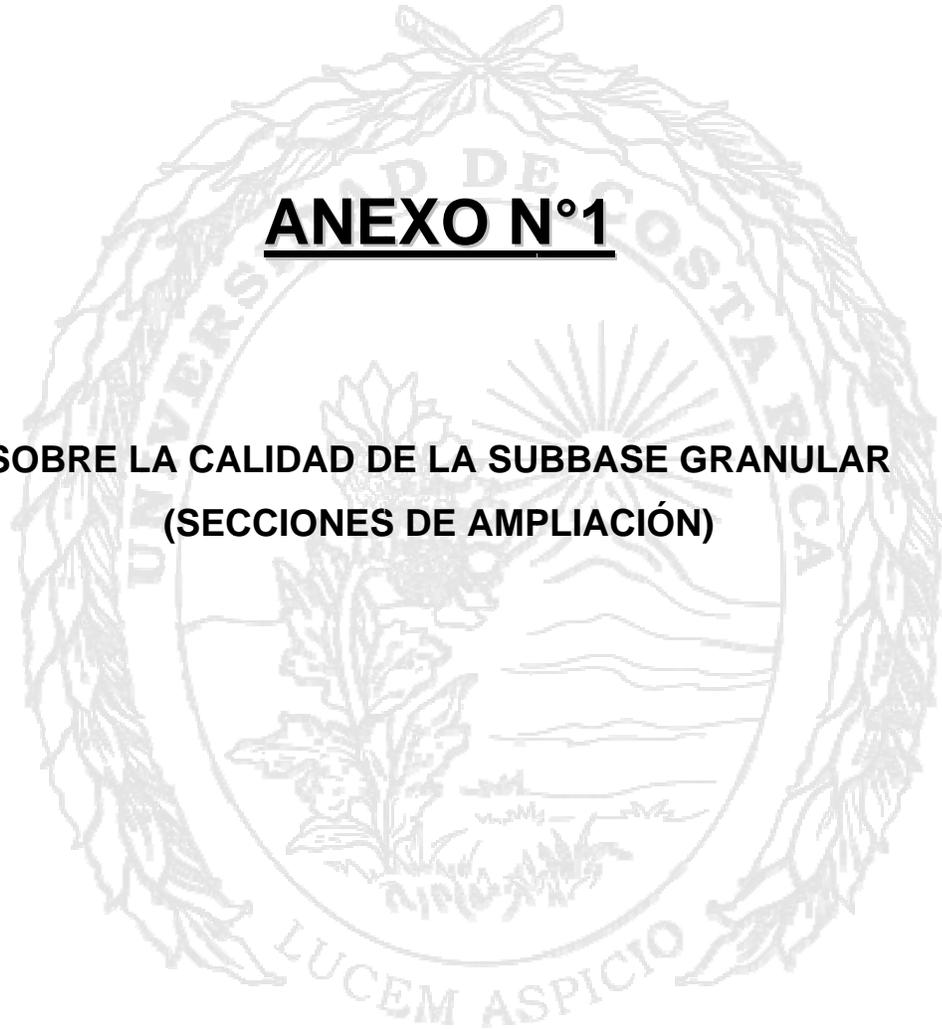
Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.
Coordinador General Programa de Infraestructura de
Transporte, LanammeUCR

Visto bueno de legalidad

Lic. Miguel Chacón Alvarado.
Asesor Legal LanammeUCR

ANEXOS

- 1. SOBRE LA CALIDAD DE LA SUBBASE GRANULAR
(SECCIONES DE AMPLIACIÓN)**
- 2. SOBRE LA CALIDAD DE LA BASE GRANULAR
(SECCIONES DE AMPLIACIÓN)**
- 3. SOBRE LA CALIDAD DE LA BASE ESTABILIZADA CON
CEMENTO**



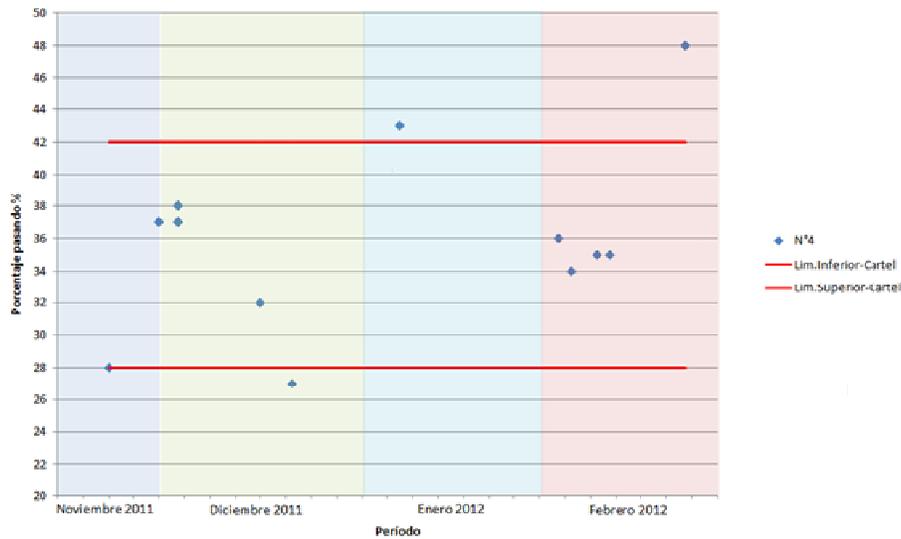
ANEXO N°1

SOBRE LA CALIDAD DE LA SUBBASE GRANULAR (SECCIONES DE AMPLIACIÓN)

b. Resultados de Verificación de la Calidad, Cacisa

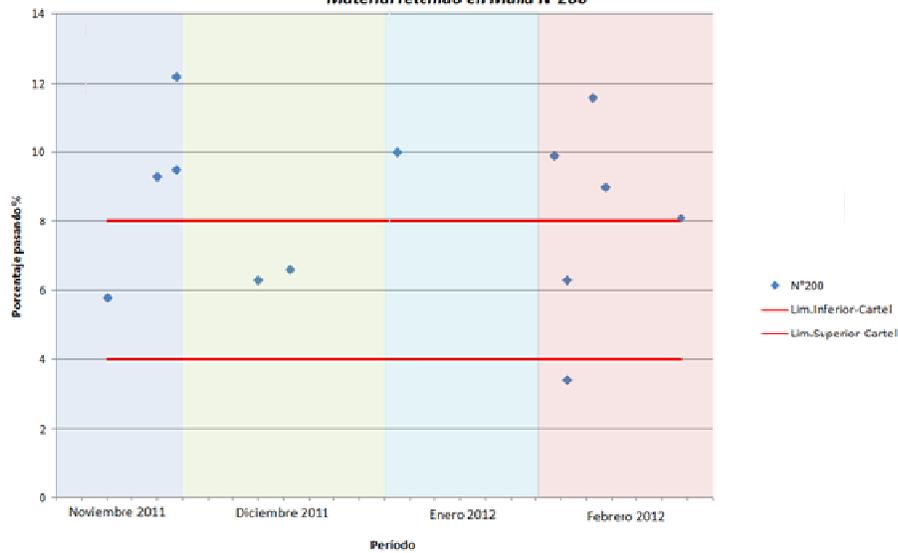
Gráfico 2. Análisis granulométrico de material de subbase., por verificación de calidad (Cacisa).

Resultados granulométricos de subbase, reportados por Cacisa
Material retenido en Malla N°4



a.

Resultados granulométricos de subbase, reportados por Cacisa
Material retenido en Malla N°200



b.

c. Determinación estadística de nivel de cumplimiento de Especificaciones Especiales:

Tabla 1. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de análisis granulométrico de material de subbase granular, por autocontrol de calidad (LGC).

Mes	Tamiz	Tamaño muestra (n)	Promedio %	Desviación estándar, %	Límite inferior, LIE	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Límite superior, LSE	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (Ni)	Categoría
nov-11	Nº4	15	46	3,2	28	5,512	42	1,160	0%	87%	87%	II
	Nº200	15	8,0	1,6	4	2,440	8	0,016	1%	51%	52%	II
dic-11	Nº4	14	47	4,4	28	4,341	42	1,154	0%	87%	87%	II
	Nº200	14	7,7	1,7	4	2,242	8	0,163	2%	56%	59%	II
ene-12	Nº4	12	41	2,0	28	6,624	42	0,464	0%	33%	33%	II
	Nº200	12	8,3	2,6	4	1,655	8	0,124	6%	55%	61%	II
feb-12	Nº4	9	44	5,1	28	3,035	42	0,303	1%	62%	62%	II
	Nº200	9	5,5	2,0	4	0,772	8	1,256	23%	12%	35%	II

*(color rojo): Nivel de incumplimiento mayor al permitido contractualmente para aceptación del material, consideración viñeta e) del apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad".

Tabla 2. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de análisis granulométrico de material de subbase granular, verificación de calidad (Cacisa).

Meses	Tamiz	Tamaño de muestra (n)	Promedio %	Desviación estándar, %	Límite inferior, LIE	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Límite superior, LSE	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (Ni)	Categoría
Noviembre - Diciembre 2011	2"	6	100	0	97	NA	100	NA	NA	NA	0%	II
	1"	6	89	4,1	65	5,890	79	2,501	0%	97%	97%	II
	1/2"	6	57	4,7	45	2,472	59	0,494	3%	32%	35%	II
	Nº4	6	33	4,9	28	1,060	42	1,812	17%	6%	23%	II
	Nº200	6	8,3	2,5	4	1,726	8	0,114	7%	54%	62%	II
Enero - Febrero 2012	2"	7	100	0	97	NA	100	NA	NA	NA	0%	II
	1"	7	88	5,7	65	3,990	79	1,546	0%	91%	92%	II
	1/2"	4	52	10,8	45	0,672	59	0,626	27%	29%	56%	II
	Nº4	7	35	10,6	28	0,659	42	0,659	27%	27%	53%	II
	Nº200	7	8,3	2,7	4	1,583	8	0,120	8%	55%	63%	II

*(color rojo): Nivel de incumplimiento mayor al permitido contractualmente para aceptación del material, consideración viñeta e) del apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad".

b. Determinación estadística de nivel de cumplimiento de Especificaciones Especiales:

Tabla 3. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de Límite Líquido, por autocontrol de calidad (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.

Laboratorio	Mes	Tamaño de muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Compactación mínima (LIE), %	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Compactación máxima (LSE), %	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría	Factor de Pago por Calidad (FPQ)
LGC	nov-11	9	5,8	11,5	NA	NA	30,00	2,11	0%	3%	3%	II	100%
	dic-11	10	0,0	0,0	NA	NA	30,00	0,00	0%	0%	0%	II	100%
	ene-12	12	15,6	13,8	NA	NA	30,00	1,04	0%	16%	16%	II	100%
	feb-12	9	17,0	12,8	NA	NA	30,00	1,02	0%	17%	17%	II	100%
Cacisa	ene-12	9	12,1	14,5	NA	NA	30	1,23	0%	13%	13%	II	100%
	feb-12												

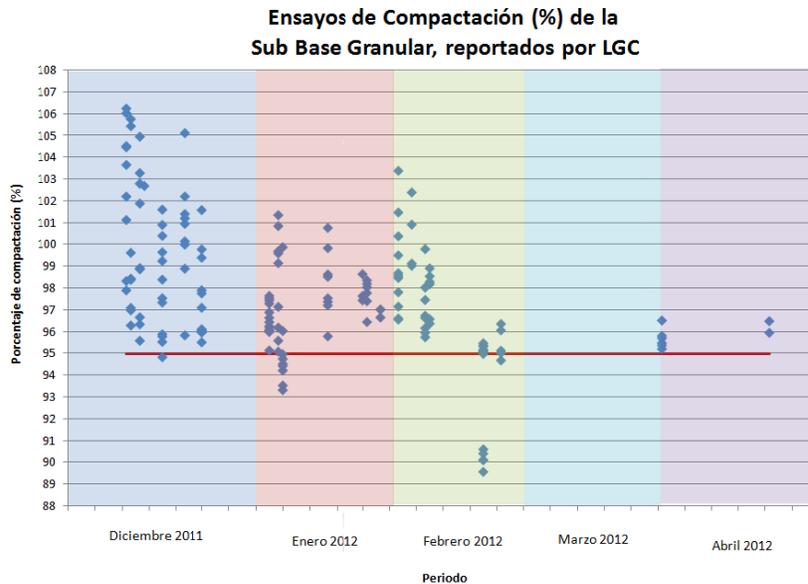
Tabla 4. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de Índice Plástico, por autocontrol de calidad (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.

Laboratorio	Mes	Tamaño de muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Compactación mínima (LIE), %	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Compactación máxima (LSE), %	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría	Factor de Pago por Calidad (FPQ)
LGC	nov-11	9	0,9	1,8	NA	NA	7,00	3,33	0%	1%	1%	II	100%
	dic-11	10	0,0	0,0	NA	NA	7,00	0,00	0%	0%	0%	II	100%
	ene-12	12	3,7	3,3	NA	NA	7,00	1,01	0%	17%	17%	II	100%
	feb-12	9	2,1	1,7	NA	NA	7,00	2,89	0%	1%	1%	II	100%
Cacisa	ene-12	9	2,1	2,5	NA	NA	7	1,94	0%	4%	4%	II	100%
	feb-12												

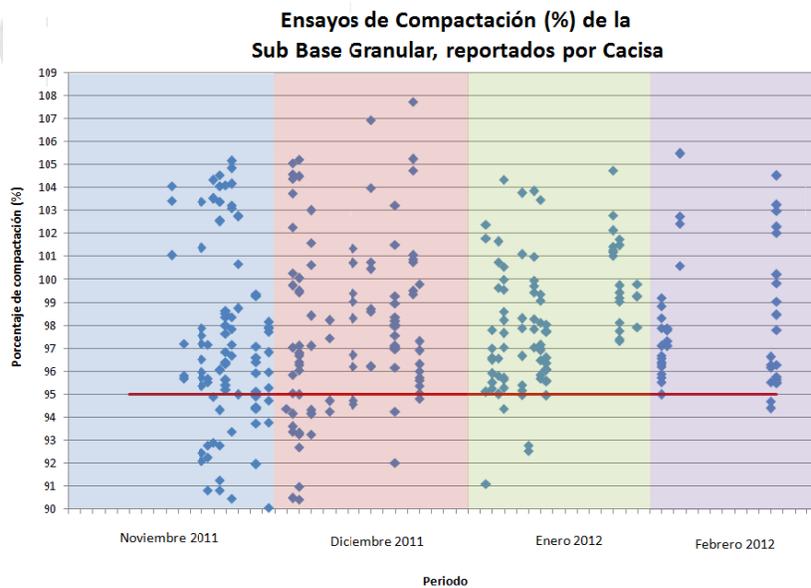
3. ANÁLISIS DE DENSIDAD Y HUMEDAD EN SITIO DE LA SUBBASE GRANULAR.

a. Resultados de Autocontrol de Calidad, LGC y Verificación de la Calidad, Cacisa.

Gráfico 4. Análisis de densidad en sitio del material de subbase., por autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.



a.



b.

b. Determinación estadística de nivel de cumplimiento de Especificaciones Especiales:

Tabla 5. *Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de densidad y humedad, por autocontrol de calidad (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.*

Laboratorio	Mes	Tamaño de muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Compactación mínima (LIE), %	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Compactación máxima (LSE), %	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría	Factor de Pago por Calidad (FPQ)
LGC	dic-11	60	100%	3%	95%	1,44	NA	NA	8%	0%	8%	I	100%
	ene-12	51	97%	2%	95%	1,15	NA	NA	13%	0%	13%	I	97%
	feb-12	46	97%	3%	95%	0,55	NA	NA	29%	0%	29%	I	84%
	mar-12 abr-12	8	96%	0%	95%	1,70	NA	NA	7%	0%	7%	I	100%
Cacisa	nov-11	115	96%	5%	95%	0,18	NA	NA	43%	0%	43%	I	*
	dic-11	105	98%	4%	95%	0,61	NA	NA	27%	0%	27%	I	84%
	ene-12	90	98%	3%	95%	0,96	NA	NA	17%	0%	17%	I	92%
	feb-12	45	98%	3%	95%	1,10	NA	NA	14%	0%	14%	I	96%

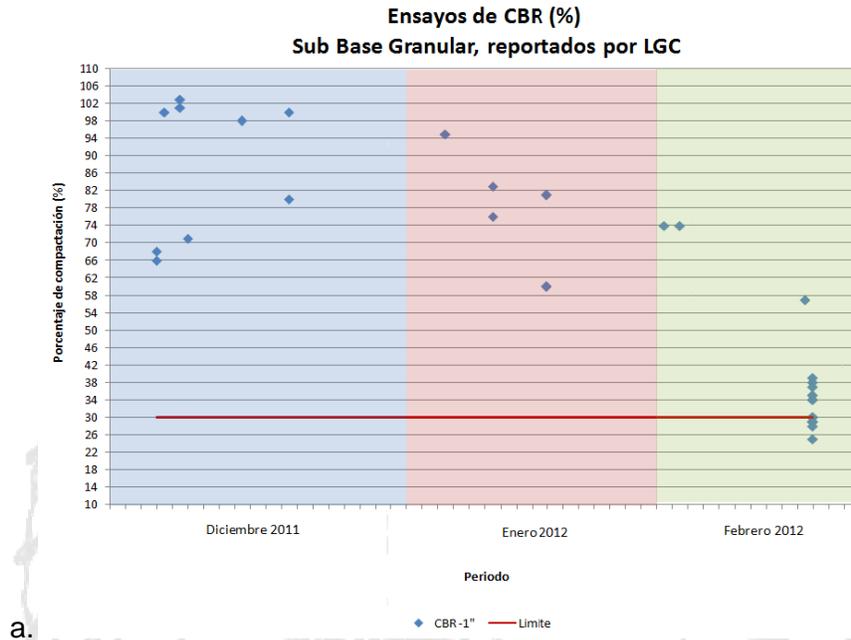
* Nivel de incumplimiento mayor al permitido contractualmente para aceptación del material, consideración viñeta e) del apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad".



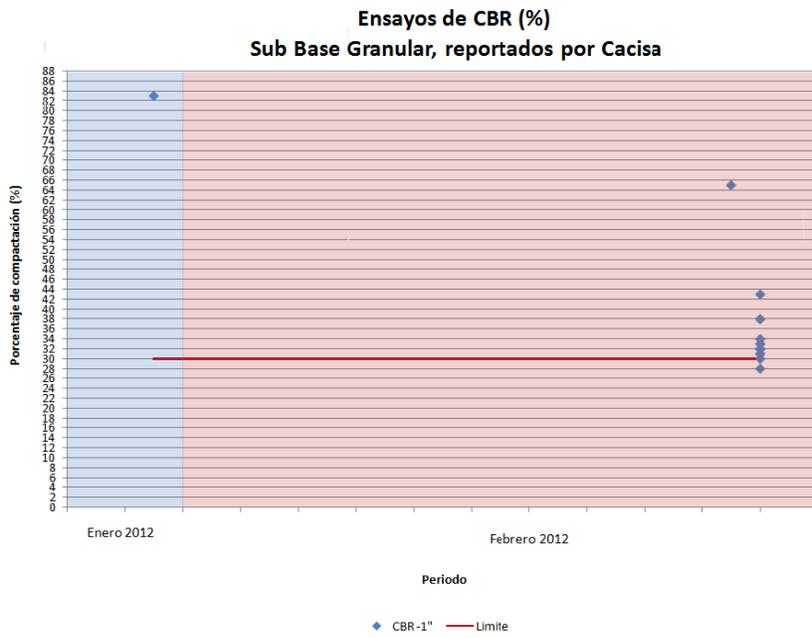
4. ANÁLISIS DE ÍNDICE DE SOPORTE, CBR, DE LA SUBBASE GRANULAR.

a. Resultados de Autocontrol de Calidad, LGC y Verificación de la Calidad, Cacisa.

Gráfico 5. Análisis de CBR material de subbase., por verificación (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.



a.



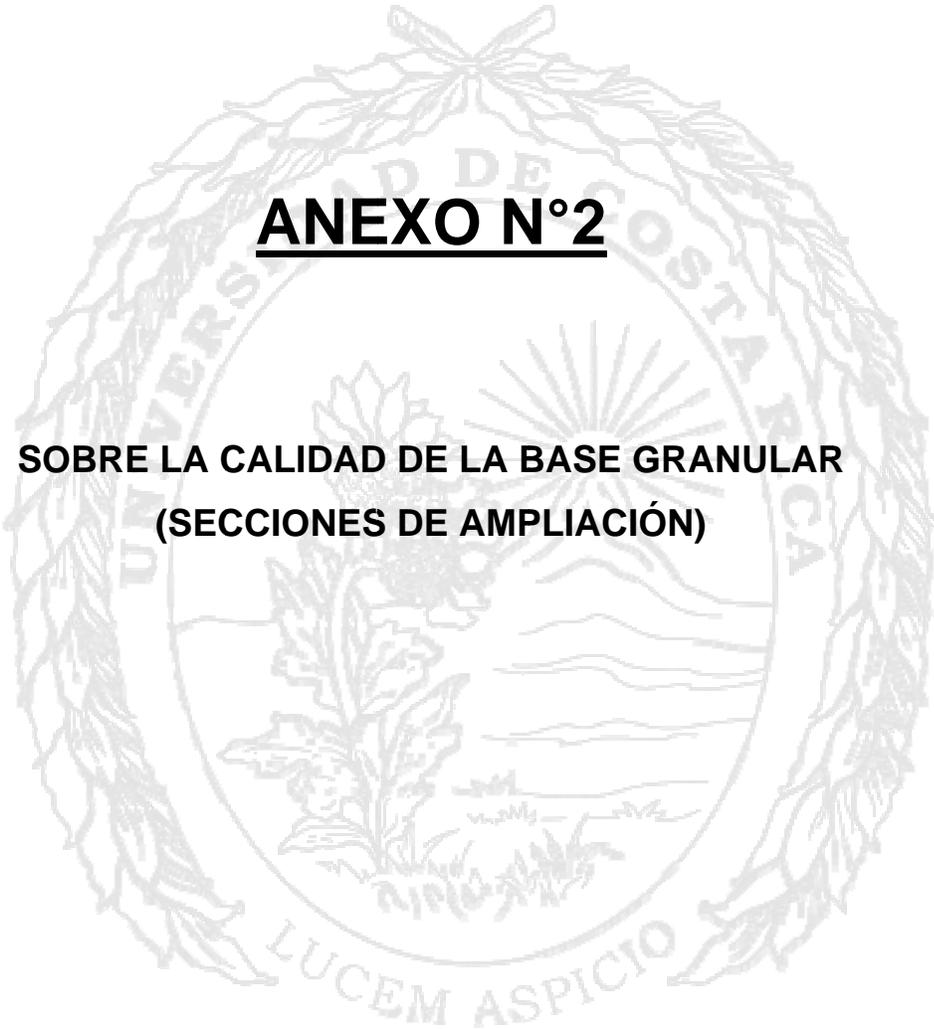
b.

b. Determinación estadística de nivel de cumplimiento de Especificaciones Especiales:

Tabla 6. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de CBR, por autocontrol de calidad (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.

Laboratorio	Mes	Tamaño de muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Compactación mínima (LIE), %	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Compactación máxima (LSE), %	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría	Factor de Pago por Calidad (FPQ)
LGC	nov-11	9	87,4	15,9	30	3,62	NA	NA	0%	0%	0%	I	100%
	dic-11												
	ene-12	24	47,3	22,0	30	0,78	NA	NA	22%	0%	22%	I	92%
feb-12													
Cacisa	ene-12	17	38,1	14,3	30	0,56	NA	NA	29%	0%	29%	I	89%
	feb-12												





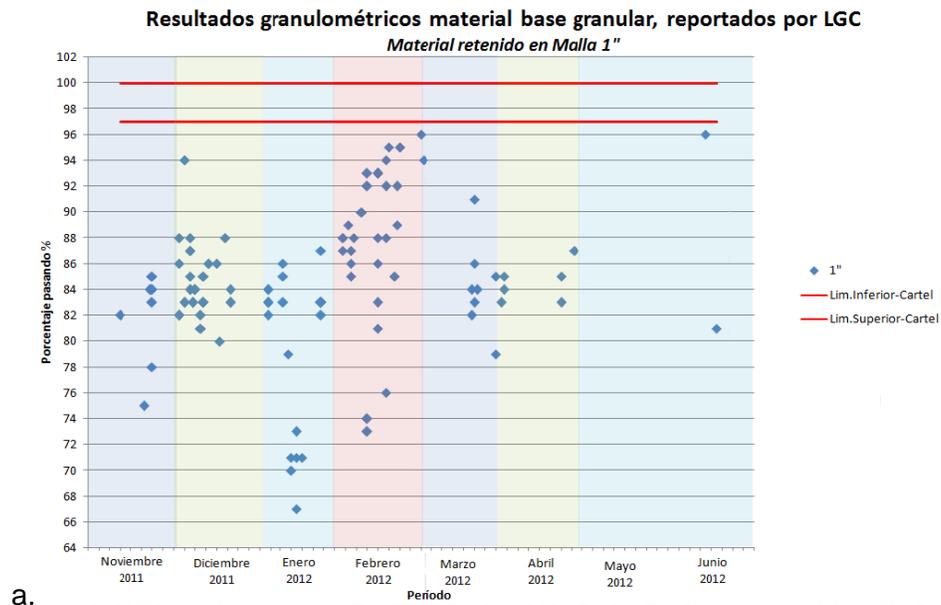
ANEXO N°2

SOBRE LA CALIDAD DE LA BASE GRANULAR (SECCIONES DE AMPLIACIÓN)

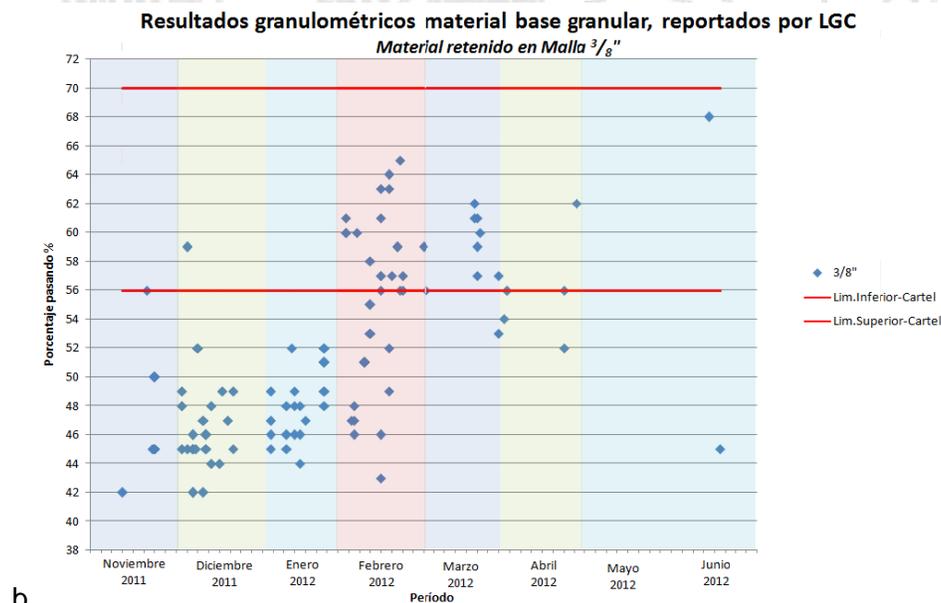
1. ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA PARA LA BASE GRANULAR.

a. Resultados de Autocontrol de Calidad, LGC

Gráfico 6. Análisis granulométrico de material de base granular, por autocontrol de calidad (LGC)

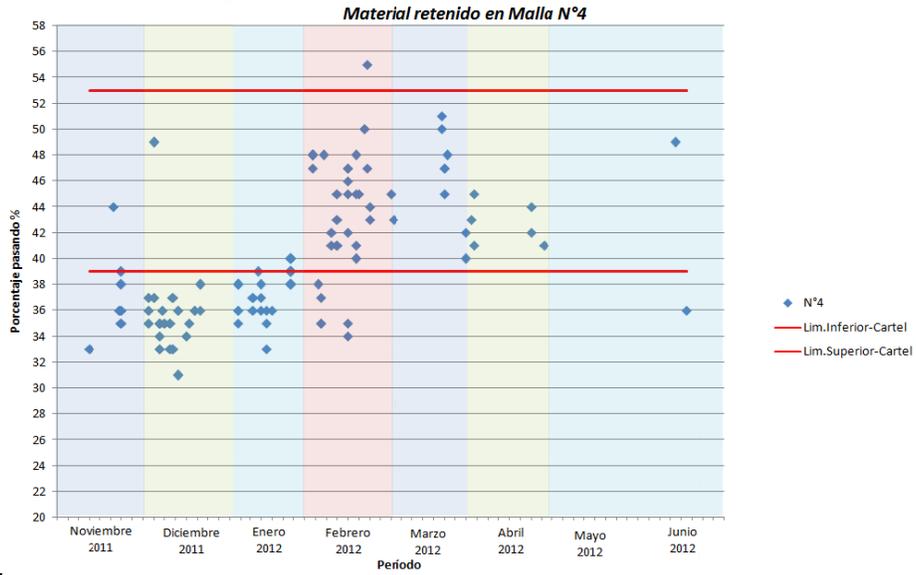


a.



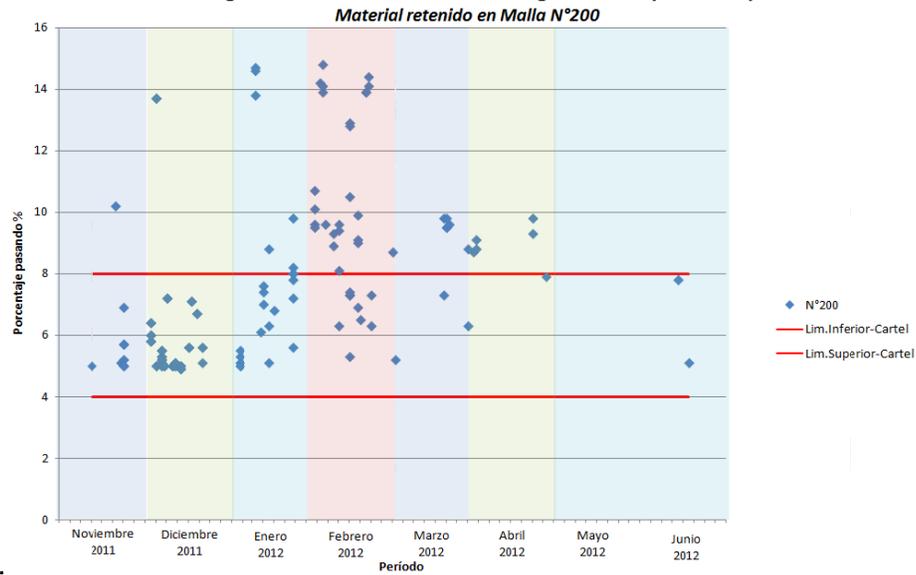
b.

Resultados granulométricos material base granular, reportados por LGC



c.

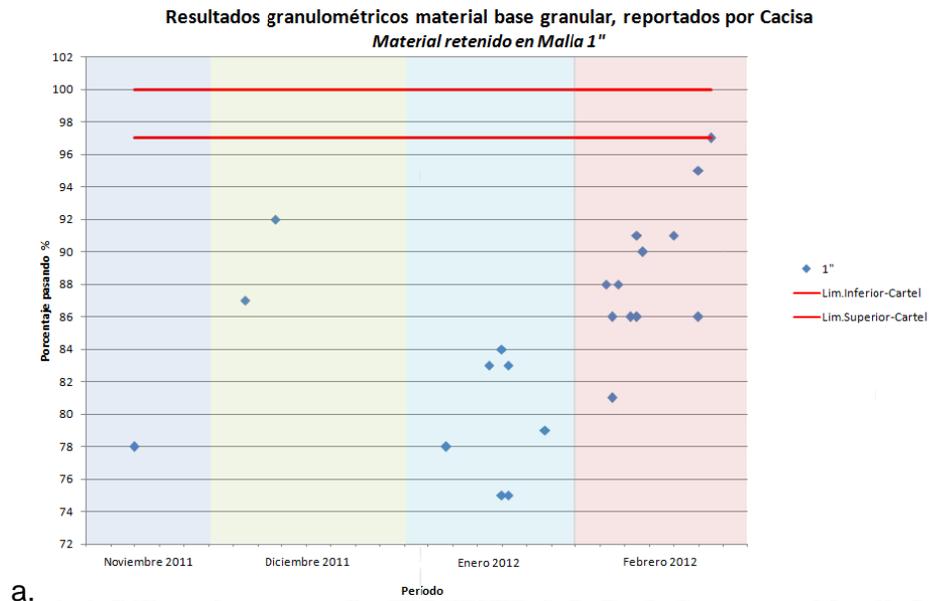
Resultados granulométricos material base granular, reportados por LGC



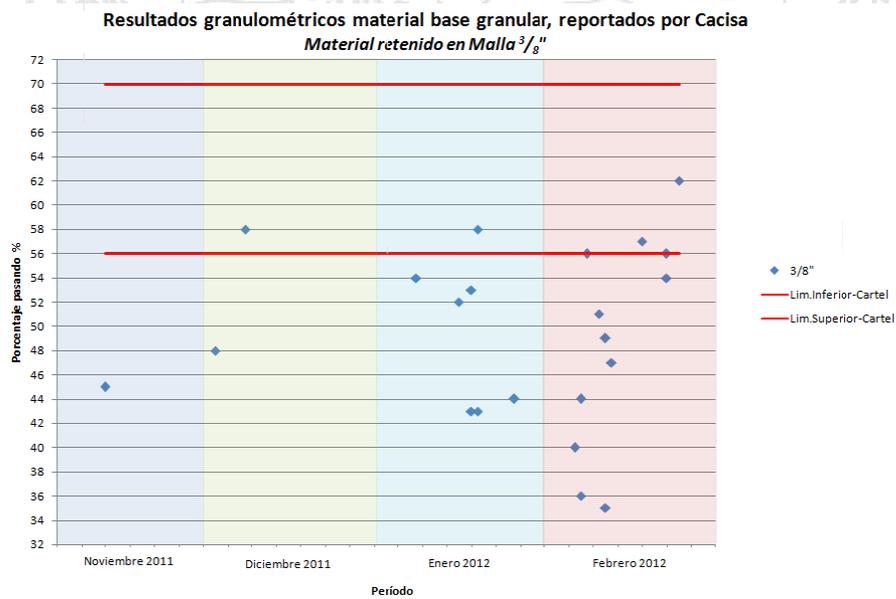
d.

b. Resultados de Verificación de la Calidad, Cacisa

Gráfico 7. Análisis granulométrico de material de base granular, por verificación de calidad (Cacisa).

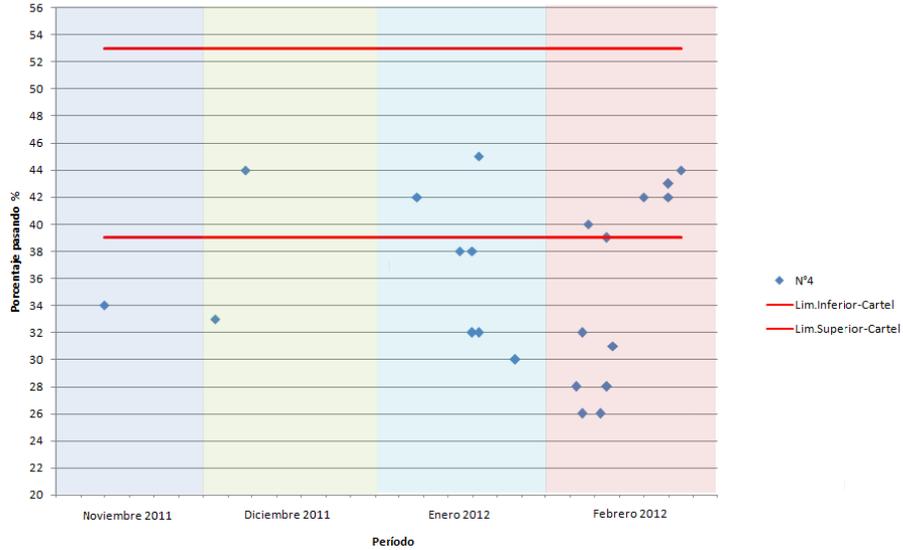


a.



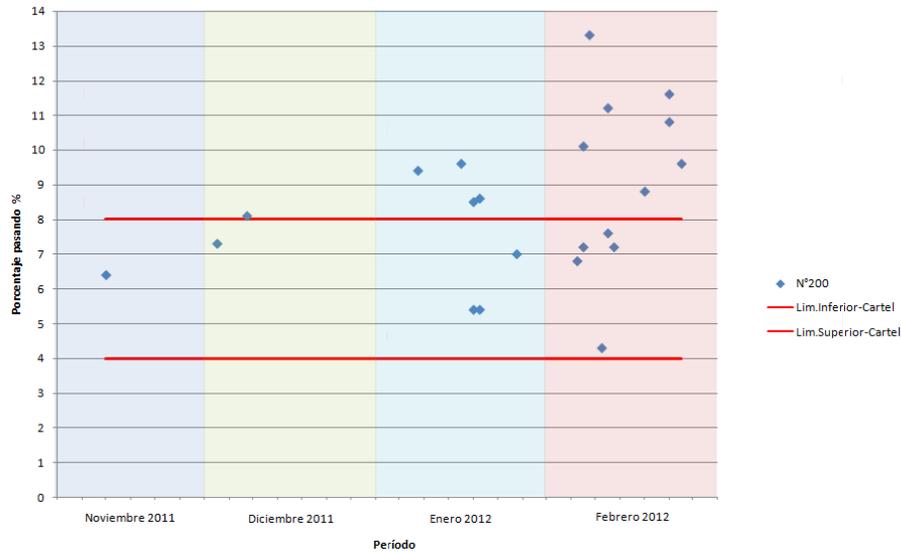
b.

Resultados granulométricos material base granular, reportados por Cacisa
Material retenido en Malla N°4



C.

Resultados granulométricos material base granular, reportados por Cacisa
Material retenido en Malla N°200



d.

c. Determinación estadística de nivel de cumplimiento de Especificaciones Especiales:

Tabla 7. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de análisis granulométrico de material de subbase granular, por autocontrol de calidad (LGC).

Mes	Tamiz	Tamaño muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Límite inferior, LIE	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Límite superior, LSE	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría
nov-11	1 1/2"	9	100	0	100	NA	100	NA	NA	NA	0%	II
	1"	9	82	3,5	97	4,276	100	5,144	100%	0%	100%	II
	3/8"	9	47	4,2	56	2,121	70	5,421	97%	0%	97%	II
	N°4	9	37	3,2	39	0,664	53	5,067	74%	0%	74%	II
	N°200	9	6,0	1,7	4	1,165	8	1,191	14%	13%	27%	II
dic-11	1 1/2"	44	100	0	100	NA	100	NA	NA	NA	0%	II
	1"	44	85	3,0	97	3,977	100	4,978	100%	0%	100%	II
	3/8"	44	47	3,5	56	2,614	70	6,572	99%	0%	99%	II
	N°4	44	36	3,3	39	0,979	53	5,194	83%	0%	83%	II
	N°200	44	6	1,9	4	1,036	8	1,121	15%	13%	29%	II
ene-12	1 1/2"	28	100	0,0	100	NA	100	NA	NA	NA	0%	II
	1"	28	81	6,4	97	2,529	100	2,995	99%	0%	99%	II
	3/8"	28	50	4,8	56	1,277	70	4,170	89%	0%	89%	II
	N°4	28	39	4,1	39	0,061	53	3,501	52%	0%	53%	II
	N°200	28	8	2,8	4	1,413	8	0,004	8%	50%	59%	II
feb-12	1 1/2"	30	100	0,0	100	NA	100	NA	NA	NA	0%	II
	1"	30	88	6,1	97	1,443	100	1,935	92%	3%	95%	II
	3/8"	30	55	5,9	56	0,180	70	2,548	57%	1%	58%	II
	N°4	30	43	5,0	39	0,830	53	1,960	21%	3%	24%	II
	N°200	30	10	3,0	4	2,003	8	0,680	3%	75%	78%	II
mar-12	1 1/2"	12	100	0,0	100	NA	100	NA	NA	NA	0%	II
	1"	12	85	4,0	97	3,017	100	3,771	99%	0%	100%	II
	3/8"	12	58	2,9	56	0,574	70	4,249	29%	0%	29%	II
	N°4	12	45	3,5	39	1,756	53	2,231	5%	2%	8%	II
	N°200	12	9	1,5	4	3,048	8	0,359	1%	64%	64%	II

*(color rojo): Nivel de incumplimiento mayor al permitido contractualmente para aceptación del material, consideración viñeta e) del apartado "7.Pago de obra ejecutada en función de la calidad".

Tabla 8. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de análisis granulométrico de material de subbase granular, verificación de calidad (Cacisa).

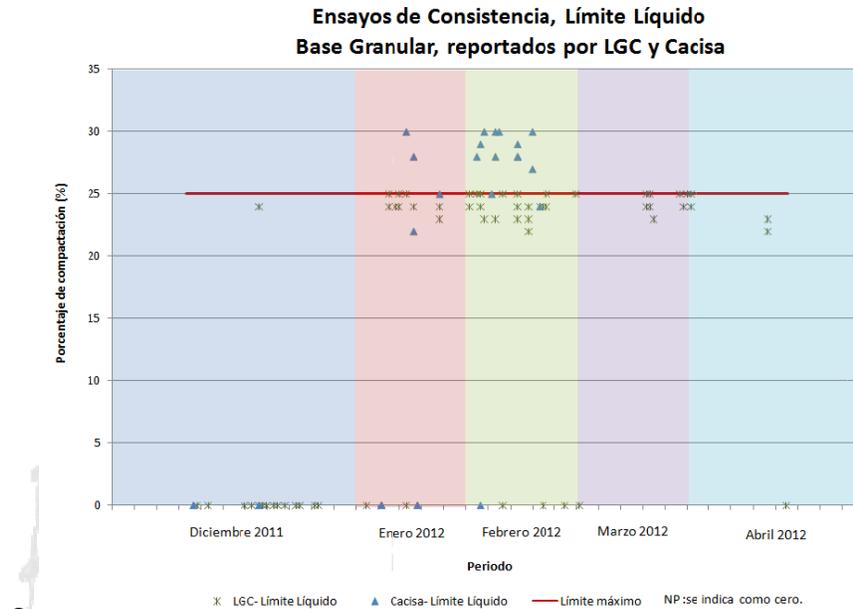
Mes	Tamiz	Tamaño muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Límite inferior, LIE	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Límite superior, LSE	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría
ene-12	1 1/2"	7	97	1,8	100	NA	100	NA	NA	NA	0%	II
	1"	7	80	3,8	97	4,558	100	5,343	100%	0%	100%	II
	3/8"	7	50	6,1	56	1,048	70	3,331	83%	1%	84%	II
	N°4	7	37	5,6	39	0,407	53	2,898	65%	1%	66%	II
	N°200	7	8	1,8	4	2,078	8	0,168	4%	44%	48%	II
feb-12	1 1/2"	12	100	0,3	100	0,289	100	0,289	61%	39%	0%	II
	1"	12	89	4,4	97	1,887	100	2,573	96%	1%	97%	II
	3/8"	12	49	8,7	56	0,813	70	2,420	78%	2%	80%	II
	N°4	12	35	7,2	39	0,545	53	2,491	70%	1%	72%	II
	N°200	12	9	2,5	4	1,994	8	0,412	4%	66%	69%	II

*(color rojo): Nivel de incumplimiento mayor al permitido contractualmente para aceptación del material, consideración viñeta e) del apartado "7.Pago de obra ejecutada en función de la calidad".

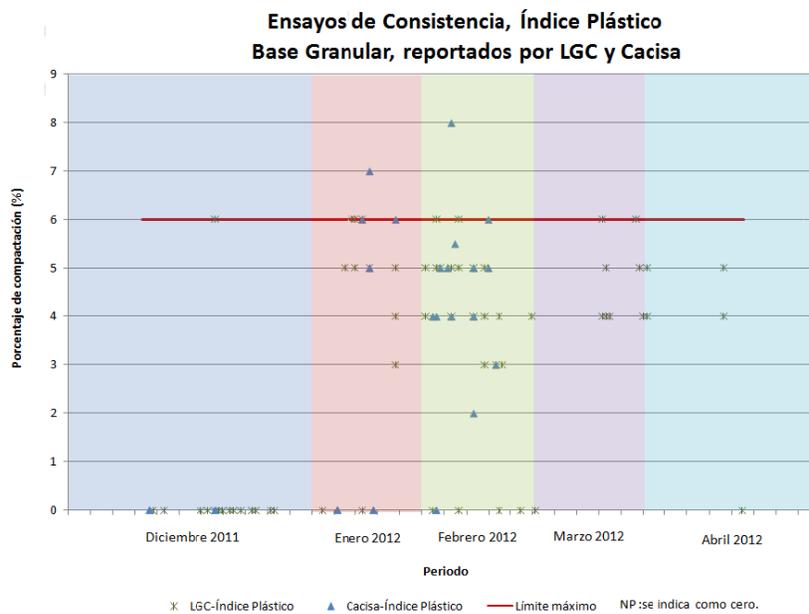
2. ANÁLISIS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA BASE GRANULAR.

a. Resultados de Autocontrol de Calidad, LGC y Verificación de la Calidad, Cacisa.

Gráfico 8. Análisis de consistencia de material de base, por autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.



a.



b.

b. Determinación estadística de nivel de cumplimiento de Especificaciones Especiales:

Tabla 9. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de Límite Líquido, por autocontrol de calidad (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.

Laboratorio	Mes	Tamaño de muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Compactación mínima (LIE), %	Índice de Calidad Inferior (QI)	Compactación máxima (LSE), %	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (PI)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría	Factor de Pago por Calidad (FPQ)
LGC	dic-11	28	0,9	4,5	NA	NA	25,00	5,32	0%	0%	0%	II	100%
	ene-12	28	17,4	11,2	NA	NA	25,00	0,68	0%	25%	25%	II	90%
	feb-12	29	21,5	7,5	NA	NA	25,00	0,47	0%	32%	32%	II	84%
	mar-12	12	22,3	7,1	NA	NA	25,00	0,38	0%	36%	36%	II	85%
Cacisa	ene-12	9	11,7	14	NA	NA	25	0,95	0%	18%	18%	II	99%
	feb-12	14	26,1	7,7	NA	NA	25	0,15	0%	56%	56%	II	*

* Nivel de incumplimiento mayor al permitido contractualmente para aceptación del material, consideración viñeta e) del apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad".

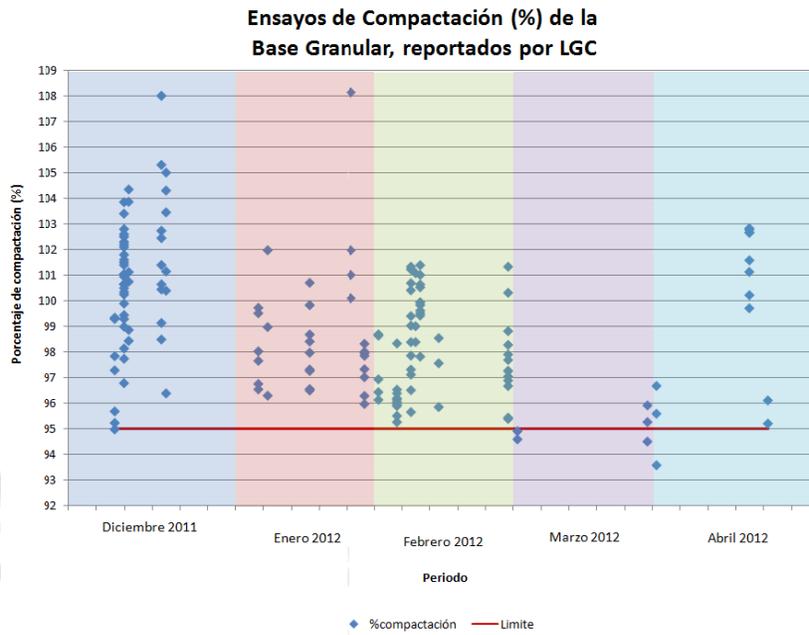
Tabla 10. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de Índice Plástico, por autocontrol de calidad (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.

Laboratorio	Mes	Tamaño de muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Compactación mínima (LIE), %	Índice de Calidad Inferior (QI)	Compactación máxima (LSE), %	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (PI)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría	Factor de Pago por Calidad (FPQ)
LGC	dic-11	28	0,2	1,1	NA	NA	6,00	5,10	0%	0%	0%	II	100%
	ene-12	28	3,6	2,4	NA	NA	6,00	1,02	0%	16%	16%	II	100%
	feb-12	29	3,8	1,8	NA	NA	6,00	1,23	0%	12%	12%	II	100%
	mar-12	12	4,3	1,5	NA	NA	6,00	1,13	0%	14%	14%	II	100%
Cacisa	ene-12	9	2,7	3,2	NA	NA	6	1,04	0%	16%	0%	II	100%
	feb-12	14	4,3	1,9	NA	NA	6	0,89	0%	19%	19%	II	100%

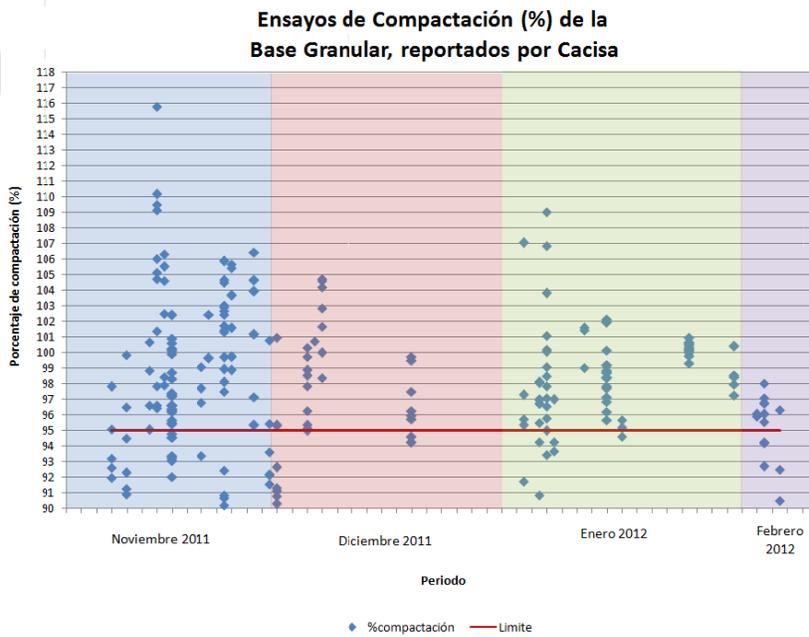
3. ANÁLISIS DE DENSIDAD Y HUMEDAD EN SITIO DE LA BASE GRANULAR.

a. Resultados de Autocontrol de Calidad, LGC y Verificación de la Calidad, Cacisa.

Gráfico 9. Análisis de densidad en sitio del material de base, por autocontrol (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.



a.



b.

a. Determinación estadística de nivel de cumplimiento de Especificaciones Especiales:

Tabla 11. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de densidad y humedad, por autocontrol de calidad (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.

Laboratorio	Mes	Tamaño de muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Compactación mínima (LIE), %	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Compactación máxima (LSE), %	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría	Factor de Pago por Calidad (FPQ)
LGC	dic-11	54	101%	3%	95%	2,17	NA	NA	2%	0%	2%	I	100%
	ene-12	35	98%	2%	95%	1,47	NA	NA	8%	0%	8%	I	100%
	feb-12	52	98%	2%	95%	1,69	NA	NA	5%	0%	5%	I	100%
	mar-12	18	98%	3%	95%	0,90	NA	NA	19%	0%	19%	I	95%
Cacisa	nov-11	120	98%	6%	95%	0,41	NA	NA	34%	0%	34%	I	77%
	dic-11	36	97%	5%	95%	0,36	NA	NA	36%	0%	36%	I	79%
	ene-12	75	98%	4%	95%	0,61	NA	NA	27%	0%	27%	I	84%
	feb-12	20	93%	4%	95%	0,47	NA	NA	68%	0%	68%	I	*

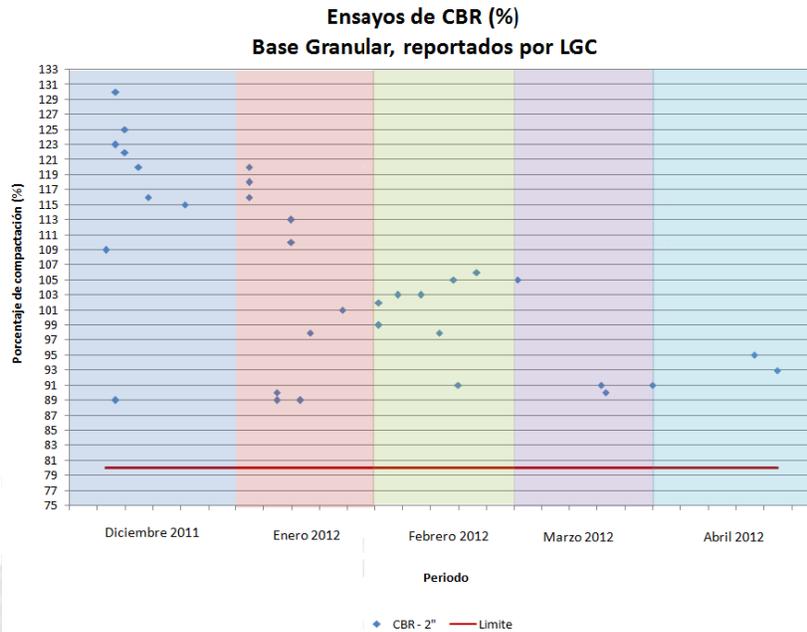
* Nivel de incumplimiento mayor al permitido contractualmente para aceptación del material, consideración viñeta e) del apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad".



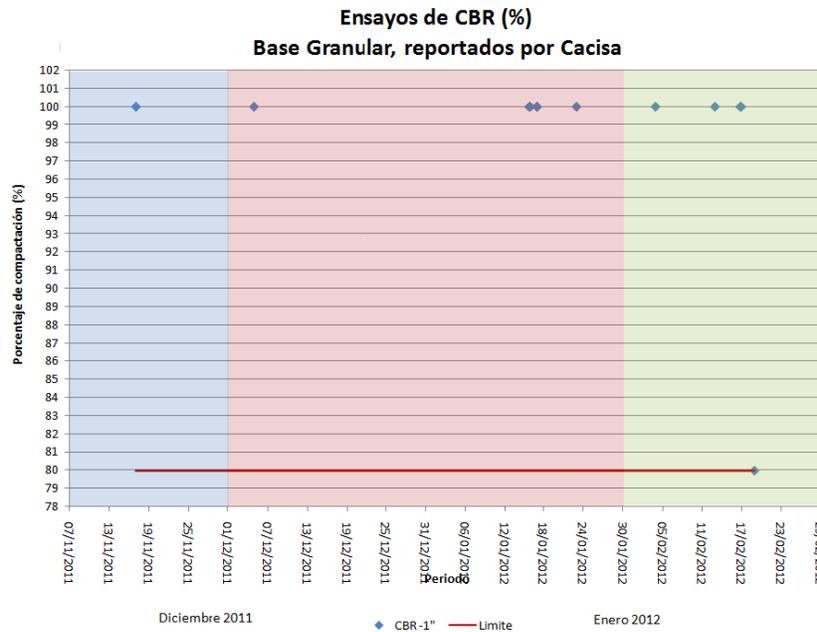
4. ANÁLISIS DE ÍNDICE DE SOPORTE, CBR, DE LA BASE GRANULAR.

a. Resultados de Autocontrol de Calidad, LGC y Verificación de la Calidad, Cacisa.

Gráfico 10. Análisis de CBR material de base, por verificación (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.



a.



b.

b. Determinación estadística de nivel de cumplimiento de Especificaciones Especiales:

Tabla 12. *Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de CBR, por autocontrol de calidad (LGC) y verificación (Cacisa) de calidad.*

Laboratorio	Mes	Tamaño de muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Compactación mínima (LIE), %	Índice de Calidad Inferior (Qj)	Compactación máxima (LSE), %	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría	Factor de Pago por Calidad (FPQ)
LGC	dic-11	9	116,6	12,0	80	3,04	NA	NA	1%	0%	1%	I	100%
	ene-12	12	103,8	11,4	80	2,08	NA	NA	3%	0%	3%	I	100%
	feb-12	6	101,0	5,6	80	3,74	NA	NA	1%	0%	1%	I	100%
Cacisa	ene-12	5	100	0	80	-	NA	NA	-	-	-	I	100%
	feb-12	5	96	8,9	80	1,79	NA	NA	7%	0%	7%	I	100%



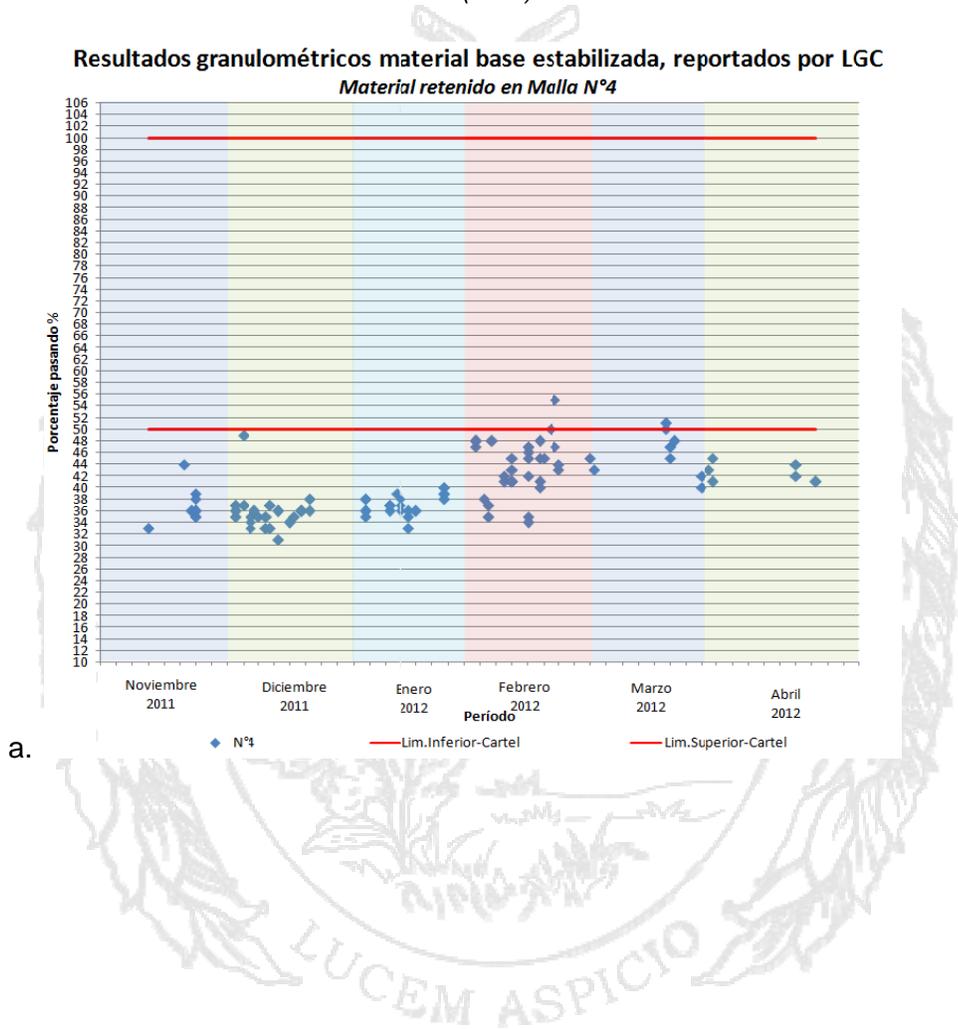
ANEXO N° 3

**SOBRE LA CALIDAD DE LA BASE
ESTABILIZADA CON CEMENTO
(SECCIONES DE AMPLIACIÓN LATERAL
Y SECCIÓN PRINCIPAL EXISTENTE).**

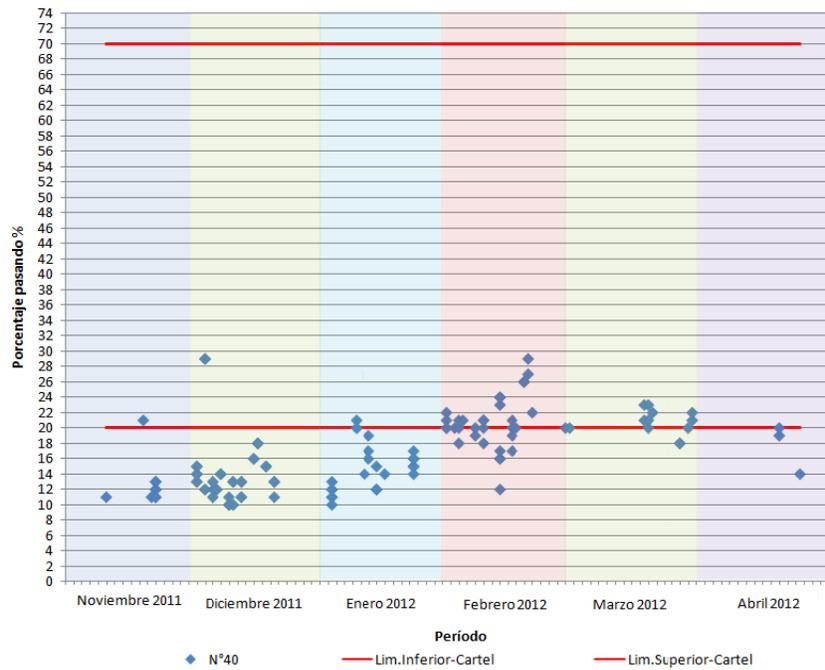
1. ANÁLISIS DE DE GRANULOMETRÍA DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO COLOCADA.

a. Resultados de Control de Calidad de LGC

Gráfico 11. Resultados reportados para tamices N°4, N°40 y N°200, para la base estabilizada durante los meses de noviembre, diciembre de 2011, enero y febrero de 2012, autocontrol de calidad (LGC).

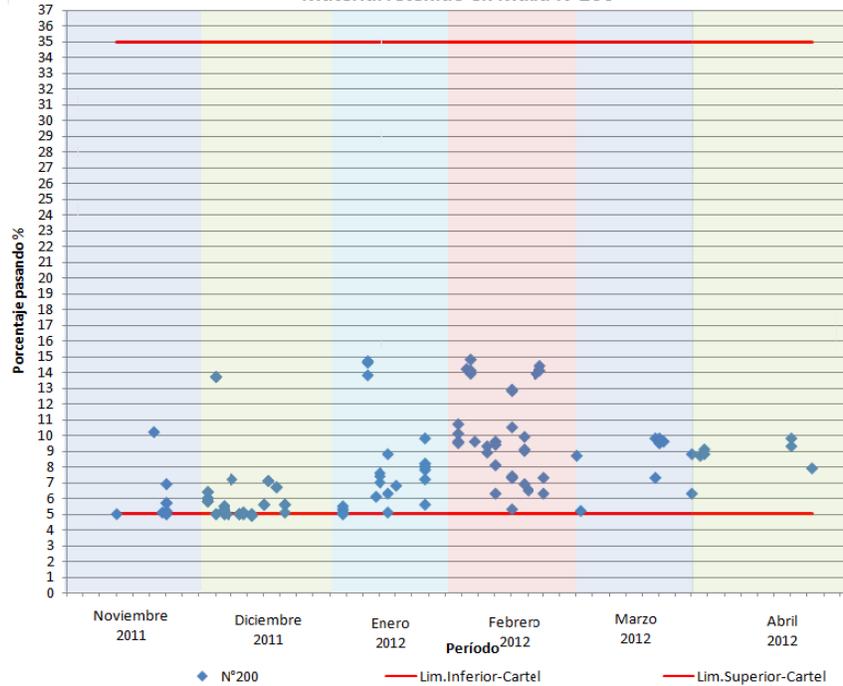


Resultados granulométricos material base estabilizada, reportados por LGC
Material retenido en Malla N°40



b.

Resultados granulométricos material base estabilizada, reportados por LGC
Material retenido en Malla N°200

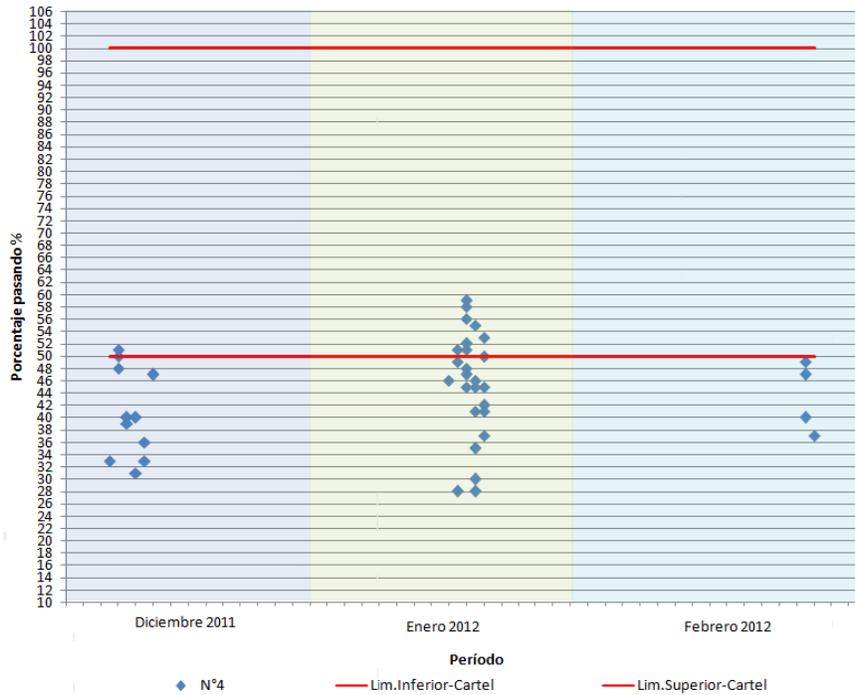


c.

b. Resultados de Verificación de la Calidad de Cacisa

Gráfico 12. Resultados reportados para tamices N°4, N°40 y N°200, para la base estabilizada durante los meses de noviembre, diciembre de 2011, enero y febrero de 2012, reportados por Cacisa.

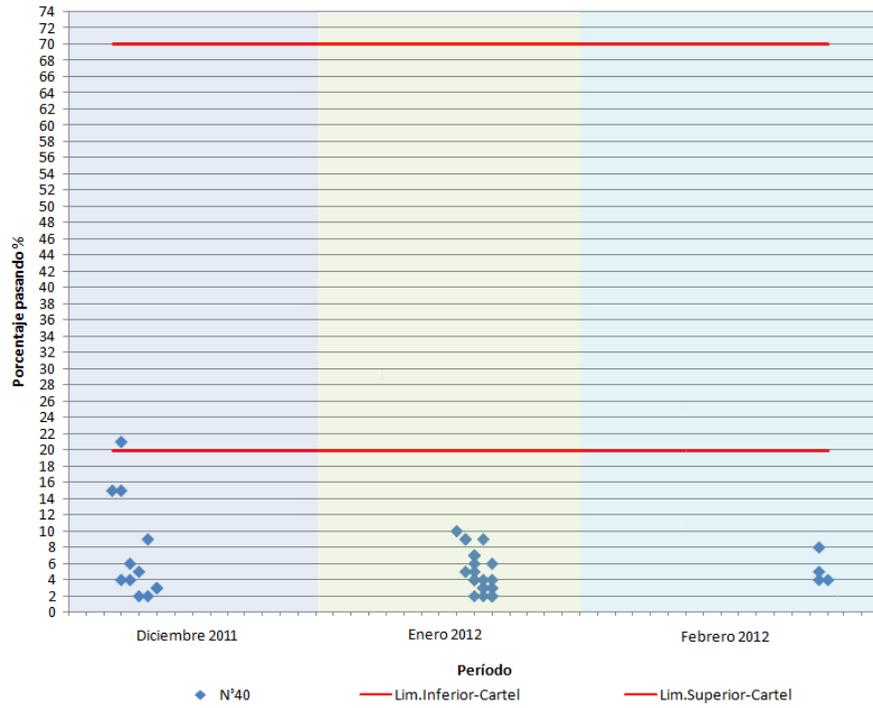
Resultados granulométricos material base estabilizada, reportados por Cacisa
Material retenido en Malla N°4



a.

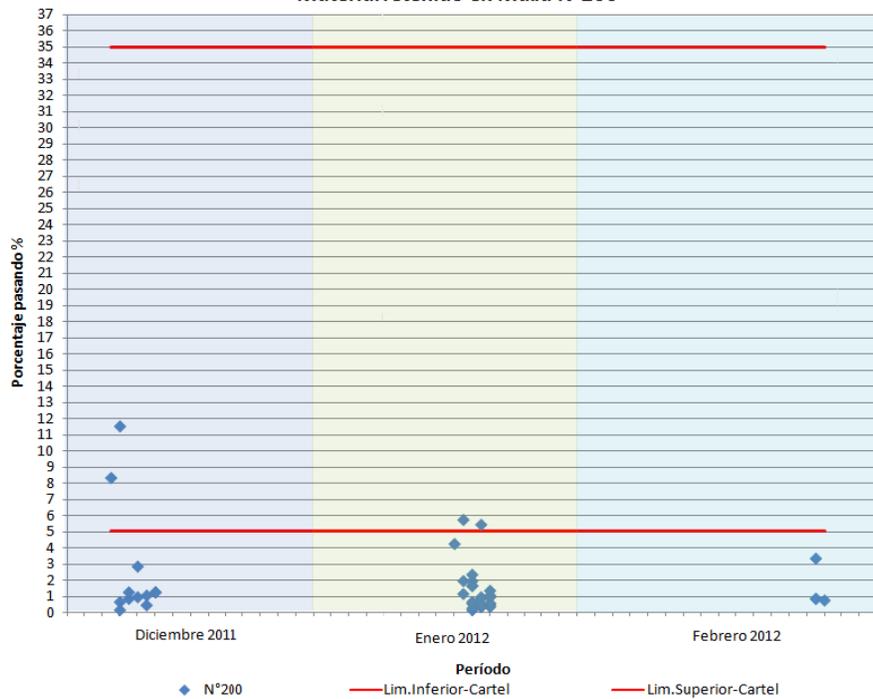


Resultados granulométricos material base estabilizada, reportados por Cacisa
Material retenido en Malla N°40



b.

Resultados granulométricos material base estabilizada, reportados por Cacisa
Material retenido en Malla N°200



c.

c. Determinación estadística de nivel de cumplimiento:

Tabla 13. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de análisis granulométrico de material de base estabilizada, por autocontrol de calidad (LGC).

Mes	Tamiz	Tamaño muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Límite inferior, LIE	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Límite superior, LSE	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría
nov-11	N°4	9	47	4,2	50	0,707	100	12,492	75%	0%	75%	II
	N°40	9	13	3,2	20	2,262	70	17,922	97%	0%	97%	II
	N°200	9	6,0	1,7	5	0,576	35	17,088	29%	0%	29%	II
dic-11	N°4	44	47	3,5	50	0,919	100	15,051	82%	0%	82%	II
	N°40	44	14	3,9	20	1,638	70	14,413	95%	0%	95%	II
	N°200	44	6	1,9	5	0,496	35	15,682	31%	0%	31%	II
ene-12	N°4	28	39	4,1	50	2,764	100	15,049	99%	0%	99%	II
	N°40	28	16	3,5	20	1,219	70	15,441	88%	0%	88%	II
	N°200	28	8	2,8	5	1,059	35	9,568	15%	0%	15%	II
feb-12	N°4	30	43	5,0	50	1,362	100	11,326	91%	0%	91%	II
	N°40	29	21	3,6	20	0,172	70	13,680	43%	0%	43%	II
	N°200	30	10	3,0	5	1,672	35	8,249	5%	0%	5%	II
mar-12	N°4	12	45	3,5	50	1,376	100	15,614	90%	0%	90%	II
	N°40	12	21	1,7	20	0,452	70	29,699	33%	0%	33%	II
	N°200	12	9	1,5	5	2,376	35	17,797	2%	0%	2%	II

*(color rojo): Nivel de incumplimiento mayor al permitido contractualmente para aceptación del material, consideración viñeta e) del apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad".

Tabla 14. Determinación estadística de nivel de cumplimiento para resultados de análisis granulométrico de material de base estabilizada, verificación de calidad (Cacisa).

Mes	Tamiz	Tamaño muestra (n)	Promedio, %	Desviación estándar, %	Límite inferior, LIE	Índice de Calidad Inferior (Qi)	Límite superior, LSE	Índice de Calidad Superior (Qs)	Porcentaje de Incumplimiento inferior (Pi)	Porcentaje de Incumplimiento superior (Ps)	Nivel de Incumplimiento (NI)	Categoría
dic-11	2"	12	100,00	0,000	100	NA	100	NA	NA	NA	NA	II
	N°4	12	41,25	7,137	50	1,226	100	8,232	88%	0,00%	88%	II
	N°40	12	7,42	6,259	20	2,010	70	9,999	97%	0,00%	97%	II
	N°200	12	2,50	3,584	5	0,698	35	9,069	75%	0,00%	75%	II
ene-12	2"	26	100,00	0,000	100	NA	100	NA	NA	NA	NA	II
	N°4	26	45,69	8,597	50	0,501	100	6,317	69%	0,00%	69%	II
	N°40	26	4,77	2,519	20	6,047	70	25,897	100%	0,00%	100%	II
	N°200	26	1,35	1,521	5	2,403	35	22,132	99%	0,00%	99%	II

*(color rojo): Nivel de incumplimiento mayor al permitido contractualmente para aceptación del material, consideración viñeta e) del apartado "7. Pago de obra ejecutada en función de la calidad".