



31 de marzo del 2020
LM-IC-D-0303-2020

Señor
Ing. Mauricio Salazar Molina
Director
Unidad Técnica de Gestión Vial
Municipalidad de Sarchí

Asunto: Resultados de calidad de materiales y las especificaciones de proyecto.

Como parte de las labores conjuntas desarrolladas entre la Municipalidad de Valverde Vega y la Universidad de Costa Rica dentro del convenio marco R-CONV-014-2018, donde se acuerda que el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), ejecute las tareas indicadas en la Ley No. 8114 de Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma en la Red Vial Municipal de Sarchí, se le informan los resultados obtenidos en los muestreos realizados proyectos cantonales definidos con la Unidad a su cargo y cuyos informes han sido entregados oportunamente.

Los ensayos de laboratorio se han relacionado con la calidad, de materiales granulares (base granular) y verificación del diseño de mezcla asfáltica caliente (MAC). Los informes entregados referentes a materiales granulares fueron: I-2035-19, I-2041-19, I-2056-19, I-0089-20, I-0129-20, I-0185-20 e I-0221-20; mientras que los informes referentes a MAC poseen los números siguientes: I-0070-20 y I-0151-20. A continuación, se presenta la Tabla 1, con la información del tipo de material analizado en cada informe, así como el proyecto al que pertenece.

Tabla 1. Materiales de proyectos

Proyecto	Material	Informe (s) asociado (s)
Material de fuente: Tajo San Rafael	Base y subbase granular	I-2035-19, I-2041-19 I-2056-19
Calle La Eva	Mezcla asfáltica caliente	I-070-20
Calle Concha	Base Granular	I-0129-20 I-089-20
Calle Concha, Proyecto Calle San Pedro y Calle Oriol	Mezcla asfáltica caliente	I-151-20
Calle Coopeutava y Calle Trejos	Base Granular	I-0221-20 I-181-20



Evaluación de resultados

Con el afán de brindar asesoría en la mejora continua de la gestión vial municipal de la Municipalidad de Sarchí, se incorporan los cuadros resumen de los resultados obtenidos por el LanammeUCR. Las especificaciones de los materiales granulares se encuentran definidas en el Oficio MS-UTGV-OF-0223-2019 (10 de setiembre del 2019), de la Municipalidad de Sarchí, el cual establece los requerimientos mínimos con los que debía cumplir el material. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos para los materiales de base granular muestreados en proyecto

Especificaciones Municipalidades según MS-UTGV-OF-0223-2019		Proyecto, número de muestra y de Informe								
		Tajo San Rafael, M-2287-19		Calle Concha, M-85-20		Calle Coopeutava, M-137-20		Calle Trejos, M-138-20		
		Basado en: I-2035-19, I-2041-19 e I-2056-19		Basado en: I-0089-20 e I-0129-20		Basado en: I-0185-20 e I-0221-20		Basado en: I-0185-20 e I-0221-20		
Granulometría Tipo C	Abertura (mm)	% Pasando	Valor	Cumplimiento	Valor	Cumplimiento	Valor	Cumplimiento	Valor	Cumplimiento
	50,00	100	100	Cumple	100	Cumple	100,0	Cumple	100	Cumple
	25,00	80-100 (±6)	86,1	Cumple	91,6	Cumple	94,3	Cumple	89,6	Cumple
	19,00	64-94	71,4	Cumple	81,4	Cumple	83,5	Cumple	74,8	Cumple
	9,50	40-69 (±5)	46,9	Cumple	58	Cumple	61,9	Cumple	53,7	Cumple
	4,75	31-54 (±6)	34,7	Cumple	51,6	Cumple	55,4	Cumple	46,3	Cumple
	0,080 (N° 200)	4.0–7.0 (±3)	10,8	Incumple	13,6	Incumple	15,4	Incumple	11,8	Incumple
Índice de durabilidad del agregado grueso		35 % min	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	-	No aplica	0,413	Cumple
Índice de durabilidad del agregado fino		35 % min	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	-	No aplica	0,323	Incumple
Abrasión		50% máx	0,28	Cumple	0,28	Cumple	0,16	Cumple	0,16	Cumple
LL		25%	34%	Incumple	32%	Incumple	32%	Incumple	33%	Incumple
LP		6%	22%	Incumple	24%	Incumple	20%	Incumple	21%	Incumple
IP		No define	12%	No aplica	8%	No aplica	12%	No aplica	12%	No aplica
CBR (al 97% de compactación)		80% mín	82,4%	Cumple	94,4%	Cumple	-	No aplica		No aplica
Próctor Modificado	Densidad Máxima (kg/m3)	1930	-	1959	-	-	-	-	1911	-
	W óptima corregida (%)	8,9	-	10,4	-	-	-	-	10,7	-

Fuente: LanammeUCR, convenio marco R-CONV-014-2018.



Como es posible observar en la tabla anterior, los parámetros en los que el material se encuentra fuera de especificaciones es en el porcentaje pasando de la malla N°200, el índice de durabilidad del agregado fino y los límites de consistencia. No obstante, llama la atención que en el oficio MS-UTGV-OF-0223-2019 no se establezca el máximo valor del índice plástico y que se defina tan bajo el valor del límite plástico.

Respecto a la verificación del diseño de la mezcla asfáltica caliente utilizada en los proyectos, se analizaron cuatro diferentes mezclas y se verificaron con respecto al diseño de mezcla asfáltica proporcionada por el municipio identificado como Diseño de CACISA, INF- 2856-2019 (setiembre 2019), los resultados se sintetizan en la Tabla 2.

Tabla 2. Verificación del diseño Marshall de mezcla asfáltica en caliente.

Propiedad	Según Diseño (INF, 2856-2019) de CACISA		Informe I-0070-20		Informe I-0151-20					
	Límite inferior	Límite superior	M-2405-19, Calle La Eva		M 86-20, Calle Concha		M124-20, Proy. San Pedro		M 136-20, Calle Oriol	
			Resul- tado	Cumpli- miento	Resul- tado	Cumpli- miento	Resul- tado	Cumpli- miento	Resul- tado	Cumpli- miento
Contenido de Asfalto PTM (%)	5,6	6,6	5,55	Incumple	5,65	Cumple	5,69	Cumple	5,3	Incumple
Pasando el tamiz de 25,4 mm (N° 1)(%)	100	100	100	Cumple	100	Cumple	100	Cumple	100	Cumple
Pasando el tamiz de 19,1 mm (N° 3/4)(%)	100	100	100	Cumple	100	Cumple	100	Cumple	100	Cumple
Pasando el tamiz de 12,5 mm (N° 1/2)(%)	90	100	95	Cumple	98	Cumple	97	Cumple	95	Cumple
Pasando el tamiz de 9,5 mm (N° 3/8)(%)	75	85	80	Cumple	86	Incumple	85	Cumple	78	Cumple
Pasando el tamiz de 4,75 mm (N° 4)(%)	51	59	52	Cumple	54	Cumple	54	Cumple	49	Incumple
Pasando el tamiz de 2,36 mm (N° 8)(%)	30	38	34	Cumple	34	Cumple	34	Cumple	33	Cumple
Pasando el tamiz de 1,16 mm (N° 16)(%)	17	25	23	Cumple	24	Cumple	23	Cumple	24	Cumple
Pasando el tamiz de 0,6 mm (N° 30)(%)	10	18	18	Cumple	18	Cumple	17	Cumple	18	Cumple
Pasando el tamiz de 0,3 mm (N° 50)(%)	7	15	13	Cumple	14	Cumple	13	Cumple	14	Cumple
Pasando el tamiz de 0,075 mm (N° 200)(%)	3	7	6,1	Cumple	6,3	Cumple	5,8	Cumple	5,8	Cumple
Vacíos de aire Va (%)	3	5	4	Cumple	4,7	Cumple	4,4	Cumple	4,2	Cumple
Vacíos en el agregado mineral VMA (%)	14	min	14	Cumple	15	Cumple	15	Cumple	14	Cumple
Vacíos llenos de asfalto VFA (%)	65	78	72	Cumple	68	Cumple	70	Cumple	71	Cumple
Relación polvo/asfalto P/A (%)	0,6	1,3	1,4	Incumple	1,4	Incumple	1,3	Cumple	1,4	Incumple
Estabilidad Marshall (kg)	800	min	2285	Cumple	2212	Cumple	2127	Cumple	2304	Cumple
Flujo Marshall (1/100 cm)	20	35	27	Cumple	30	Cumple	29	Cumple	29	Cumple



A partir de la tabla anterior, es posible identificar que algunos parámetros de las muestras de mezcla asfáltica analizados, especificados por la Municipalidad, evidenciaron que se encuentran fuera del rango establecido; contenido de asfalto, granulometría (% pasando el tamiz de 9,5 mm; pasando el tamiz de 4,75 mm) y la relación polvo/asfalto. Por otro lado, es importante destacar que los resultados de la mezcla colocada en el proyecto de San Pedro (Informe I-0151-20) se encuentran dentro de los rangos de especificación indicados en el diseño de mezcla asfáltica.

Conclusiones

Identificar el cumplimiento o no de las especificaciones técnicas en los materiales utilizados es muy importante, pero lo es más entender cómo estos incumplimientos pueden afectar el desempeño de las obras que se ejecutan, es por esto que a continuación se presentan las posibles afectaciones.

- **Materiales granulares: Bases**

Los materiales granulares analizados incumplen con el contenido de material pasando la Malla N° 200 (contenido de finos), al respecto, para este parámetro fundamental Rondón y Reyes (2009, p. 81) afirman que: “(...) cuando la gradación es más fina la tendencia es a experimentar mayor deformación”. Además, estos autores citan a Brown y Selig (1991) los cuales concluyeron que altos contenidos de finos en materiales granulares no son recomendables por su tendencia a causar problemas hidráulicos al disminuir la permeabilidad y aumentar la posibilidad de retener agua. (Rondón y Reyes, 2009, p.81).

Es importante mencionar que las curvas granulométricas definidas en las especificaciones buscan obtener la mejor resistencia mecánica posible en virtud de que está asociada a la forma y distribución de las partículas que componen el material, por lo que su incumplimiento se asocia a la disminución de las propiedades mecánicas del material. Tal y como lo demuestran Osouli; Tutumluer y Vaughn (2018, p. iv) en su estudio, los valores del módulo resiliente del material disminuyen mientras que la deformación permanente aumenta al pasar de un contenido de finos del 5% al 12%.

Por otro lado, el material de base granular analizado posee límites de consistencia altos respecto de las especificaciones del municipio, lo cual puede tener efectos negativos en el desempeño estructural de la capa de base, pues los límites de consistencia poseen una relación directa con la capacidad del material para deformarse, que además de afectar el desempeño puede incidir en deterioros en la superficie de rudo prevista: carpeta asfáltica.

Si se consideran los lineamientos establecidos en la Sección 703.05 del Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010), en su versión actualizada y oficializada mediante el Decreto Ejecutivo DE-41286-MOPT, del 06 de junio del 2018, en el que se especifican las características con las que debe cumplir un material granular para ser utilizado como base granular, donde el límite líquido debe ser inferior a 25%, mientras que el índice plástico debe ser menor a 6 %, es posible identificar que todos los materiales analizados incumplen



con estas especificaciones del CR-2010, algunos, inclusive, duplicando el valor máximo del índice plástico.

Otro aspecto relevante es que los materiales poseen un alto contenido de finos y altos índices de plasticidad (en su mayoría de 12%), lo cual es una combinación que tiende a generar efectos negativos en el desempeño del material granular, tal y como Osouli, Erol y Brent (2018, p. iii) afirman: materiales con índices plásticos altos (de 13% en la investigación) y contenidos de finos de 12 % registran una disminución de sus propiedades mecánicas, la cual se refleja directamente en los valores de CBR.

- **Mezcla asfáltica en caliente**

El cumplimiento del porcentaje de asfalto en la mezcla es fundamental, ya que este es el material cementante que permite la formación de la matriz agregado-asfalto que proporciona la impermeabilización de la estructura del pavimento, así como aportar capacidad estructural al pavimento. Referente a esto Crespín, Cruz y Torres (2012, p.196) afirman que el contenido óptimo de asfalto está relacionado con su durabilidad, al proporcionarle al agregado una gruesa película de asfalto, evitando su envejecimiento prematuro. Por otro lado, contenidos de asfalto por debajo del óptimo, genera una disminución en la resistencia mecánica a la fatiga. (Garnica et al, 2005, p. 13)

El agregado es el principal responsable de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, al componer cerca del 95% de la misma, principalmente en Costa Rica, en donde la mayoría de mezclas asfálticas utilizadas son densas. Según Rondón y Reyes (2015, sección 2.6) las mezclas asfálticas densas se caracterizan por tener una curva granulométrica bien graduada y ser mezclas de gran calidad, en cuanto a desempeño. Dado que el comportamiento esperado de la mezcla depende directamente de una distribución granulométrica específica, el incumplir con la especificación generaría un impacto negativo en el comportamiento de la matriz asfáltica y por lo tanto en el desempeño esperado.

Por último, la mayor frecuencia de incumplimiento se observó en la relación polvo/asfalto, la cual sobrepasa ligeramente el límite máximo establecido en el diseño, la cual indica que hay mayor cantidad de área superficial de la esperada por cubrir con el contenido de asfalto, aspecto que se encuentra relacionado con el bajo contenido de asfalto evidenciado, cercano al límite inferior del contenido de asfalto óptimo, inclusive inferior al mínimo requerido. Este incumplimiento, puede ocasionar un desempeño inferior al esperado en la mezcla asfáltica.

Ante el análisis aquí mostrado, es posible identificar que el incumplimiento de especificaciones de diseño en el porcentaje de asfalto, granulometría del agregado de la mezcla asfáltica y de la relación polvo/asfalto, pueden influir en el desempeño esperado de los proyectos ejecutados.

Es importante destacar, que, aunque el material granular para todos los proyectos muestreados es de la misma fuente: Tajo San Rafael, así como todas las mezclas asfálticas analizadas son procedentes de la misma planta, la variabilidad de sus propiedades dependerá directamente del control de calidad aplicado por parte del responsable de su producción.



Recomendaciones

Es fundamental que los miembros de la UTGVM evalúen los resultados de los ensayos previamente entregados, así como el análisis aquí presentado, con el objetivo de identificar posibilidades de mejora en la ejecución, que les permita maximizar el beneficio obtenido tras las intervenciones realizadas en la red vial cantonal de Sarchí, así como validar la importancia de mantener una verificación de calidad sostenidos en el tiempo.

No se omite indicar que los resultados mencionados en este informe no representan un dictamen definitivo sobre la calidad del proyecto, se remiten para que los encargados de cada proyecto tengan un insumo sobre el orden de magnitud de los resultados de calidad de los materiales.

De parte del LanammeUCR, mantenemos nuestra disposición para seguir desarrollando labores en conjunto, que permitan una mejora continua de la gestión vial municipal de Sarchí y la calidad de vida de sus ciudadanos.

De su persona, se despide respetuosamente,

Ing. Erick Acosta Hernández

Coordinador Unidad Gestión Municipal,
PITRA-LanammeUCR

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas. MSc

Coordinadora General PITRA
LanammeUCR

Ing. Alejandro Navas Carro, MSc

Director
LanammeUCR

Cc

Ing. Sharline Lopez, encargada de convenio UGM-PITRA
Archivo UGM



Referencias bibliográficas

- Crespín, R; Cruz, I. y Torres, P. (2012) *Aplicación del método marshall y granulometría superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño*. Tesis de Doctorado en Ingenierías, Universidad de El Salvador. Recuperados de : http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1796/1/TESIS_FULL_CORR.pdf
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J. y Delgado, H. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado de: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt267.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Manual de Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes, CR-2010. Costa Rica (2017). Recuperado de: <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/4088>
- Osouli, A., Erol, T. and Brent, V. (2018). Plasticity Requirements of Aggregates Used in Pavement Base and Subbase Courses. A report of the findings of ICT PROJECT R27-157. Illinois Center for Transportation Series No. 18-018. Research Report No. FHWA-ICT-18-015. Illinois Center for Transportation, Rantoul, IL. Recuperado de: <https://apps.ict.illinois.edu/projects/getfile.asp?id=7670>
- Rondón, H y Reyes, F. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Bogotá, Colombia, Ecoe Ediciones Ltda. Recuperado de : <https://books.google.co.cr/books?id=zuwcDgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=mezcla+asf%C3%A1ltica+fredy+reyes+y+hugo+rondon&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwid9u2thKXoAhUuTt8KHdCTCjsQ6AEIjZAA#v=onepage&q=mezcla%20asf%C3%A1ltica%20fredy%20reyes%20y%20hugo%20rondon&f=false>
- Rondón, H. & Reyes, F. (2009) Deformación permanente de materiales granulares en pavimentos flexibles: estado del conocimiento. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8 (14) 71- 94- ISSN 1692-3324. Recuperado de : <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n14/v8n14a06.pdf>