



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-INF-24-14

ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN CALLE DE ACCESO A SEDE DE OCCIDENTE UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Diciembre, 2014



Documento generado con base en el Art. 6, inciso j) de la ley 8114 según la reforma aprobada en la ley 8603. Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.



Información técnica del documento

1. Informe LM-PI-GM-INF-24-14		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Alternativas de intervención calle de acceso a Sede de Occidente Universidad de Costa Rica		4. Fecha del Informe: Diciembre, 2014
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <p>El día 17 de setiembre de 2014 se realizó una visita a la calle de acceso de la Sede de Occidente, a solicitud de la Dirección de esta Sede, para inspeccionar la condición de este acceso y realizar muestreos de los materiales de subrasante y evaluar su capacidad de soporte.</p> <p>Con esta información y conteos vehiculares realizados en el sitio se procede a brindar propuestas de intervención para el mejoramiento de esta vía, mismas que son presentadas en este informe.</p>		
10. Palabras clave Sede Occidente, propuesta diseño	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 21
13. Preparado por:		
Ing. Josué Quesada Campos Unidad de Gestión Municipal Fecha: 15 / 12 / 14	Ing. José Pablo Aguiar PhD. Unidad de Materiales y Pavimentos Fecha: 15 / 12 / 14	
14. Aprobado por:		
Lic. Carlos Campos Cruz, MBA Coordinador Unidad de Gestión Municipal Fecha: 15 / 12 / 2014		

TABLA DE CONTENIDO

1 ANTECEDENTES	3
2 ALCANCES.....	4
3 DESCRIPCIÓN.....	5
4 RESULTADOS OBTENIDOS Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN.....	6
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	12
6 REFERENCIAS.....	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los conteos vehiculares.....	8
Tabla 2. Ejes equivalentes de diseño para calle de acceso a Sede de Occidente.....	9

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de acceso analizado.....	5
Figura 2. Malas condiciones en general de la calle de acceso.....	6
Figura 3. Agrietamientos del tipo cuero de lagarto en gran área del acceso.....	6
Figura 4. Sondeo en calle de acceso para evaluar material de subrasante.....	7
Figura 5. Tránsito de camiones de carga en la vía.....	9
Figura 6. Estructura propuesta para calle de acceso a Sede de Occidente, periodo de diseño de 5 años en opción de pavimento semirrígido.....	10
Figura 7. Estructura propuesta para calle de acceso a Sede de Occidente, periodo de diseño de 5 años en opción de pavimento rígido.....	10

1 ANTECEDENTES



El día 17 de Setiembre de 2014 se realizó una visita por parte de funcionarios del LanammeUCR para inspeccionar las condiciones actuales de la calle principal de acceso a la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica. Esta visita fue producto de la gestión planteada por la Licenciada Roxana Salazar quien es la Directora de dicha Sede.

Durante la visita fue posible constatar el general mal estado de la estructura de pavimento actual, mismo que está compuesto por una losa de concreto con múltiples fracturas soportado sobre una base granular con signos de contaminación de material proveniente de la subrasante.

Durante esta visita se realizaron dos sondeos en la calle de acceso que permitieron recolectar material de la subrasante para caracterizar en el laboratorio. Se realizaron ensayos de medición de la capacidad de soporte por medio del Cono Dinámico de Penetración (DCP) y posteriormente se contó con los datos de tránsito por medio de un conteo semanal ejecutado de forma manual.

Con esta información se procedió a realizar un análisis de las posibles medidas de intervención sobre este acceso y se proponen finalmente algunas estructuras de pavimento que permitirían soportar las cargas de tránsito actuales y futuras.

2 ALCANCES

La asesoría técnica brindada por el Programa de Infraestructura del Transporte a la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica comprende:

1. Inspección visual de la condición actual del acceso para identificar los daños existentes.

2. Realización de dos sondeos en la calle de acceso para recuperar material de subrasante a ser caracterizado por el laboratorio y ejecutar el ensayo con el Cono Dinámico de Penetración.
3. Análisis de los resultados de laboratorio y proponer alternativas de intervención considerando las condiciones actuales de materiales existentes y tránsito que utiliza este acceso.

3 DESCRIPCIÓN

El tramo analizado se ubica en el costado Este de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica, e inicia en la esquina noreste donde confluyen la ruta nacional 746 y la Avenida 2 de San Ramón. La longitud del tramo es de aproximadamente 120 metros (ver figura 1) y constituye el principal ingreso a este centro de enseñanza superior.



Figura 1. Ubicación de acceso analizado

Las condiciones actuales de esta calle se pueden clasificar como malas en vista de los daños y deterioros que se pueden observar. La presencia de agrietamientos severos

prácticamente en la totalidad del área son un signo claro de que esta vía necesita de una intervención mayor a nivel de reconstrucción (ver figuras 2 y 3), pues la capacidad estructural del acceso ha sido superada considerablemente.



Figura 2. Malas condiciones en general de la calle de acceso



Figura 3. Agrietamientos del tipo cuero de lagarto en gran área del acceso

4 RESULTADOS OBTENIDOS Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN

Como parte de las labores de diagnóstico previas a la realización de cálculos y propuesta de intervención fue necesario realizar dos excavaciones (sondeos) donde se recuperaron materiales de la subrasante con el fin de conocer sus propiedades y el tipo de material que soportaría la estructura propuesta. La figura 4 muestra el momento cuando se realizaron estos sondeos y el ensayo con el Cono de Penetración Dinámico.



Figura 4. Sondeo en calle de acceso para evaluar material de subrasante.

A partir de los ensayos de granulometría y límites de plasticidad cuyos resultados se muestran como anexo en el informe I-1325-14 se tiene que el suelo existente se clasifica como un Limo de alta plasticidad (MH). Este tipo de suelos usualmente no presentan una gran capacidad de soporte, lo que los hace susceptibles a deformaciones ante cargas de tránsito, especialmente en condiciones de humedad.

Para comprobar de forma directa la capacidad de soporte real de este suelo se realizó el ensayo con el Cono Dinámico de Penetración. Con este instrumento es posible estimar la capacidad de soporte del suelo expresado por medio del índice CBR.

En el anexo se muestran los resultados de este ensayo. En general, se puede concluir que el valor de CBR obtenido en sitio fue cercano a 5,5. Esto es acorde para el tipo de suelo

existente. Esta condición de baja capacidad de soporte tendrá repercusiones al momento de plantear las alternativas de intervención (estructuras con mayor espesor) pues será la estructura de pavimento propuesta la que deba soportar la mayor parte de estas cargas ante estas características de baja capacidad del suelo, mismas que explican la condición actual de deterioro de la calle de acceso.

El siguiente paso en el proceso fue la medición del tránsito que utiliza esta calle de acceso, para esto se llevo a cabo un conteo vehicular manual en la entrada de la Sede de Occidente. Al procesar los datos recolectados se tienen los siguientes volúmenes vehiculares:

Tabla 1. Resultados de los conteos vehiculares

Conteo	Día	Vehículos contados	% Motos	% livianos	% C2,C2+ C2 bus	% C3	% T3_S2	% Pesados
1	Lunes	603	0	56,1	3,0	38,1	2,8	43,9
2	Martes	793	0	58,1	5,3	35,4	1,1	41,9
3	Miércoles	616	0	67,9	7,1	24,2	0,8	32,1
4	Jueves	612	0	48,7	9,2	36,8	5,4	51,3
5	Viernes	499	0	51,9	6,4	40,3	1,4	48,1

Tal como puede observarse, la mayoría de los vehículos que utilizan esta calle son livianos, aunque existe un porcentaje importante de vehículos de carga similares a los mostrados en la figura 5. Esto finalmente hace que la proporción de vehículos pesados de este tipo sea considerable, lo cual se verá reflejado en el cálculo de los Ejes equivalentes de diseño.

La tabla 2 muestra las estimaciones de Ejes equivalentes de diseño para periodos de 1 año, 5 años, 10 años y 15 años, los cuales se tomarán como punto de partida para la generación de las alternativas de intervención propuestas para esta calle.



Figura 5. Tránsito de camiones de carga en la vía.

Tabla 2. Ejes equivalentes de diseño para calle de acceso a Sede de Occidente

ESAL 1Año	ESAL 5 años	ESAL 10 años	ESAL 15 años
263.654,8	1.344.904,5	2.758.412,6	4.244.023,8

Conociendo los volúmenes de tránsito y las condiciones del suelo es posible aplicar la metodología de diseño de pavimentos AASHTO 93 utilizando un nivel de confianza del 80%. La cual finalmente permite estimar los espesores de material a colocar para las condiciones estimadas de volumen vehicular.

Como parte del proceso se evaluaron diferentes combinaciones de posibles materiales, utilizando base granular, base estabilizada, subbase granular, mezcla asfáltica y concreto para diferentes periodos de análisis.

Se considera que un periodo de diseño de 5 ó 10 años sería el correcto en vista de la forma en que fue evaluado el tránsito en la vía (incertidumbre de crecimiento vehicular). Un periodo mayor tendría mucha incertidumbre y aumentaría los costos considerablemente. Por eso se presentan las opciones que se considera ofrecen más ventajas para la Dirección de la Sede y cumplirían con las exigencias estimadas.

Se presentan a continuación las estructuras que serían recomendadas a aplicar en el caso de esta calle de acceso, la decisión sobre cual estructura utilizar debería basarse finalmente en una comparación económica entre ambas.

Periodo de diseño 5 años: Para esta condición de tránsito (1.344.904 ejes equivalentes) se proponen las siguientes alternativas de intervención usando base estabilizada y mezcla asfáltica (figura 6), o bien, una losa de concreto sobre una base estabilizada (figura 7).

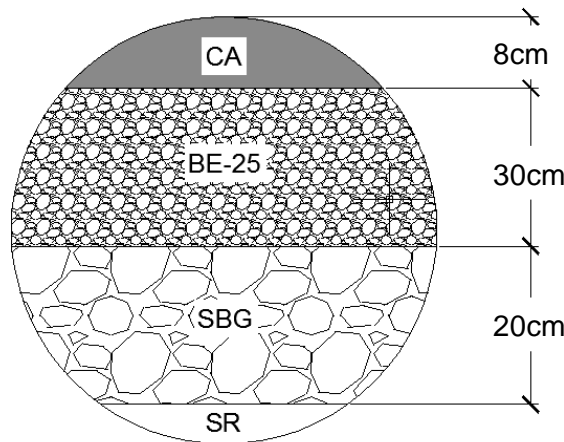


Figura 6. Estructura propuesta para calle de acceso a Sede de Occidente, periodo de diseño de 5 años en opción de pavimento semirrígido.

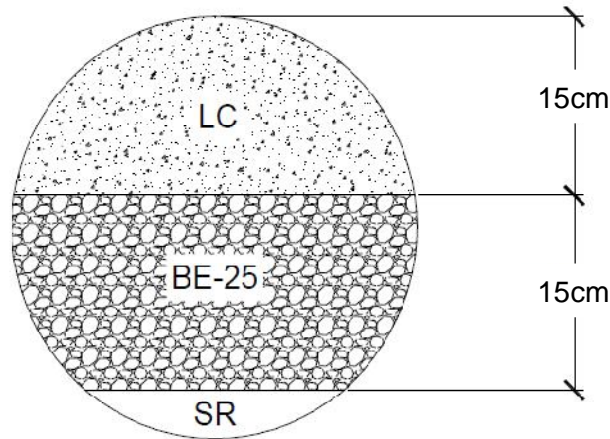


Figura 7. Estructura propuesta para calle de acceso a Sede de Occidente, periodo de diseño de 5 años en opción de pavimento rígido.

Periodo de diseño 10 años: Para esta condición de tránsito (2.758.412 ejes equivalentes) se proponen las siguientes alternativas de intervención usando base estabilizada y mezcla asfáltica (figura 8), o bien, una losa de concreto sobre una base estabilizada (figura 9).

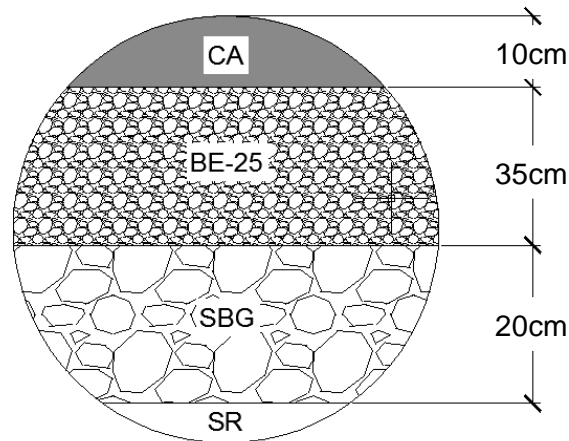


Figura 8. Estructura propuesta para calle de acceso a Sede de Occidente, periodo de diseño de 10 años en opción de pavimento semirrígido.

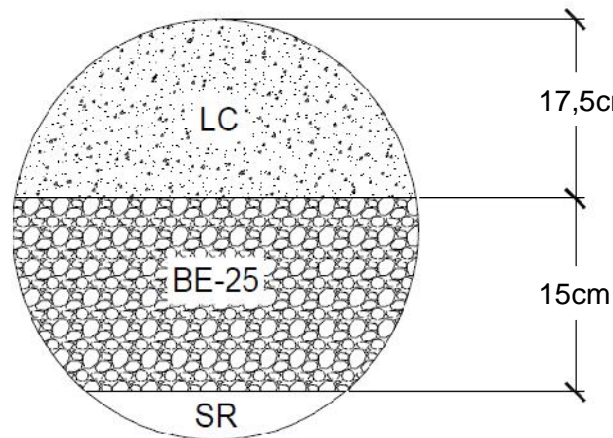


Figura 9. Estructura propuesta para calle de acceso a Sede de Occidente, periodo de diseño de 10 años en opción de pavimento rígido.

Evidentemente una mayor cantidad de tránsito implica estructuras más robustas, tal como puede apreciarse al comparar las estructuras propuestas (figuras 6 a 10). La base estabilizada propuesta corresponde a la especificación BE-25 establecida en el CR-2010.

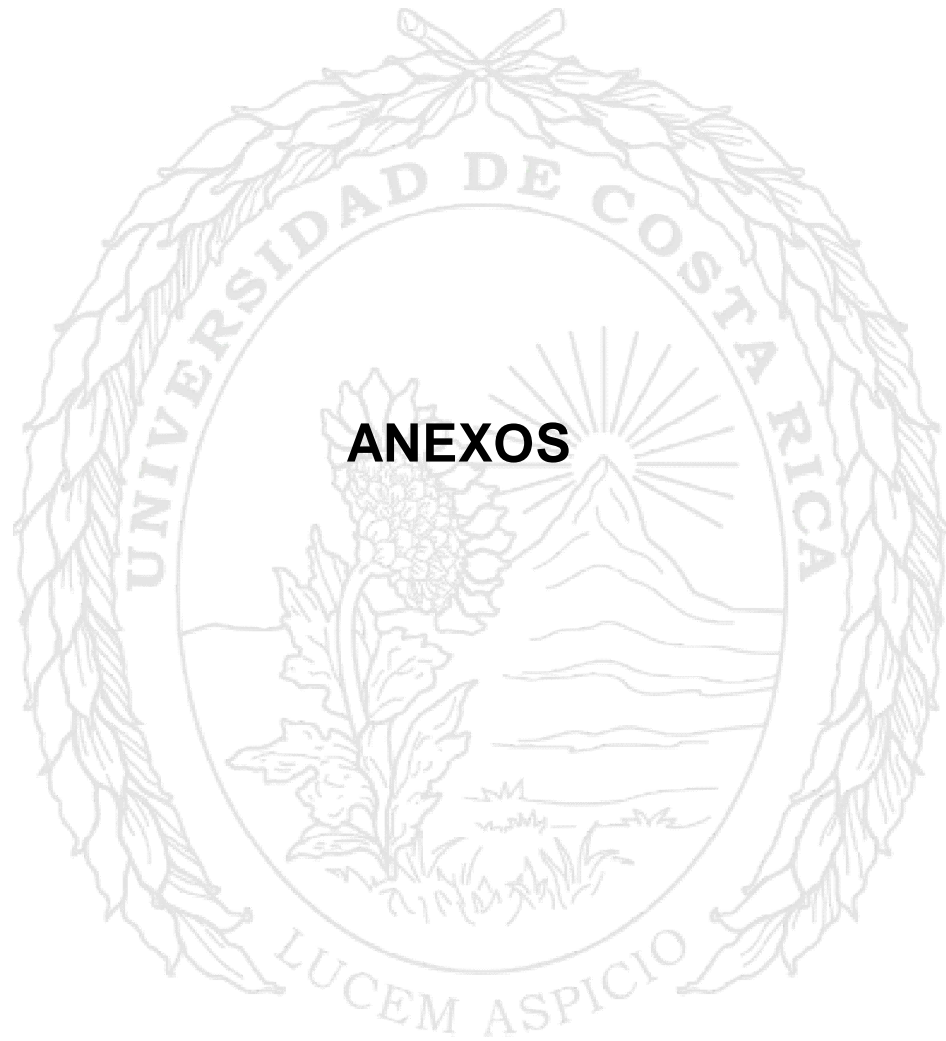
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La condición actual del acceso a la Sede de Occidente es considerada como mala, existen deterioros graves del tipo agrietamiento longitudinal, transversal y de durabilidad en un amplio porcentaje de la superficie.
- La intervención propuesta es una reconstrucción de la estructura de pavimento, pues cualquier medida de mantenimiento o preservación sobre la estructura actual sería una inversión inadecuada pues tendría poco impacto en el mejoramiento de la calle.
- El suelo sobre el cual se debe soportar la estructura de pavimento es un limo de alta plasticidad, lo cual implica que no es un material de buena capacidad de soporte, razón por la cual las estructuras propuestas son de espesores importantes.
- Las estructuras planteadas corresponden al resultado del cálculo de espesores tomando como punto de partida el tipo de suelo existente y el tránsito que se logró medir durante una semana representativa.
- En vista de la relativa poca diferencia entre las estructuras propuestas para un periodo de diseño de 5 años y las de 10 años se recomienda implementar las alternativas a 10 años.
- La elección sobre utilizar una estructura con pavimento asfáltico o una estructura con losa de concreto dependerá de un análisis económico que debe ser realizado por la Sede de Occidente a la luz de sus capacidades financieras.

-----UL-----

6 REFERENCIAS

MOPT. (2009). *Manual de Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010*. San Jose.





Informe de Ensayo

RC-80 v.05 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST- 1113 -14

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal (Ing. Eliecer Arias).
Proyecto: Asesoría y diseño de calle de acceso Sede Occidente UCR.
Domicilio: 400 metros norte de Muñoz y Nanne, San Pedro, Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

IT-GC-01 (ASTM D 422) (**)
Método de ensayo para el análisis de tamaño de partículas de suelo (vía seca y húmeda).
IT-GC-04 (ASTM D 854) (*)
Procedimiento para determinar la gravedad específica del suelo mediante un picnómetro con agua.
IT-GC-05 (ASTM D 4318) (*)
Procedimiento para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.

(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr
(**) Ensayo no acreditado.

3. Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

No. de identificación:	Descripción:
2074-14	2 Bolsas con suelo. Suelo limo-arcilloso, color café oscuro, combinado con suelo semicompacto, arcilloso, color café claro y vetas grisáceas con pigmentos amarillentos, posee roca semicompacta no mayor a 25,4 mm de tamaño máximo.
2075-14	1 Bolsa con suelo. Suelo arcilloso, color café claro rojizo combinado, con vetas de suelo arcilloso color grisáceo y pigmentos blancos y negros, con presencia de roca semicompacta no mayor a 25,4 mm de diámetro.

Página 1 de 4

Dirección: 500 metros al Norte del Supermercado Muñoz y Nanne. Finca 2, Universidad de Costa Rica.
Apartado: 11501-2060 San Pedro, Montes de Oca, San José, Costa Rica.
Teléfono: 2511-2500 Fax: 2511-4440 Email: direccion.lanamme@ucr.ac.cr
www.lanamme.ucr.ac.cr



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

No. de informe: I-1325-14



Aportadas por: Ing. Josué Quesada.

Fecha de recepción : 14/09/17

Fecha de realización del ensayo: 14/11/12-14/11/24

4. Información del muestreo:

Fecha de muestreo: 14/09/17

Ubicación: Muestra: 2074-14.
Ubicación: Calle de acceso a la Sede de Occidente de la
Universidad de Costa Rica, San Ramón.

Muestra: 2075-14
Ubicación: Pista de atletismo Sede de Occidente de la
Universidad de Costa Rica, San Ramón.

Procedimiento de muestreo:

Muestreo de agregado realizado por la Unidad de Gestión Municipal de acuerdo a la norma ASTM D-75. Personal responsable de las muestras: Ing. Josué Quesada.

Condiciones ambientales: No aplica pues en el laboratorio los especímenes se acondicionan, en el cuarto húmedo.

5. Resultados:

Tabla 1. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo. Muestras Indicadas.

MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD
2074-14	66	36	29
2075-14	77	41	38

Nota:

- Las muestras fueron acondicionadas por el método de preparación seco.
- Procedimiento por el cual fue determinado el límite líquido, es por el método A, método multipunto.

No. de informe: I-1325-14

Tabla 2. Gravedad específica del suelo. Muestras Indicadas.

MUESTRA	MÉTODO	GT	GS
2074-14	A	2,690	2,688
2075-14	A	2,740	2,738

Tabla 3. Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 2075-14.

MASA INICIAL: 908 g MASA FINAL: 225 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	9,46	1,04	1,04	99,0
3/8"	9,50	11,8	1,30	2,34	97,7
N° 4	4,75	20,9	2,30	4,64	95,4
N° 10	2,00	29,7	3,27	7,91	92,1
N° 20	0,85	32,9	3,63	11,5	88,5
N° 40	0,43	28,3	2,90	14,4	85,6
N°60	0,25	22,5	2,48	16,9	83,1
N°100	0,15	24,6	2,70	19,6	80,4
N°140	0,11	19,3	2,13	21,7	78,3
N°200	0,08	27,1	2,98	24,7	75,3

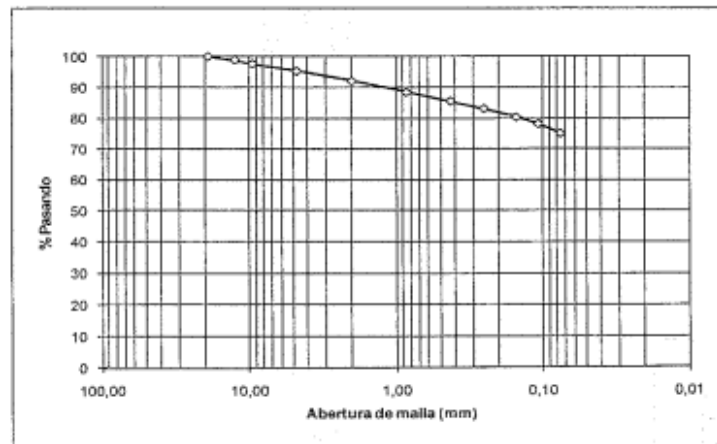
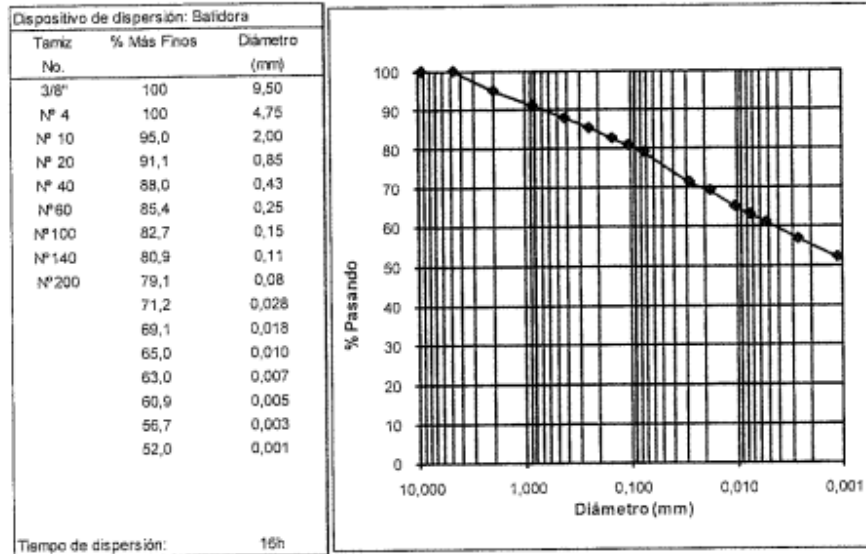


Gráfico 1. Curva granulométrica: muestra 2075-14.

Tabla 4. Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 2075-14.



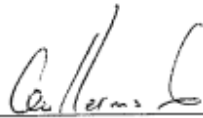
Nota:

- El ensayo del hidrómetro es realizado para todas las muestras con material pasando el tamiz Nº 10.

Aclaraciones:

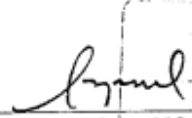
- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Revisó:



Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D.
Coordinador General de Laboratorios

Aprobó:



Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

HOJA DE CÁLCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTO FLEXIBLE			
NOMBRE PROYECTO	Ruta entrada a sede de Occidente		
UBICACIÓN PROYECTO			
Ecuación de Diseño AASHTO 93 pavimentos flexibles			
$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (1)$			
Paso 1 Cálculo del SN			
Parámetros de entrada			
Ejes equivalentes	W ₁₈	1,345,000.00	Del cálculo de tránsito
CBR subrasante	CBR	5,50%	De estudio de suelos
Confiabilidad	R	80%	De Tabla 2.2 Sección 2.1.3 (Pag II-9) o recomendación MOPT
Índice de servicio inicial	p ₀	4,2	Ver Sección 2.2.1 (Pag II-10)
Índice de servicio al final	p _t	2,5	Ver Sección 2.2.1 (Pag II-10) o recomendación MOPT
Desviación normal estándar	Z _R	-0,841621234	De acuerdo con tabla 4.1 Sección 4.2.3 (Pag I-62)
Desviación estándar general	S ₀	0,45	De acuerdo con Sección 2.1.3 (Pag II-9 y II-10)
Módulo de resiliencia de la subrasante	M _{ref}	8250,00 psi	Calculado con Ec. 1.5.1 Sección 1.5 (Pag I-14) y tablas μf
Módulo de resiliencia de la base	E _{BS}	625000,00 psi	De memoria de cálculo de E _B o nomograma en Fig 2.6 (Pag II-19)
Módulo de resiliencia de la subbase	E _{SB}	14500,00 psi	De memoria de cálculo de E _{SB} o nomograma en Fig 2.7 (Pag II-21)
Diferencia de índices de servicio	ΔPSI	1,7	
Valor de precisión solver al igualar a 0	-0,000103399		
Cálculo de SN	3,263	Valor de solver con ecuación (1) igualada a 0	
Paso 2 Diseño de espesores de capa			
		$D^* \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (3)$	$SN^* \geq a_2 m_2 D^* \quad (6)$
$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (2)$		$SN^* = a_1 D^* \geq SN_1 \quad (4)$	$SN^* + SN^* \geq SN_2 \quad (7)$
		$D^* \geq \frac{SN_2 - SN^*}{a_2 m_2} \quad (5)$	$D^* \geq \frac{SN_3 - (SN^* + SN^*)}{a_3 m_3} \quad (8)$
$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN_1 + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN_1 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(E_B) - 8.07 \quad (9)$			
$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN_2 + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN_2 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(E_{SB}) - 8.07 \quad (10)$			
$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN_3 + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN_3 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (11)$			
Valor de precisión solver al igualar a 0	0,000750296		
Cálculo de SN1 (CARPETA)	0,388	De (9) → De nomograma	
a1	0,144	6,84 cm	
D1 min de ec (4)	2,694 *	8 cm	CARPETA ASFÁLTICA
D1* (utilizado)	3,150 *		
SN1* de ec (5)	0,454		
Valor de precisión solver al igualar a 0	9,77174E-12		
Cálculo de SN2 (BASE)	2,627	De (10) → Para BG de Figura 2.6 (Pag II-19) para BE Figura 2.8 (Pag II-23)	
a2	0,170	De Tabla 2.4 (Pag II-25)	
m2	1,00	32,47 cm	
D2 min de ec (6)	12,783 *	30 cm	BASE GRANULAR
D2* (utilizado)	11,811 *		
SN2* de ec (7)	2,008		
SN1*+SN2* de ec (8)	2,46 >	2,627 ok	
SN3 (SUBBASE)	3,263	De (11) o (1) → De ecuación o de Figura 2.7 (Pag II-21)	
a3	0,105	De Tabla 2.4 (Pag II-25)	
m3	1,00	19,39 cm	
D3 min de ec (8)	7,634	20 cm	SUBBASE GRANULAR
D3* utilizado	7,874 *		

HOJA DE CÁLCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTO RÍGIDO	
NOMBRE PROYECTO	Sede occidente
UBICACIÓN PROYECTO	

DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_T) \times \log \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c / k)^{0.25}} \right]} \right) \quad (1)$$

CELDA A LLENAR
CELDA OBJETIVO

Parámetros de entrada

Ejes equivalentes	W_{18}	2.758.412,56	
Confiabilidad	R	50%	Seleccionar utilizando Tabla 2.2 Sección 2.1.3 (Pag II-9)
Desviación normal estándar	Z_R	0	De acuerdo con tabla 4.1 Sección 4.2.3 (Pag I-62)
Índice de servicio inicial	p_0	4,5	Ver Sección 2.2.1 (Pag II-10)
Índice de servicio al final	p_f	3	
Diferencia de índices de servicio	ΔPSI	1,5	
Desviación estándar general	S_0	0,35	De acuerdo con Sección 2.1.3 (Pag II-9 y II-10) y Pag I-62
Módulo de ruptura del concreto especificado	S_c	40 569,03	kg/cm ² psi
% Nucleos aceptables debajo de S_c permitido		5%	
Desviación estándar SD de S_c	SD	2,00 28,45	kg/cm ² psi
z		1,645	
Módulo de ruptura del concreto promedio	S'_c	43,29 615,83	kg/cm ² psi
Resistencia a la compresión de concreto	f'_c	329 4.682	kg/cm ² psi
Módulo de elasticidad	E_c	3.900.281,55	psi
Coefficiente de escorrentía	C_d	1,0	De acuerdo con Tabla 2.5 (Pag II-26)
Coefficiente transferencia de carga	J	3,2	De acuerdo con Sección 2.4.2 (Pag II-25 y II-26)
MR de subrasante época seca	$M_{r_{seca}}$	9.139,68	psi
MR de subrasante época lluviosa	$M_{r_{lluviosa}}$	3.998,61	psi
Módulo de elasticidad de base estabilizada	E_{BE}	625.000,00	psi

Espesores propuestos y espesor de suelo a roca

Espesor de losa propuesto	D^*	35,00	cm	Valor real de espesor de losa seleccionado
		13,78	inch	
Espesor de base estabilizada propuesto	D_{BE}	15,00	cm	Valor de espesor de subrasante
		5,91	inch	
Espesor de suelo a roca	D_{SG}		m	Dejar en blanco si no hay estrato de roca cercano
			inch	

Cálculo de módulo de reacción corregido

Módulo reacción subrasante época seca	k_{∞} (seca)	398,89	pci	
Módulo reacción subrasante época lluviosa	k_{∞} (lluviosa)	790,98	pci	
Daño relativo promedio	M_r prom	295,96	(%)	
Pérdida de soporte	LS	1		De hoja de cálculo de k y LS-kc
Módulo de subrasante k corregido	k_c	275,97	psi	De hoja de cálculo de k y LS-kc

Solución de ecuación 1 con solver para encontrar D

Cálculo de espesor de losa requerido	D	6,90	inch	Espesor mínimo requerido
		17,52	cm	

ESPEORES FINALES DE DISEÑO

Espesor de losa de concreto	D	17,5	cm
Espesor de base estabilizada	D_{BE}	15	cm