

L A N A M M E



P I T R A

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES
Y MODELOS ESTRUCTURALES**

PROYECTO:

AMPLIACIÓN CALLE DE ACCESO AL LANAMME

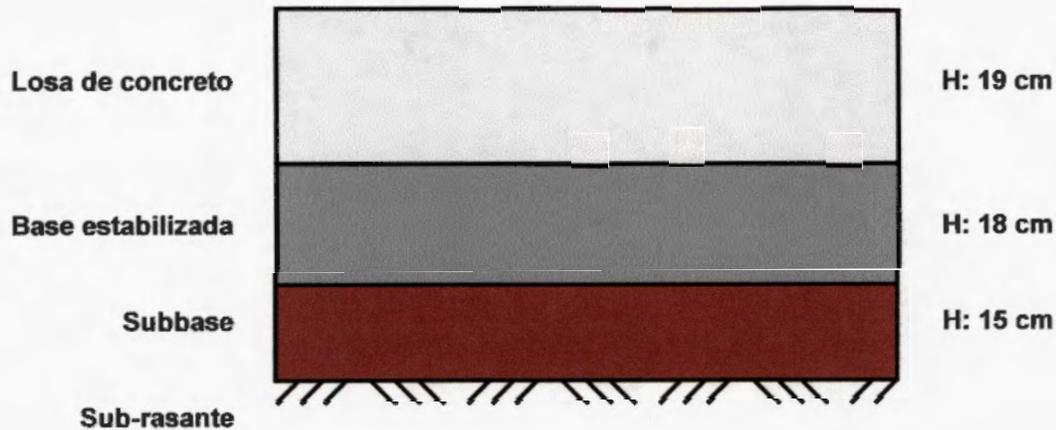
Agosto, 2001.

PROYECTO:

AMPLIACIÓN CALLE DE ACCESO AL LANAMME

PAVIMENTO A CONSTRUIR

A continuación se muestra un esquema del perfil del pavimento a construir.



Propiedades de los materiales:

1. Losa de concreto.

La losa de concreto tiene un espesor de 19 cm y con una resistencia mínima a los 28 días de 275 kg/cm^2 .

2. Base estabilizada.

La base estabilizada tiene un espesor de 18 cm y con una resistencia mínima a los 7 días de 40 kg/cm^2 .

3. Subbase

La subbase tiene un espesor de 15 cm.

4. Sub-rasante

Corresponde al material existente a 52 cm por debajo del nivel de rasante.

ANÁLISIS DEL PAVIMENTO

Para verificar la resistencia de la estructura de pavimento expuesta anteriormente, se realizan los siguientes pasos:

Paso 1: Determinación del módulo de reacción en la subbase

Se tiene para el material de sub-rasante un CBR de 2.5%, el cual corresponde a la condición saturada (condición más crítica); ver anexos, ensayos de campo. El resultado anterior se obtiene después de comparar los valores de CBR para los 3 sondeos realizados (ver anexos, perfil del terreno).

En la siguiente tabla se muestran los resultados:

Tabla N°1: Módulo de reacción en la subbase

Parámetro	Resultado	Unidades
Módulo resiliente de la sub-rasante	3750	psi
Módulo resiliente de la subbase	16000	psi
Espesor de la subbase	15	cm
Módulo de reacción de la subbase	200	pci

Paso 2: Determinación del módulo de reacción en la base estabilizada

Partiendo de la resistencia a compresión de la base estabilizada de 40 kg/cm² a los 7 días, se obtiene el módulo de reacción.

Además, para una base con esta resistencia corresponde a un módulo resiliente de 600000 psi. En la siguiente tabla se muestran los cálculos y resultados para determinar el módulo de reacción en la base estabilizada.

Tabla N°2: Módulo de reacción en la base estabilizada

Parámetro	Resultado	Unidades
Módulo de reacción en la subbase	200	pci
CBR equivalente de la subbase y sub-rasante	10	%
Módulo resiliente equivalente de subbase y sub-rasante	9000	psi
Módulo resiliente de la base estabilizada	600000	psi
Espesor base estabilizada	18	cm
Módulo de reacción en la base estabilizada	850	pci

Paso 3: Cálculo de los esfuerzos aplicados en la losa

Para este caso se analizaron 2 escenarios:

1. Carga eje simple: este caso corresponde a una carga de 10 toneladas en el eje.
2. Carga eje tándem: este caso corresponde a una carga de 16 toneladas en el eje.

Modelo de análisis

Se usó el modelo elástico de Westergard y se determinó el esfuerzo crítico de tensión aplicando carga en el centro, borde y en la esquina de la losa.

Paso 4: Dimensionamiento de la losa y análisis de capacidad a fatiga

Analizadas las 3 condiciones de carga anteriormente indicadas, se obtiene como condición más crítica la carga de borde.

En las tablas N°3 y N°4 se resumen los resultados de este análisis:

Tabla N°4: Esfuerzo en la losa, para escenario 2.

Edge Loading	
Datos por ingresar	
Módulo de elasticidad del concreto, E:	4000000 psi
Módulo de Poisson, ν :	0.150
Carga aplicada, P:	11000 lb
Radio de contacto, a:	6 in
Espesor de la losa, h:	7.48 in
Módulo de reacción de la subrasante, k:	850 pci
Resultado: Solución según Westergard(1926):	
Radio de rigidez relativo, I:	20.24 in
Esfuerzo en el borde de la losa bajo una carga de área circular, σ_e :	359.2 psi
Deflexión en el borde de la losa debido a una carga de área circular, Δ_e :	0.0103 in

Tabla N°4: Esfuerzo en la losa, para escenario 2.

Edge Loading	
Datos por ingresar	
Módulo de elasticidad del concreto, E:	4000000 psi
Módulo de Poisson, ν :	0.150
Carga aplicada, P:	17500 lb
Radio de contacto, a:	9 in
Espesor de la losa, h:	7.48 in
Módulo de reacción de la subrasante, k:	850 pci
Resultado: Solución según Westergard(1926):	
Radio de rigidez relativo, l:	20.24 in
Esfuerzo en el borde de la losa bajo una carga de área circular, σ_e :	419.4 psi
Deflexión en el borde de la losa debido a una carga de área circular, Δe :	0.0138 in

Con base en los resultados de las tablas N°3 y N°4 se obtiene la capacidad a fatiga para las dos condiciones de carga (eje simple, eje tándem) antes señaladas. En la tabla N°5 se resumen los esfuerzos críticos de diseño y la capacidad a fatiga en términos de las repeticiones permisibles.

Tabla N°5: Esfuerzos en la losa y capacidad a fatiga

Escenario	Radio de contacto (cm)	Esfuerzo aplicado (kg/cm ²)	Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)	$\sigma_{\text{Aplicado}}/\sigma_{\text{Rotura}}$	Número de pasada permisibles
		σ_{Aplicado}	σ_{Rotura}		
1	15.24	25.3	40	0.63	14000
2	22.86	29.5	40	0.74	650

Paso 5: Cálculo del porcentaje de cemento para la base estabilizada

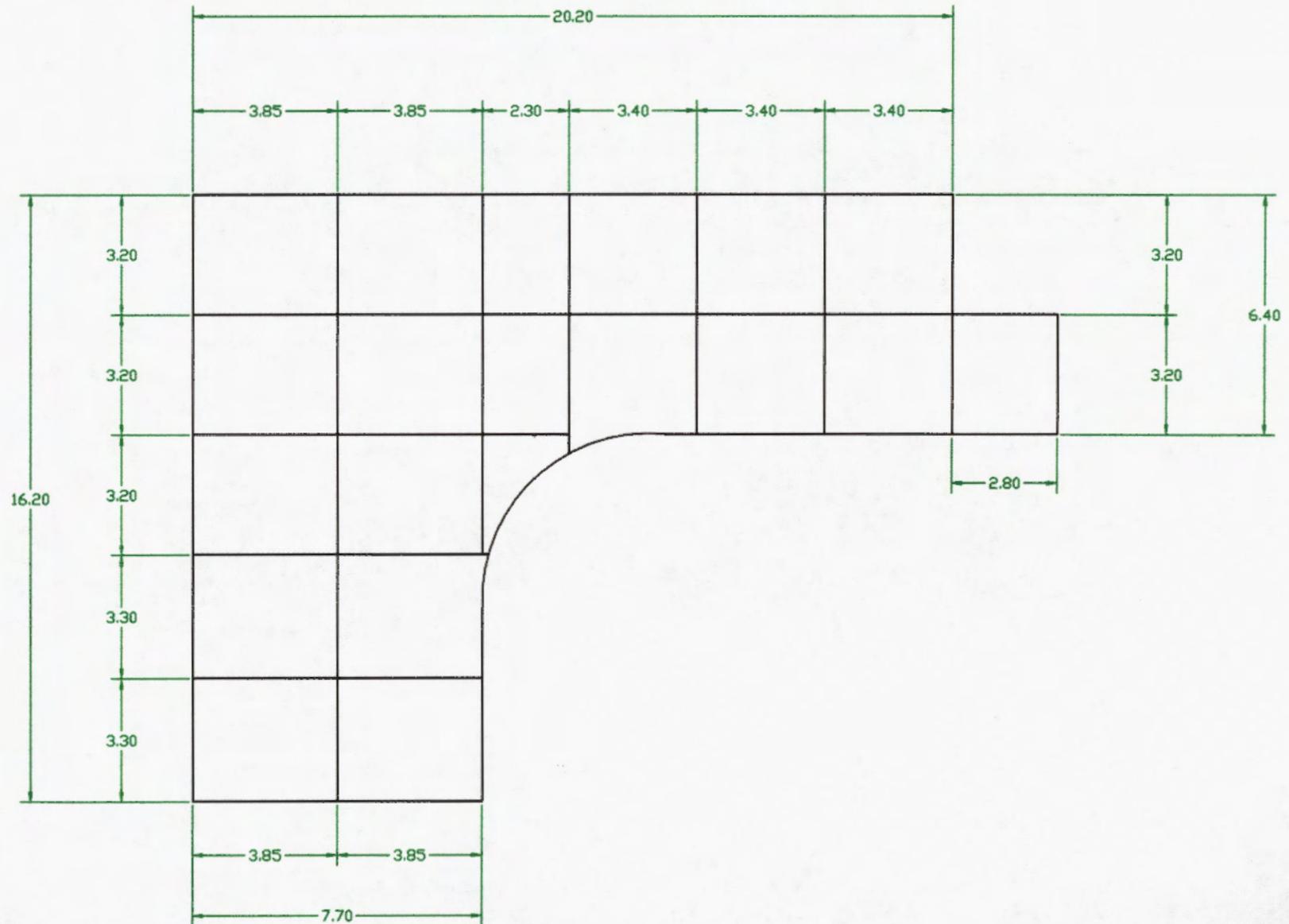
Con base en los resultados de laboratorio (ver anexo, resultados de laboratorio), de la curva resistencia a la compresión a los 7 días vrs % de cemento, se concluye que con menos del 4% de cemento se alcanza la resistencia de 40 kg/cm², sin embargo esto es bajo condiciones de laboratorio y con una compactación del 100%.

A partir de lo anterior, se recomienda utilizar 4.5% cemento para la elaboración de la base estabilizada, considerando una compactación en sitio del 95%.

RECOMENDACIONES

1. Las juntas de las losas deben quedar totalmente selladas.
2. Todos los materiales deben cumplir las especificaciones del CR-77, excepto la base estabilizada que debe compactarse al 95% del Proctor Modificado.
3. Si al momento de la excavación se detecta material blando en la sub-rasante, este debe sustituirse por un material con CBR mayor a 5%.

Proyecto: Ampliación LANAMME (distribución de losas)

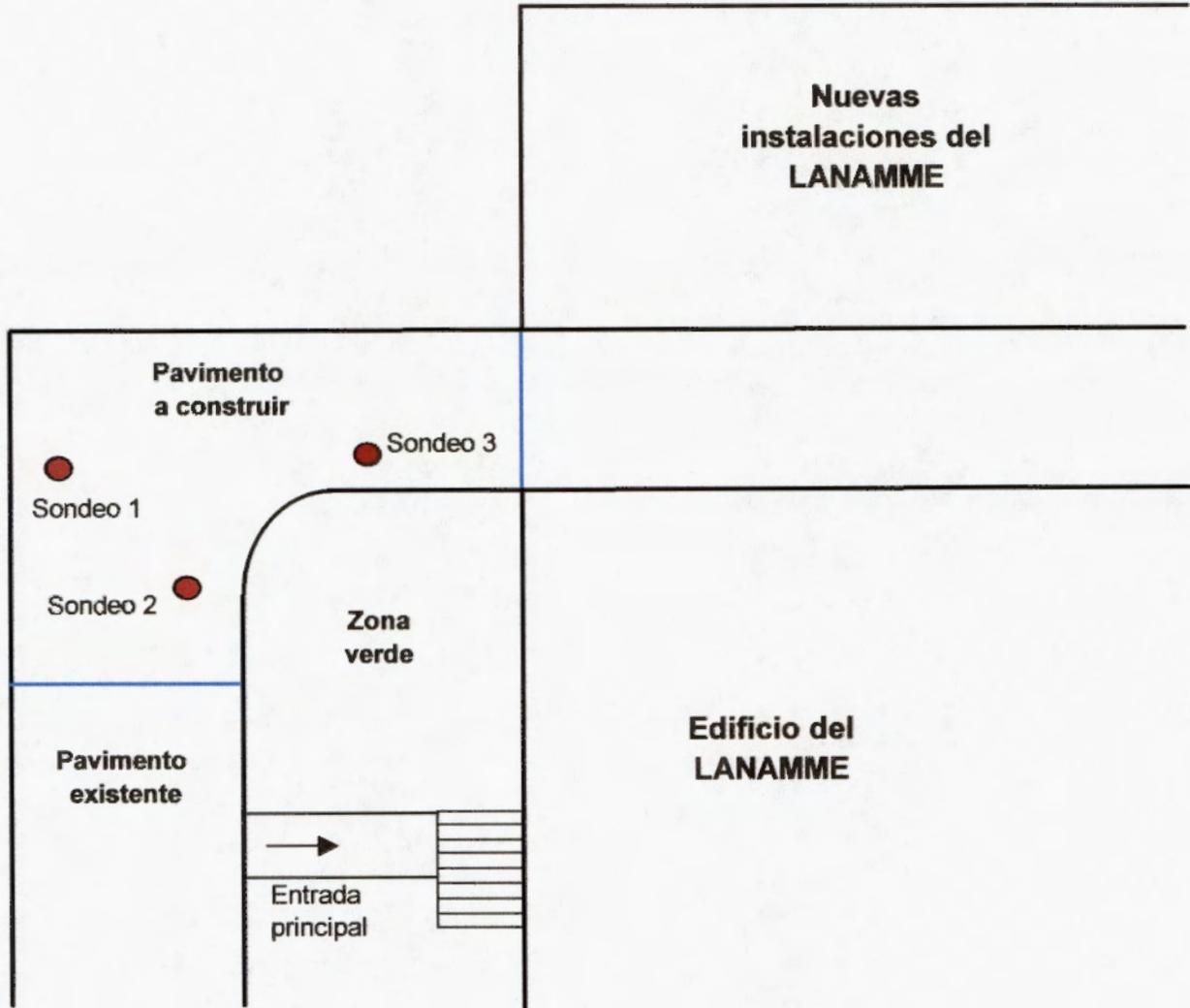


ANEXOS

PERFIL DEL TERRENO

CROQUIS DEL SITIO DE MUESTREO

Proyecto: Ampliación LANAMME.
Fecha: 19-07-2001.

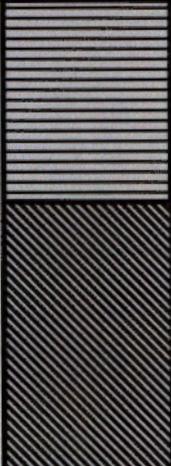


LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

PROYECTO: Ampliación del LANAMME

UBICACIÓN: Sondeo N°1, ubicado frente a las instalaciones del LANAMME

FECHA DE MUESTREO: 19/07/01

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
 45	Base	Material existente en la superficie. Lastre color rojizo, con espesor variable, de 10 cm hasta 45 cm (ver hoja adjunta).
	Subrasante	Descripción visual: material limo arcilloso de plasticidad media, con betas de arcilla de color gris claro. Material de color café claro. Límites de Atterberg LL: 39.5 LP: 24.0 IP: 15.4

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

PROYECTO: Ampliación del LANAMME

UBICACIÓN: Sondeo N°2, ubicado frente a las instalaciones del LANAMME

FECHA DE MUESTREO: 19/07/01

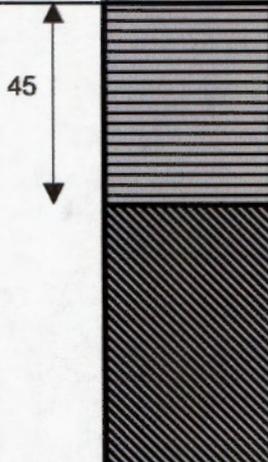
ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
 30	Base	Material existente en la superficie. Lastre color gris, con espesor constante y bien compactado.
	Subrasante	Descripción visual: material limo arcilloso de plasticidad media. Material color café claro. Límites de Atterberg LL: 37.3 LP: 21.8 IP: 15.5

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

PROYECTO: Ampliación del LANAMME

UBICACIÓN: Sondeo N°3, ubicado frente a las instalaciones del LANAMME

FECHA DE MUESTREO: 19/07/01

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
 <p style="text-align: center;">45</p>	Base	Material existente en la superficie. Lastre color rojizo.
	Subrasante	<p>Descripción visual: material limo arcilloso de plasticidad media a baja.</p> <p>Límites de Atterberg LL: 46.7 LP: 32.1 IP: 14.6</p>

ENSAYOS DE CAMPO

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
RESULTADOS DE CBR EN SITO

PROYECTO: AMPLIACION LANAMME

FECHA: 19 julio 2001

Responsable: Tracy Gutiérrez Ruiz

Referencia: Frente a instalaciones del LANAMME

Sondeo: N°1

Tabla N°1: Resultados de CBR no saturado en la subrasante

Medición	Lectura del anillo (div)	CBR (%) (no saturado)
1	140	2.9
2	150	3.2
3	170	3.7
4	210	5.1
5	220	5.5
6	240	6.3
7	250	6.8
8	260	7.3

Tabla N°2: Resultados de CBR saturado en la subrasante

Medición	Lectura del anillo (div)	CBR (%) (saturado)
1	90	2.4
2	90	2.4
3	96	2.5
4	96	2.5
5	128	2.7
6	138	2.9

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
RESULTADOS DE CBR EN SITO**

PROYECTO: AMPLIACION LANAMME

FECHA: 19 julio 2001

Responsable: Tracy Gutiérrez Ruiz

Referencia: Frente a instalaciones del LANAMME

Sondeo: N°2

Tabla N°1: Resultados de CBR no saturado en la subrasante

Medición	Lectura del anillo (div)	CBR (%) (no saturado)
1	160	3.4
2	170	3.7
3	180	4.0
4	190	4.3
5	200	4.7
6	210	5.1
7	210	5.1
8	210	5.1
9	215	5.3
10	220	5.5

Tabla N°2: Resultados de CBR saturado en la subrasante

Medición	Lectura del anillo (div)	CBR (%) (saturado)
1	110	2.5
2	118	2.6
3	128	2.7
4	130	2.8
5	165	3.5
6	165	3.5
7	166	3.6
8	210	5.1

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
RESULTADOS DE CBR EN SITO

PROYECTO: AMPLIACION LANAMME

FECHA: 20 julio 2001

Responsable: Tracy Gutiérrez Ruiz

Referencia: Frente a instalaciones del LANAMME

Sondeo: N°3

Tabla N°1: Resultados de CBR no saturado en la subrasante

Medición	Lectura del anillo (div)	CBR (%) (no saturado)
1	100	2.5
2	100	2.5
3	100	2.5
4	130	2.8
5	130	2.8
6	180	4.0
7	210	5.1

Tabla N°2: Resultados de CBR saturado en la subrasante

Medición	Lectura del anillo (div)	CBR (%) (saturado)
1	38	3.1
2	48	2.9
3	60	2.7
4	71	2.5
5	72	2.5
6	90	2.4
7	120	2.6
8	130	2.8
9	130	2.8
10	180	4.0

**RESULTADOS DE
LABORATORIO**

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PARAMETROS DE SUELOS

LIMITE DE ATTERBERG
 ASTM D 423, ASTM D 424 Y AASHTO T 89-94, AASHTO T 9094

FECHA 27 de julio del 2001

PROYECTO PROYECTO AMPLIACION LANAMME

MUESTRA N° 5313
 UBICACION LANAMME
 DESCRIPCION Limo arcilloso café oscuro
 Subrasante
 Sondeo #1 en sitio

CONTRATISTA

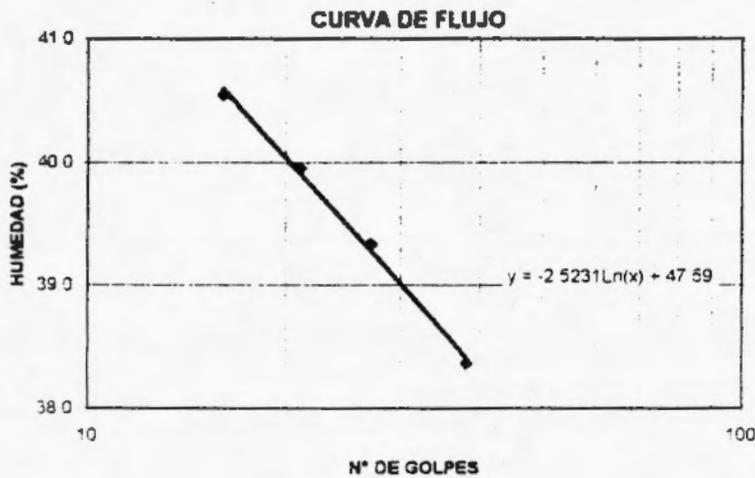
LIMITE LIQUIDO

DETERMINACION No	1	2	3	4
No DE GOLPES	38	27	21	16
Wc + W _{wr} (g)	43.839	41.410	40.849	41.484
Wc + W _s (g)	37.683	36.009	35.296	35.903
W _{wr}	6.156	5.401	5.553	5.591
Wc	21.637	22.277	21.396	22.113
W _s	16.046	13.732	13.900	13.790
% W	38.4	39.3	39.9	40.5

LIMITE PLASTICO

DETERMINACION No	1	2	3
RECIPIENTE No	22	6	1
Wc + W _{wr} (g)	9.581	9.477	9.446
Wc + W _s (g)	9.105	8.992	8.952
W _{wr}	0.476	0.485	0.494
Wc	7.125	6.989	6.883
W _s	1.980	2.003	2.069
% W	24.04	24.21	23.88
PROMEDIO			24.0

PROMEDIO



RESUMEN

LIMITE LIQUIDO	39.5
LIMITE PLASTICO	24.0
INDICE DE PLASTICIDAD	15.4

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PARAMETROS DE SUELOS

LIMITES DE ATTERBERG
 ASTM D 423, ASTM D 424 Y AASHTO T 89-94, AASHTO T 9094

FECHA 27 de julio del 2001
 PROYECTO PROYECTO AMPLIACION LANAMME

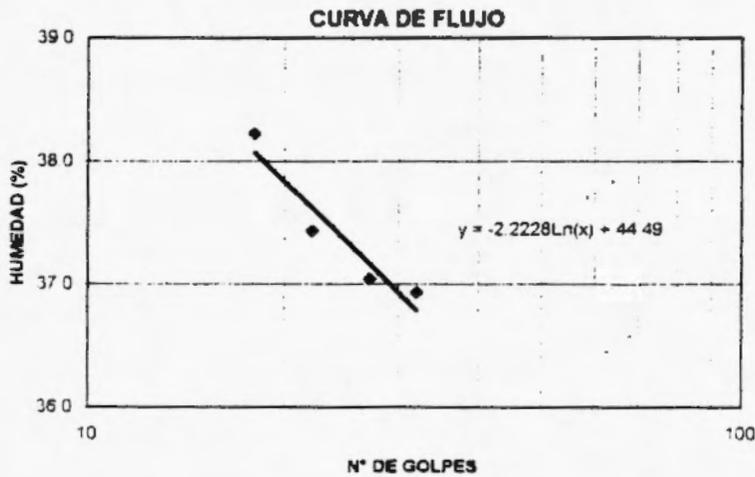
MUESTRA N° 5314
 UBICACION LANAMME
 DESCRIPCION Limo arcilloso café oscuro
 Subrasante
 Sondeo #2 en sitio
 CONTRATISTA

LIMITE LIQUIDO

DETERMINACION No	1	2	3	4
No DE GOLPES	32	27	22	18
Wc + Ww (g)	31.359	31.278	45.158	47.377
Wc + Ws (g)	26.899	28.937	40.560	42.244
Ww	4.460	4.341	4.598	5.133
Wc	14.824	15.219	28.278	28.815
Ws	12.075	11.718	12.284	13.429
% W	36.9	37.0	37.4	38.2

LIMITE PLASTICO

DETERMINACION No	1	2	3
RECIPIENTE No	60	11	24
Wc + Ww (g)	8.807	8.800	8.893
Wc + Ws (g)	8.443	8.397	8.521
Ww	0.364	0.403	0.372
Wc	6.784	6.529	6.820
Ws	1.659	1.868	1.701
% W	21.94	21.57	21.87
PROMEDIO			21.8



RESUMEN

LIMITE LIQUIDO	37.3
LIMITE PLASTICO	21.8
INDICE DE PLASTICIDAD	15.5

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PARAMETROS DE SUELOS

LIMITE DE ATTERBERG
 ASTM D 423, ASTM D 424 Y AASHTO T 89-94, AASHTO T 9094

FECHA 27 de julio del 2001
 PROYECTO PROYECTO AMPLIACION LANAMME

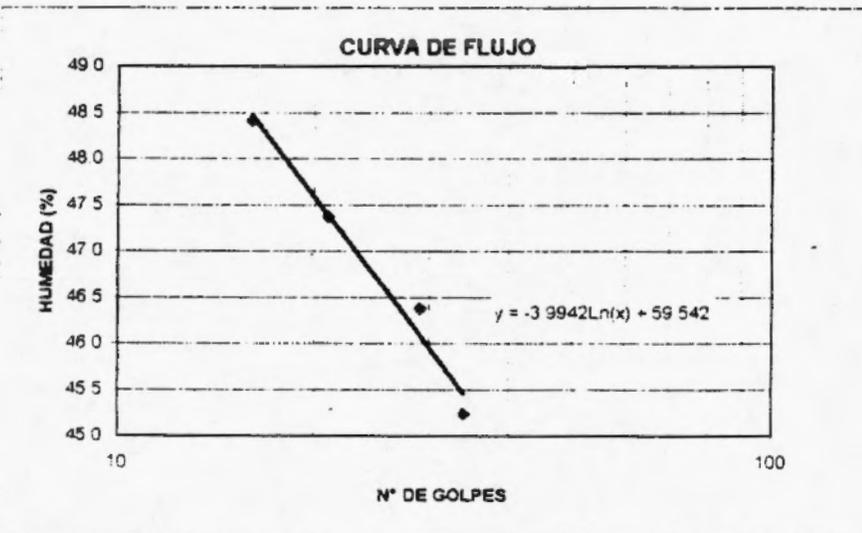
MUESTRA N° 5315
 UBICACION LANAMME
 DESCRIPCION Limo arcilloso café oscuro
 Subrasante
 Sondeo #3 en sitio
 CONTRATISTA

LIMITE LIQUIDO

DETERMINACION No	1	2	3	4
No DE GOLPES	34	29	21	16
Wc + Ww (g)	32.192	35.241	32.616	33.090
Wc + Ws (g)	28.047	29.961	28.240	28.356
Ww	4.145	5.280	4.376	4.734
Wc	18.884	18.576	19.002	18.578
Ws	9.163	11.385	9.238	9.778
% W	45.2	46.4	47.4	48.4

LIMITE PLASTICO

DETERMINACION No	1	2	3
RECIPIENTE No	10	13	A
Wc + Ww (g)	9.317	9.921	9.717
Wc + Ws (g)	8.635	9.159	9.051
Ww	0.682	0.762	0.666
Wc	6.541	6.783	6.948
Ws	2.094	2.376	2.103
% W	32.57	32.07	31.67
PROMEDIO			32.1



RESUMEN

LIMITE LIQUIDO	46.7
LIMITE PLASTICO	32.1
INDICE DE PLASTICIDAD	14.6

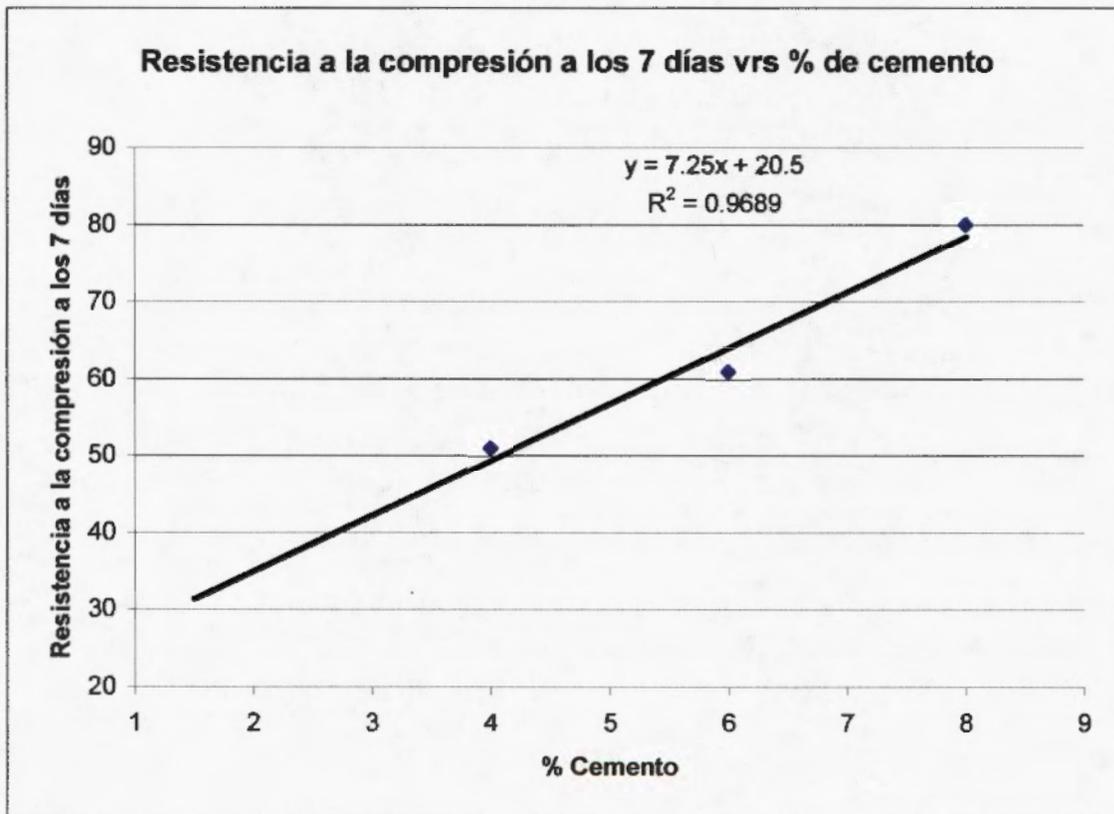
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: Ampliación LANAMME

Resistencia a la Compresión a 7 días de núcleos de base estabilizada

Tabla N°1: Resistencia a la compresión a los 7 días.

Cemento (%)	Resistencia (kg/cm ²)
4	51
6	61
8	80



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE NUCLEOS DE BASE ESTABILIZADA

FECHA: 30 DE JULIO DE 2001

INFORME No.

PROYECTO: AMPLIACION LANAMME

MUESTRA No. 5312

MUESTRA No.	FECHA MOLDEO	FECHA RUPTURA	EDAD (dias)	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
1	--	30/07/01	--	11.8	10.2	81.71	56	4% cemento
2	--	30/07/01	--	11.9	10.2	81.71	49	100g cemento
3	--	30/07/01	--	11.8	10.2	80.91	49	
promedio							51	
4	--	30/07/01	--	11.9	10.1	80.12	62	6% cemento
5	--	30/07/01	--	11.7	10.2	81.71	57	150g cemento
6	--	30/07/01	--	11.7	10.2	81.71	63	
promedio							61	
7	--	30/07/01	--	11.8	10.2	81.71	91	8% cemento
8	--	30/07/01	--	11.6	10.2	81.71	71	200g cemento
9	--	30/07/01	--	11.8	10.2	81.71	79	
promedio							80	

NOTAS :
 - Los resultados de RESISTENCIA a la compresión se presentan sin corrección alguna
 - Este informe no constituye un certificado de calidad

Rv

A

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
 PARAMETROS DE SUELOS

PRUEBA DE COMPACTACION

FECHA 23 de julio del 2001

PROYECTO AMPLIACION LANAMME

DESCRIPCION DE MATERIAL Lastre gns con 6% cemento
 LOCALIZACION Ampliación LANAMME

PRUEBA PROCTOR MODIFICADO
 AASHTO T-180
 PROCEDIMIENTO C
 (CON CEMENTO)

CARACTERIZACION DE MUESTRA LASTRE GRIS PARA BASE

MUESTRA No 5312

COMPACTACION

DETERMINACION	1	2	3	4	5
Ww + Pmolde	6051.7	6154.6	6100.4	6117.1	
P molde	4193.2	4193.2	4193.2	4193.2	
Ww	1858.5	1961.4	1907.2	1923.9	
δ w	1968	2077	2020	2037	
δ s	1723	1768	1683	1753	

CONTENIDO DE HUMEDAD

No CAPSULA	B-2	B-35	B-12	B-16
Ww + Wc	488.42	435.55	532.22	454.49
Ws + Wc	434.28	378.75	452.67	398.61
Ww	54.16	56.80	79.55	55.88
Wc	53.72	54.17	54.38	53.97
Ws	380.54	324.58	398.29	344.64
%W	14.2	17.5	20.0	16.2

γ_{max} (kg/m ³)	1770
W _{opt} (%)	17.3

PESO VOLUMETRICO CONTRA HUMEDAD

