ALCALDÍA LOCAL DE KENNEDY

CONTRATO DE OBRA PÚBLICA No. 816-2025

CONTRATAR A MONTO AGOTABLE Y A PRECIOS UNITARIOS, EL DIAGNÓSTICO, MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MOBILIARIO DE LOS PARQUES DE PROXIMIDAD (VECINALES Y DE BOLSILLO) PRIORIZADOS EN LA LOCALIDAD DE KENNEDY

ESTUDIOS Y DISEÑO PARA LA INTERVENCIÓN DE LA CANCHA MÚLTIPLE DEL PARQUE PATIO BONITO II SECTOR, CÓDIGO 08-007

GT01-CPK-V1

CONTRATISTA

PRO K
CONSORCIO

CONSULTOR

GEOINGTRO SAS

BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2025

CONTROL DE CAMBIOS DEL DOCUMENTO

ÍNDICE DE REVISIÓN	CAPITULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN
0		11-11-2025	Versión inicial
1		14-11-2025	Respuesta a observaciones oficio CG009-2005

ÍNDICE DE DISTRIBUCIÓN

No.	Distribuir a	No.	Distribuir a
1		4	
2		5	
3		6	

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Contrato No.	816-2025	**Fecha:**	14 de noviembre de 2025
Título del documento	Estudios y diseño para la intervención de la cancha múltiple del parque Patio Bonito II Sector, código 08-007		
Código del documento	GT01-CPK		

Control Interno Consorcio PRO K – Contrato No. 816-2025	
Revisó: **Ing. Juan Ricardo Troncoso Rivera** Especialista en pavimentos	Aprobó: **Luis Alberto Lora Escobar** Representante Legal
Revisión Externa	
	Representante Legal

TABLA DE CONTENIDO

CONTROL DE CAMBIOS DEL DOCUMENTO 2
ÍNDICE DE DISTRIBUCIÓN 2
REVISIÓN Y APROBACIÓN 2
TABLA DE CONTENIDO 3
LISTA DE ILUSTRACIONES 3
LISTA DE GRÁFICAS 4
LISTA DE TABLAS 4
LISTA DE ECUACIONES 4
LISTA DE FOTOGRAFÍAS 4
INTRODUCCIÓN 5
1 GENERALIDADES 6
1.1 Metodología 6
1.2 Normativa consultada 6
1.3 Condiciones climáticas 6
1.4 Ubicación del proyecto 8
2 ESTRUCTURA EXISTENTE 9
2.1 Condición superficial 9
2.2 Estructura de cancha múltiple existente 9
3 ESTUDIO GEOTÉCNICO 11
3.1 Caracterización geotécnica 11
3.2 Cambios de volumen en la subrasante 12
3.2.1 Potencial expansivo de la subrasante 12
3.2.2 Potencial de contracción de arcillas 13
3.2.3 Recomendación frente al fenómeno de expansión y contracción 14
3.3 Ensayos de capacidad de soporte del suelo 14
3.4 Correlación CBR- MR 14
3.5 Cálculo de la capacidad portante equivalente – CPE 15
4 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE CAPAS 17
4.1 Estructura de la cancha múltiple 17
4.2 Especificaciones técnicas de materiales de construcción 18
5 RECOMENDACIONES GENERALES 19
6 LIMITACIONES 20
ANEXO 1. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I
ANEXO 2. DOCUMENTOS TÉCNICOS DEL ADITIVO LÍQUIDO IÓNICO II

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Parque evaluado 8
Ilustración 2. Perfil estratigráfico promedio encontrado 10
Ilustración 3. Mejoramiento de plataforma con geocelda 16
Ilustración 4. Estructura de cancha múltiple 17
Ilustración 5. Estructura de zona de juegos con uso de cemento y aditivo 18

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Histograma de lluvias, estación Aeropuerto El Dorado 7
Gráfica 2. Días de lluvias en el año, estación Aeropuerto El Dorado 7
Gráfica 3. Temperaturas en el año, estación Aeropuerto El Dorado 8

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de ensayo, norma técnica, cantidad..... 11
Tabla 2. Resultados de ensayos de laboratorio 11
Tabla 3. Clasificación de suelos expansivos..... 12
Tabla 4. Potencial Expansivo de la subrasante 12
Tabla 5. Comparación de contenido de agua de equilibrio y natural 13
Tabla 6. Potencial de contracción de arcillas 13
Tabla 7. Clasificación de potencial de contracción 13
Tabla 8. Análisis de resultados de límite de contracción 14
Tabla 9. Resultados de ensayo CBR 14
Tabla 10. Correlaciones entre CBR Vs MR..... 14
Tabla 11. Cálculo de modulo resultante de refuerzo con geocelda 15
Tabla 12. Estructuras recomendadas por el IDRD en función al CBR obtenido.... 17
Tabla 13. Equivalencias de espesores y tipos de material 18
Tabla 14. Proporciones recomendadas de cemento y aditivo 18

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Humedad de equilibrio..... 13
Ecuación 2. Incremento del módulo del material granular por MIF..... 15

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Condición de la cancha múltiple del parque Patio Bonito II Sector 9

INTRODUCCIÓN

El Fondo de Desarrollo Local de Kennedy realiza la intervención y mantenimiento integral y preventivo de los parques de proximidad de la localidad de Kennedy, como meta de mejoramiento de espacios saludables para los habitantes.

Los campos y escenarios deportivos requieren ser intervenidos de manera técnica y económica teniendo en cuenta las normas y especificaciones técnicas vigentes del Instituto Distrital de Recreación y Deporte IDRD.

Teniendo en cuenta esta necesidad, el Consorcio PRO K a través de GEOINGTRO S.A.S. realiza los estudios y diseño para la intervención de la cancha múltiple del parque Patio Bonito II Sector, código 08-007.

1 GENERALIDADES

A continuación, se presenta la metodología, normativa consultada para la elaboración de los estudios y diseños. Asimismo, se define las condiciones climáticas de la zona y la ubicación del sitio a analizar.

1.1 Metodología

Para realizar el análisis y diseño de espesores de los escenarios deportivos se tendrán en cuenta las siguientes actividades:

- Exploración geotécnica en el área donde se encuentra el área a intervenir.
- Ejecución de ensayos de laboratorio, en los cuales se destaca la clasificación del material de subrasante y su evaluación en potencial de expansión.
- Se realiza el análisis geotécnico con la información recolectada en campo y laboratorio.
- Se define la alternativa de intervención, las especificaciones técnicas de los materiales, y especificaciones particulares si es necesario.

1.2 Normativa consultada

Para realizar una apropiada elaboración del diseño, se tendrá en cuenta:

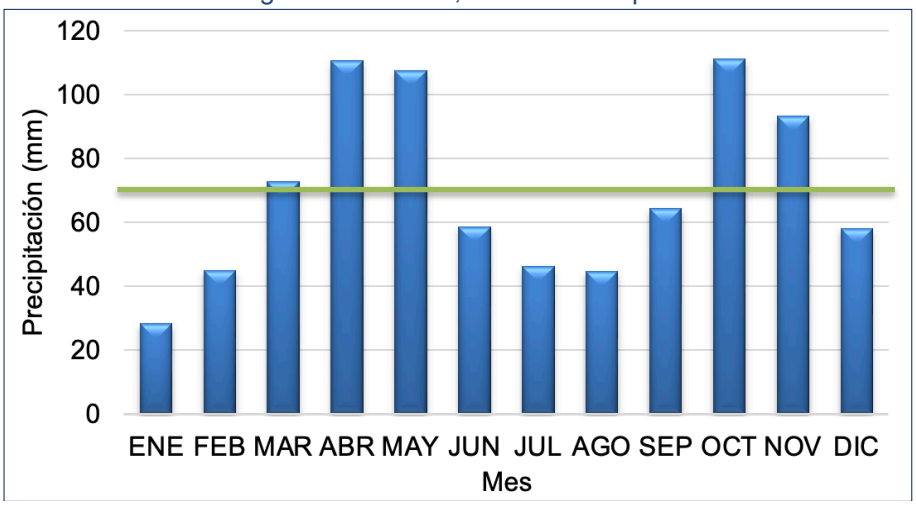
- Manual de especificaciones técnicas de diseño y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá D.C.
- Cartilla de Andenes Bogotá D.C., de la Secretaría Distrital de Planeación, Dirección del Taller del Espacio Público
- Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

1.3 Condiciones climáticas

Las condiciones climatológicas del proyecto se analizan con los datos reportados por la estación Sinóptica Principal (SP) Aeropuerto El Dorado, ubicada en las coordenadas 4°42’20,1”N-74°9’2,4”W y cota de 2.547 m.s.n.m., la cual registra los siguientes parámetros (http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima):

- Precipitación anual: 841,2 mm
- Número de días con lluvia: 189
- Temperatura media: 13,7° C.

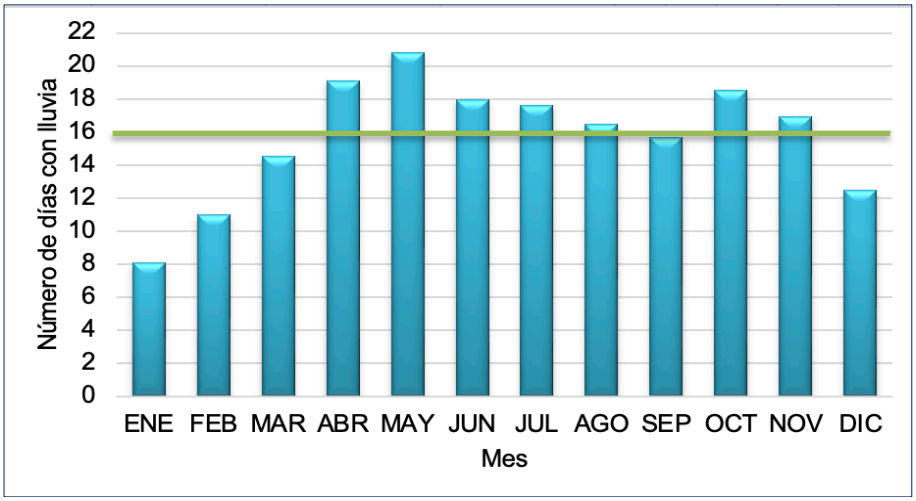
Gráfica 1. Histograma de lluvias, estación Aeropuerto El Dorado



Fuente: Adaptado con datos de www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

Los meses con mayor precipitación son abril, mayo, octubre y noviembre, siendo octubre el que presenta mayor precipitación con 111 mm.

Gráfica 2. Días de lluvias en el año, estación Aeropuerto El Dorado



Fuente: Adaptado con datos de www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

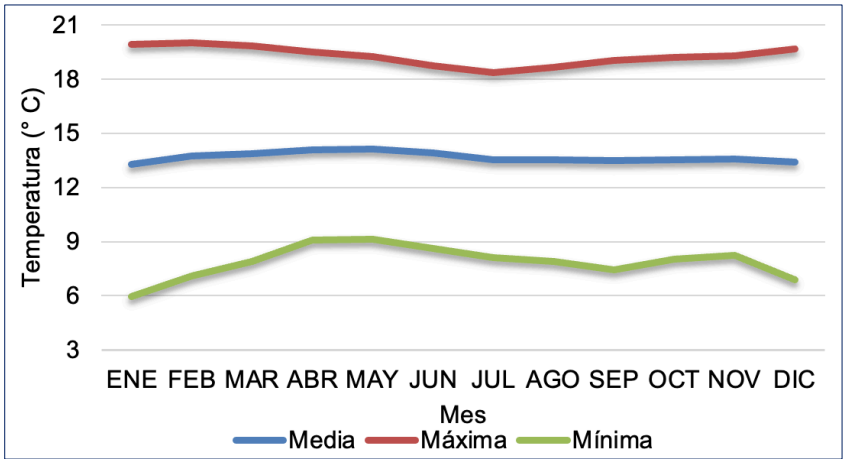
Se determina el porcentaje de tiempo que la estructura estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación en los meses de mayor precipitación, considerando los que presentan valores por encima del promedio.

$$\%tiempo = \frac{días\ de\ máxima\ precipitación}{365} = \frac{19{,}1 + 20{,}8 + 18 + 17{,}6 + 16{,}5 + 18{,}5 + 16{,}9}{365} = 35\%$$

Dadas unas condiciones aceptables de drenaje y teniendo en cuenta este porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad que se acercan a la saturación, el coeficiente de drenaje de los materiales granulares no tratados se define en $m_{SBG-BG} = 0{,}85$ (tabla 2.4 Recommended m_i values for modifying structural layer coefficients of untreated base and subbase materials in flexible pavements. Part II, AASHTO,1993).

Se presenta a continuación, la variación de temperatura durante el año.

Gráfica 3. Temperaturas en el año, estación Aeropuerto El Dorado

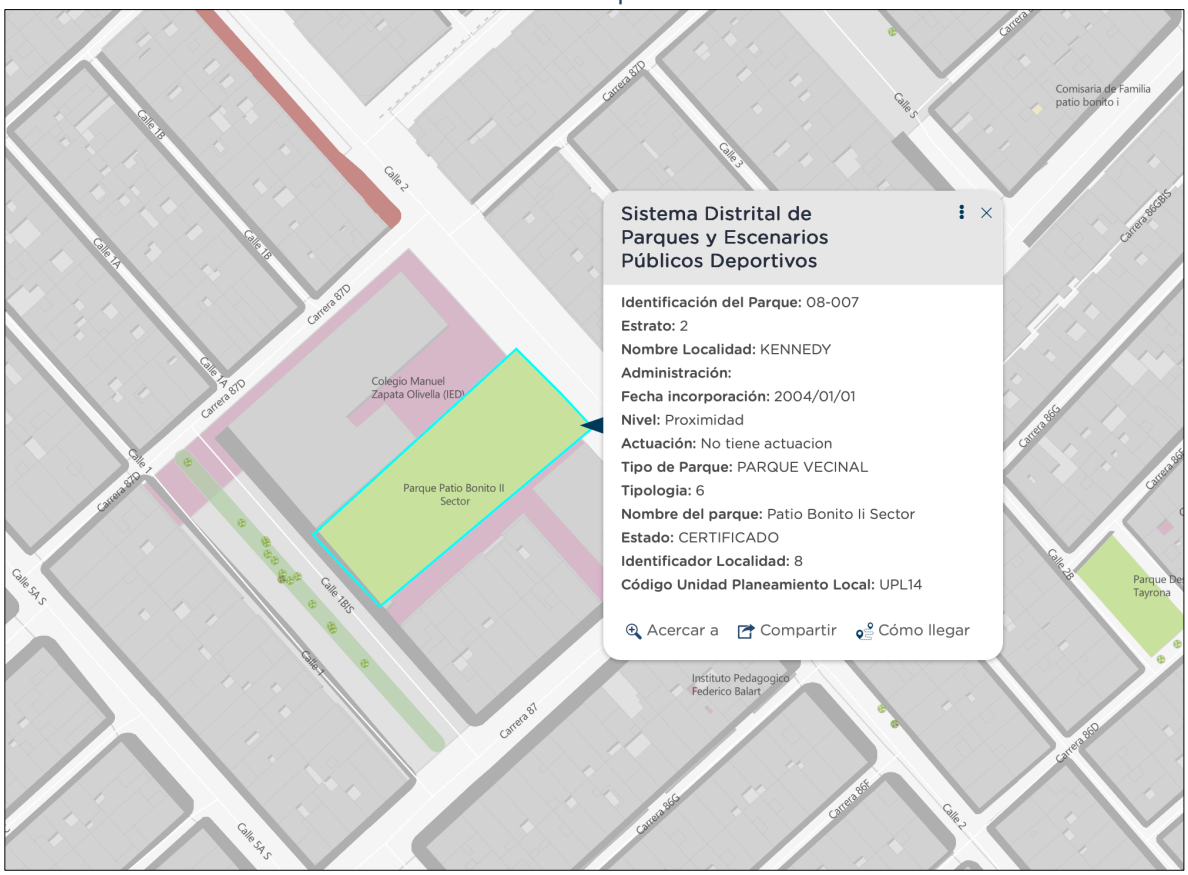


Fuente: Adaptado con datos de www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

1.4 Ubicación del proyecto

En la siguiente ilustración se observa la ubicación del parque Patio Bonito II Sector, código 08-007.

Ilustración 1. Parque evaluado



Fuente: Adaptado IDECA, 2025

2 ESTRUCTURA EXISTENTE

El área de la zona de juegos se evalúa en dos aspectos: condición superficial, espesores de materiales existentes.

2.1 Condición superficial

A nivel superficial se observa una carpeta asfáltica en mal estado y con agrietamiento en bloque en toda el área de la cancha múltiple.

Fotografía 1. Condición de la cancha múltiple del parque Patio Bonito II Sector

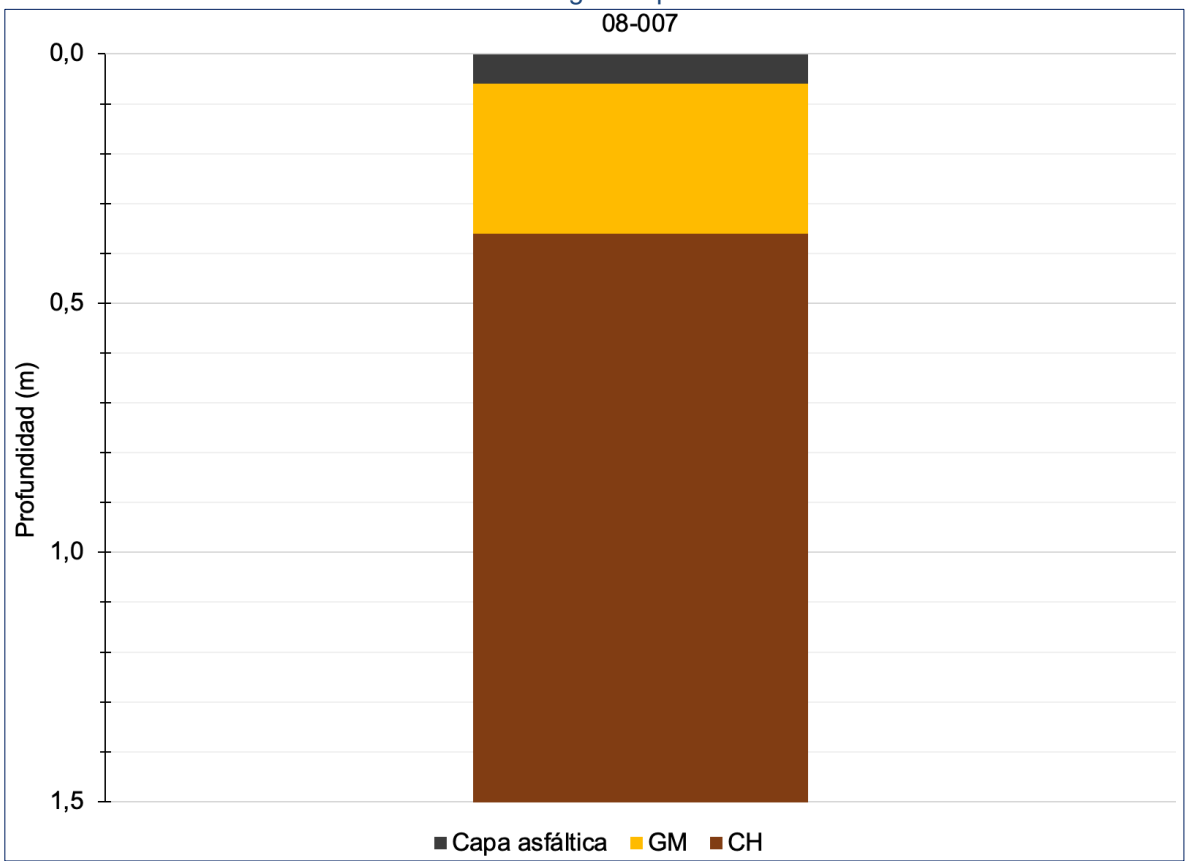


Fuente: Adaptado Pruebas Geotécnicas SAS, 2025

2.2 Estructura de cancha múltiple existente

La estructura existente y el espesor promedio de cada capa se obtuvo por medio de la ejecución de apiques. A continuación, se presenta un esquema de la estructura encontrada.

Ilustración 2. Perfil estratigráfico promedio encontrado



Fuente: Adaptado de Pruebas Geotécnicas S.A.S., 2025

Se observa una capa asfáltica de 0,06 metros, posteriormente se evidencia un material granular de 0,30 metros. Finalmente se evidencia una subrasante arcillosa.

3 ESTUDIO GEOTÉCNICO

La caracterización de la subrasante se realizó por medio de un apique en las zona de interés, en los cuales se extrajeron muestras representativas para realizar la caracterización física (granulometría, límites y humedad natural) de los materiales encontrados y expansión de la subrasante. Así mismo se realizó el ensayo CBR a partir de la profundidad del estrato de subrasante.

El estudio geotécnico se centra en dos análisis principalmente:

- Capacidad de soporte del suelo
- Expansión del suelo frente a cambios de humedad

Los dos análisis serán necesarios para evaluar la estructura que se va a construir, generando una solución técnica que satisfaga una adecuada inversión y que provea una suficiente estabilidad.

3.1 Caracterización geotécnica

Con las muestras recuperadas durante el proceso de exploración se ejecutan los ensayos de laboratorio con el propósito de conocer las propiedades físicas. Los ensayos de laboratorio, norma técnica y cantidad se muestran a continuación.

Tabla 1. Tipo de ensayo, norma técnica, cantidad

Ensayo	Norma	Cantidad
Ensayo Lambe	I.N.V. E-120	1
Contenido de Humedad	I.N.V. E-122	2
Granulometría	I.N.V. E-123	2
Limite Líquido	I.N.V. E-125	2
Limite plástico e Índice de plasticidad	I.N.V. E-126	2
Límite de contracción	I.N.V. E-127	1
CBR sobre muestra inalterada	I.N.V. E-148	1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Resultados de ensayos de laboratorio

Apique	Profundidad (m)		USCS	% Grava	% Arena	% Finos	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	LC (%)	Lambe		CBR (%)	
	De	a										Esfuerzo (kg/cm^2)	Cambio potencial	Natural	Inmersión
08-007	0,00	0,06	CARPETA ASFALTICA												
	0,06	0,36	GM	52,4	28,3	19,2	11,0	N.L.	N.L.	-					
	0,36	0,75	MATERIAL COHESIVO CAFÉ OSCURO												
	0,75	1,52	CH	0,0	3,9	96,1	34,0	56	22	34	37,4	2,25	5,57	3,4	1,5

Fuente: Adaptado de resultados de laboratorio Pruebas Geotécnicas S.A.S., 2025

Se observa una subrasante que clasifica como arcilla de alta plasticidad con un contenido de agua promedio de 34%, limite liquido promedio de 56%, limite plástico promedio de 22%, e índice de plasticidad promedio de 34%. Con relación al contenido de agua, la subrasante presenta una capacidad de soporte baja, esta condición se puede corroborar con los valores de CBR en estado de humedad sumergida donde se obtienen valores de $CBR \leq 2\%$.

Con estos resultados se analizarán las condiciones de capacidad de soporte y susceptibilidad a cambios volumétricos. Con los resultados obtenidos en el aparato Lambe se determina un potencial crítico.

3.2 Cambios de volumen en la subrasante

Los cambios de volumen en la subrasante están asociados a cambios del contenido de agua o estado hídrico de la subrasante.

3.2.1 Potencial expansivo de la subrasante

El fenómeno de expansión en una estructura liviana se representa generalmente con el desarrollo de una o varias grietas longitudinales y grietas en bloque, las cuales se generan con cambios volumétricos positivos o negativos asociados con la presencia de arcillas expansivas, especialmente en zonas blandas de áreas amplias, como son los parques.

El potencial de expansión se evalúa por varios criterios, en función a los límites de consistencia, medición del esfuerzo de expansión, entre otros. A continuación, se presenta el análisis del potencial de expansión por el método de los limites de consistencia.

El análisis cualitativo de expansión se realiza bajo los criterios establecidos en la NSR-10, de acuerdo con los límites de consistencia.

Tabla 3. Clasificación de suelos expansivos

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kg/cm^2	Límite Líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de Plasticidad IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 – 30	50 - 63	6 – 12	23 – 45	18 – 37	> 100
Medio	10 – 20	39 - 50	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 - 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: Tabla H.9.1-1, NSR10

En la siguiente tabla se presenta el análisis con base en el criterio anterior.

Tabla 4. Potencial Expansivo de la subrasante

Apique	Profundidad (m)	USCS	LL (%)	IP (%)	Potencial de expansión
08-007	0,75	CH	56	34	Alto

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la evaluación cualitativa se presenta un potencial de expansión alto, sin embargo, no se debe considerar los límites de consistencia como indicadores directos de la expansión.

Para evaluar físicamente si habrá un cambio de volumen, se calcula la humedad de equilibrio para verificar si el material presenta un contenido de agua por debajo de esta, buscará satisfacer la demanda de agua hasta llegar el porcentaje de humedad de equilibrio.

Ecuación 1. Humedad de equilibrio

$$w_{equilibrio} = 0{,}47LL + 3{,}6$$

Fuente: Numeral H.6.1.4.1, NSR 98

Tabla 5. Comparación de contenido de agua de equilibrio y natural

Apique	Profundidad (m)	USCS	LL (%)	W_{eq} (%)	W_n (%)
08-007	0,75	CH	56	29,9	34,0

Fuente: Elaboración propia

El valor de humedad de equilibrio está por debajo del contenido de agua natural, siendo poco probable que, si el contenido de agua en el entorno geotécnico aumenta, se presente una variación de volumen de la subrasante.

Con relación al esfuerzo de expansión se obtuvo un valor de 2,25 kg_f/cm^2 siendo un esfuerzo que la estructura de pavimento no puede disipar con su propio peso.

3.2.2 Potencial de contracción de arcillas

Este comportamiento esta relacionado con los suelos expansivos, los cuales cambian de volumen con relación al cambio del estado hídrico o contenido de agua. Mientras el contenido de agua próximo a la zona donde se encuentra el suelo expansivo sea mayor, este presentará un elevado hinchamiento, y si el suelo tiene poca humedad la contracción del suelo en la superficie será más evidente.

De acuerdo con el artículo “The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clay soils in Britain” de Driscoll (1983), se mencionan que la profundidad a la que se produce la contracción e hinchazón generalmente se limita a la zona activa (superior a 1,5 m) donde es más probable que ocurra un cambio de humedad, a menos que esta zona se extienda por la presencia de raíces de árboles.

Tabla 6. Potencial de contracción de arcillas

IP (%)	Pasa tamiz 200 (%)	Potencial de contracción
>35	>95	Muy alto
22 - 48	60 - 95	Alto
12 - 32	30 - 60	Medio
<18	<30	Bajo

Fuente: Adaptado de Driscoll, (1983)

En la tabla anterior, se observa la clasificación del potencial de contracción en función al índice de plasticidad propuesto por Driscoll.

Tabla 7. Clasificación de potencial de contracción

Apique	Profundidad (m)	USCS	IP (%)	Pasa tamiz 200 (%)	Potencial de contracción
08-007	0,75	CH	34	96,1	Alto

Fuente: Elaboración propia

Con relación al límite de contracción es importante entender que este es el contenido máximo de agua, por debajo del cual un secado adicional no causa una disminución de volumen de la muestra de suelo.

Tabla 8. Análisis de resultados de límite de contracción

Apique	Profundidad (m)	USCS	Wn (%)	LC (%)	Presenta contracción
08-007	0,75	CH	34,0	37,4	No

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Recomendación frente al fenómeno de expansión y contracción

De acuerdo a estudios realizados en zonas con presencia de arcillas expansivas y evidencia de grietas longitudinales por cambios volumétricos (Zornberg, Jorge. 2012), se evidenció por medio del método observacional que la inclusión de geomallas en la estructura liviana impide el desarrollo de estas grietas longitudinales.

Se recomienda que la solución para la mitigación de los cambios volumétricos positivos y negativos sea una combinación de geocelda y geomalla triaxial, con el cual se distribuya de manera adecuada los esfuerzos impuestos por un cambio volumétrico en la subrasante, ya que esta se comporta de manera anisotrópica.

3.3 Ensayos de capacidad de soporte del suelo

Con relación a la capacidad de soporte del suelo, se determinó la capacidad de soporte de la subrasante por medio del ensayo CBR.

Tabla 9. Resultados de ensayo CBR

Apique	Profundidad (m)	USCS	CBR (%)	
			Natural	Inmersión
08-007	0,75	CH	3,4	1,5

Fuente: Adaptado de Pruebas Geotécnicas S.A.S., 2025

Esta consultoría define un $CBR = 1{,}5\%$ siendo la capacidad obtenida en la condición saturada.

3.4 Correlación CBR- MR

La guía “DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.” define las correlaciones entre el CBR y el módulo resiliente de la subrasante, a partir de las siguientes ecuaciones:

Tabla 10. Correlaciones entre CBR Vs MR

	Valor de CBR	Módulo Resiliente (MPa)
1	CBR ≤ 4%	7.5 * CBR
2	4% < CBR ≤ 9%	10 * CBR

Fuente: Guía GU-IC-019, 2013

De este modo se obtiene un módulo resiliente $M_R = 11{,}25\ MPa$.

La Guía IDU GU-IC-019, establece que se deben realizar mejoramiento en el suelo de la subrasante si los valores de resistencia del suelo son inferiores a un equivalente en términos de CBR del 4 % o un valor de módulo resiliente de 40 MPa.

3.5 Cálculo de la capacidad portante equivalente – CPE

Teniendo en cuenta que se requiere hacer un mejoramiento de la plataforma de soporte de la estructura de pavimento, se propone un mejoramiento con geocelda y relleno con material granular.

El aporte estructural de la geocelda se determina por medio del Factor de mejoramiento de módulo o MIF por sus siglas en inglés (Modulus Improvement Factor). Para hallar este factor, se requiere:

- Tránsito de diseño
- CBR de la subrasante
- Material de relleno de la geocelda

De acuerdo con los estudios realizados por Tanyu B.F., Aydilek A. H., Lau W., Edil T.B., Benson C.H. (2013), se determinó que el factor de incremento de módulo varía de 1,2 a 1,5. Dadas las condiciones de baja resistencia de la subrasante se define un $MIF = 1{,}20$.

Para determinar el módulo final de la capa de granular sin reforzar y reforzado con geocelda, se toma como referencia la ecuación para la determinación del módulo de un material granular de la Shell y se modifica incluyendo el factor MIF:

Ecuación 2. Incremento del módulo del material granular por MIF

$$E_2 = 0{,}206h^{0{,}45}E_3 * MIF$$

Fuente: Adaptado de Shell, 2019

Donde,
E_2, es el módulo de la capa superior (MPa)
E_3, es el módulo de la capa inferior (MPa)
h, es el espesor de la capa en evaluación (mm)
MIF, es el factor de mejoramiento de módulo

Para llegar al valor de plataforma de soporte mínimo, se procede a realizar el cálculo hasta encontrar el espesor que satisfaga esta condición de plataforma.

Tabla 11. Cálculo de modulo resultante de refuerzo con geocelda

Parámetro	Valor
Espesor de material granular (mm)	50
E_3 actual (MPa)	10,50
$E_{2\text{-}1}$ resultante (MPa)	12,58
Espesor de material reforzado con geocelda (mm)	150
MIF (Tanyu B.F. Et al, 2013)	1,20
$E_{2\text{-}2}$ resultante (MPa)	29,64
Espesor de material sin geocelda (mm)	50
$E_{2\text{-}3}$ resultante (MPa)	35,50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3. Mejoramiento de plataforma con geocelda

Capa	Espesor
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

4 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE CAPAS

El diseño de espesores de la zona de juegos y la cancha múltiple se definen de acuerdo con MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARQUES Y ESCENARIOS PÚBLICOS DE BOGOTÁ D.C., el cual tiene en cuenta el valor de CBR como parámetro de entrada.

Se toma como referencia la tabla 4.3 *"Pisos en pavimento asfáltico, canchas, cicloruta y zonas de juegos infantiles"*.

Tabla 12. Estructuras recomendadas por el IDRD en función al CBR obtenido

Tipo de suelo	Descripción	CBR (%)	Estructura recomendada			
			Geotextil	Subbase IDRD	Base IDRD	Rodadura IDRD
Suelos blandos	Poco competente como subrasante	menor a 3	ST 300 o T-2100 Pavco o similar	20 cm	20 cm	5 cm
Suelos medios	Medianamente competente como subrasante	de 3 a 5	T-1700 Pavco o similar	20 cm	15 cm	5 cm
Suelos duros	competente como subrasante	mayor 5	T-1700 Pavco o similar		25 cm	5 cm

Fuente: Adaptado Tabla 4.3 Especificaciones IDRD

Con el mejoramiento de la subrasante se obtiene una plataforma de suelo medio.

4.1 Estructura de la cancha múltiple

Teniendo en cuenta los análisis de capacidad de soporte del suelo, y las recomendaciones descritas por el IDRD, se define la siguiente estructura de cancha múltiple:

Ilustración 4. Estructura de cancha múltiple con capas granulares no tratadas

Capa	Espesor
Mezcla asfáltica MDC-3	5 cm
Base Granular tipo IDRD	35 cm
Geomalla multiaxial, resistencia a fluencia ≥ 300 kN/m	-
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

Para disminuir el espesor de las capas de aporte estructural se propone una capa estabilizada mejorada con cemento portland y aditivo líquido iónico, se realiza la equivalencia de las capas para definir el espesor, por medio del método de diseño AASHTO.

Tabla 13. Equivalencias de espesores y tipos de material

Estructura	Material	Espesor (in)	Coeficientes		SN_i	SN_{cal}
			a_i	m_i		
Materiales granulares	Base granular	13,78	0,125	0,85	0,70	1,46
Capa estabilizada	Base granular mejorada con cemento portland y aditivo líquido iónico	5,91	0,25	1	1,48	1,48

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5. Estructura de cancha múltiple con uso de cemento y aditivo

Capa	**Espesor**
Mezcla asfáltica MDC-3	5 cm
Base Granular tipo tipo IDRD mejorada con cemento portland (5%) y aditivo líquido iónico (1,0 l/m^3)	15 cm
Geomalla multiaxial, resistencia a fluencia ≥ 300 kN/m	-
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la capa de material granular con cemento portland y aditivo líquido iónico, se definen las siguientes proporciones y cantidades:

Tabla 14. Proporciones recomendadas de cemento y aditivo

Material	Proporción o cantidad
Aditivo líquido iónico	1 litro por m^3 suelto
Cemento portland	100 kilogramos por m^3 suelto

Fuente: Elaboración propia

4.2 Especificaciones técnicas de materiales de construcción

Para efectos de aplicación todos los materiales incluidos en este diseño deberán cumplir lo establecido en el anexo técnico del contrato.

5 RECOMENDACIONES GENERALES

Una vez se realice la excavación y/o retiro hasta el nivel de subrasante se deberá nivelar y compactar la misma para dar una adecuada superficie de trabajo para realizar la construcción de la estructura propuesta.

Si durante la ejecución de los trabajos y llegando a la cota de excavación de la alternativa definida, el ejecutor evidencia que alguna zona evidencia fallos en la subrasante lo cual impide realizar las labores de nivelación y compactación, se deberá realizar una excavación adicional de 0,40 metros de profundidad e instalar rajón en un espesor de 0,50 metros, de los cuales 0,10 metros de rajón se hincaran dentro de la subrasante con el propósito de disminuir vacíos y mejorar la densidad de la subrasante en estos puntos de fallos.

La rasante final de las zonas a intervenir debe estar definida a partir de las condiciones geomorfologías y la adecuada evacuación de las aguas superficiales y subsuperficiales.

Las excavaciones que se efectúen para la construcción se deben realizar de manera rápida y eficiente, evitando el aposamiento continuo de agua, y la disminución de la capacidad estructural.

6 LIMITACIONES

Los resultados aquí presentados se circunscriben al área específica del proyecto. Cualquier cambio en las hipótesis planteadas se debe informar inmediatamente para hacer los ajustes necesarios.

ANEXO 1. Exploración geotécnica

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME DE DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-13
VERSIÓN:	2
FECHA ELABORACIÓN:	2021-01-20

NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 102 - 2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3310-10
LOCALIZACIÓN	PATIO BONITO II SECTOR DESARROLLO	FECHA INFORME	2025-11-04

APIQUE Nº	2	PROFUNDIDAD (m)	0,06 m - 1,52 m
COORDENADAS	N: 4°38'25.64"W: 74° 9'35.92"	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1187-25 / 1188-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

PROF (m)	No. MUESTRA	TIPO	CLASIFICACIÓN			SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	W %	LÍMITES ATTERBERG			GRADACIÓN			*gt*	RESISTENCIA			
0,00			USC	ASSHTO	ÍNDICE DE GRUPO				L.L %	L.P %	I.P %	GRAVAS %	ARENAS %	FINOS %	g/cc	SPT GOLPE	P.D.C. (%)	CBR (%) INALT - SUB	CBR I 95%
0,06	1						CARPETA ASFALTICA												
0,36	2		GM	A - 1 - b	0		GRANULAR ARENOSO COLOR AMARILLO	10,96	N.L.	N.P.	-.	52,4	28,3	19,2					
0,75	3						MATERIAL COHESIVO CAFÉ OSCURO	-											
1,52	4		CH	A - 7 - 6	19		ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	34,09	56,0	22,0	34,0	0,0	3,9	96,1				3,4 - 1,5	

OBSERVACIONES	

P.D.C : *MEDICIÓN DEL CBR CON EL CONO DINÁMICO* ***- C.B.R :*** *INALTERADO.*

gt : *PESO UNITARIO TOTAL*

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
	
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENTE

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELOS, CONTENIDO DE AGUA Y LIMITES DE CONSISTENCIA.

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-15
VERSIÓN:	3
FECHA ELABORACIÓN:	2021-01-20

NORMA DE REFERENCIA	INV E 125:2013-INV E 122:2013-INV E 123:2013-INV E 126:2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3311-25
LOCALIZACIÓN	PATIO BONITO II SECTOR DESARROLLO	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	GRANULAR ARENOSO COLOR AMARILLO	PROFUNDIDAD (m)	0,06 m - 0,36 m
APIQUE No	2	MUESTRA No	2
CANTERA	TOMADO DE OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1187-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

LÍMITES DE CONSISTENCIA

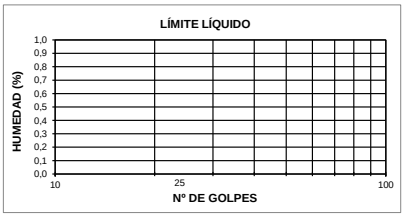
0,06			
Determinación Nº	1	2	3
Nº de Golpes	-	-	-
0,36	-	-	-
M_1	-	-	-
M_2	-	-	-
M_3	NL	NL	NL
M_W	-	-	-
0,75	-	-	-
W%	-	-	-
Método	A		

LÍMITE PLÁSTICO - LP			W% DE LA MUESTRA
1,52	-	-	89-D
M_1	-	-	644,0
M_2	-	-	584,8
M_3	NP	NP	44,60
M_W	-	-	59,20
M_S	-	-	540,20
W%	-	-	10,96
Método	Manual		

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DE SUELOS

Masa inicial total seca (g):	2161,6
Masa inicial L-T 200 (g):	1748,6
Masa final: L-T 200 (g):	1745,8

Tamiz	Tamiz (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	% Pasa unificado
3"	75,00	0,0	-	-	100,0%	100,0%
2"	50,00	172,8	8,0%	8,0%	92,0%	92,0%
1 ½"	37,50	178,6	8,3%	16,3%	83,7%	83,7%
1"	25,00	316,0	14,6%	30,9%	69,1%	69,1%
3/4"	19,00	39,6	1,8%	32,7%	67,3%	67,3%
3/8"	9,50	260,4	12,0%	44,8%	55,2%	55,2%
Nº 4	4,75	166,0	7,7%	52,4%	47,6%	47,6%
Nº 10	2,00	107,4	5,0%	57,4%	42,6%	42,6%
Nº40	0,425	90,8	4,2%	61,6%	38,4%	38,4%
Nº200	0,075	414,0	19,2%	80,8%	19,2%	19,2%
FONDO	-	0,20	-	-	-	-



RESULTADOS

Límite Líquido	N.L.
Límite Plástico	N.P.
Índice Plástico	-.
Gravas	52,4%
Arenas	28,3%
Finos	19,2%
A.A.S.H.T.O.	A - 1 - b
Índice de Grupo	0
U.S.C	GM

M_1 = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g

M_2 = Masa Recipiente + Suelo Seco , en g

M_3 = Masa Recipiente, en g

M_W = Masa del Agua , en g

M_S = Masa Suelo Seco, en g

W = Contenido de agua, en %

L-T2mm: Lavado sobre tamiz Nº 10

L-T0.074mm : Lavado sobre tamiz Nº 200

$M_W = M_1 - M_2$

$M_S = M_2 - M_3$

$w = (M_W / M_S) \times 100$

CONDICIONES AMBIENTALES	
TEMPERATURA AMBIENTE (° C)	23

EQUIPOS UTILIZADOS	No. INV.
SERIE DE TAMICES	0039
CAZUELA CASAGRANDE	-
BALANZA	0001 / 0001
HORNO	0013

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELOS, CONTENIDO DE AGUA Y LIMITES DE CONSISTENCIA.

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-15
VERSIÓN:	3
FECHA ELABORACIÓN:	2021-01-20

NORMA DE REFERENCIA	INV E 125:2013-INV E 122:2013-INV E 123:2013-INV E 126:2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3312-25
LOCALIZACIÓN	PATIO BONITO II SECTOR DESARROLLO	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	PROFUNDIDAD (m)	0,75 m - 1,52 m
APIQUE No	2	MUESTRA No	4
CANTERA	TOMADO DE OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1188-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

LÍMITES DE CONSISTENCIA

0,06			
Determinación Nº	1	2	3
Nº de Golpes	35	25	16
0,36	47	40	27
M_1	44,6	43,05	43,62
M_2	37,38	36,08	36,04
M_3	24,11	23,64	23,01
M_W	7,22	6,97	7,58
0,75	13,27	12,44	13,03
W%	54,41	56,03	58,17
Método	A		

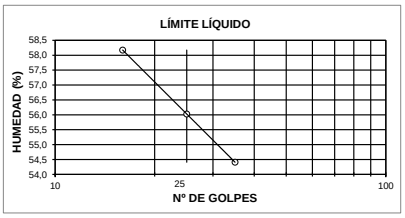
LÍMITE PLÁSTICO - LP

			W% DE LA MUESTRA
1,52	38	18	26-D
M_1	34,37	27,44	501,8
M_2	32,53	25,69	384,0
M_3	24,18	17,81	38,40
M_W	1,84	1,75	117,80
M_S	8,35	7,88	345,60
W%	22,04	22,21	34,09
Método	Manual		

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DE SUELOS

Masa inicial total seca (g):	402,4
Masa inicial L-T 200 (g):	15,6
Masa final: L-T 200 (g):	15,6

Tamiz	Tamiz (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	% Pasa unificado
3"	75,00	0,0	-	-	100,0%	100,0%
2"	50,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
1 ½"	37,50	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
1"	25,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
3/4"	19,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
3/8"	9,50	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
Nº 4	4,75	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
Nº 10	2,00	0,2	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
Nº40	0,425	0,6	0,1%	0,2%	99,8%	99,8%
Nº200	0,075	14,8	3,7%	3,9%	96,1%	96,1%
FONDO	-	0,00	-	-	-	-



RESULTADOS

Límite Líquido	56,0
Límite Plástico	22,0
Índice Plástico	34,0
Gravas	0,0%
Arenas	3,9%
Finos	96,1%
A.A.S.H.T.O.	A - 7 - 6
Índice de Grupo	19
U.S.C	CH

M_1 = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g

M_2 = Masa Recipiente + Suelo Seco , en g

M_3 = Masa Recipiente, en g

M_W = Masa del Agua , en g

M_S = Masa Suelo Seco, en g

W = Contenido de agua, en %

L-T2mm: Lavado sobre tamiz Nº 10

L-T0.074mm : Lavado sobre tamiz Nº 200

$M_W = M_1 - M_2$

$M_S = M_2 - M_3$

$w = (M_W / M_S) \times 100$

CONDICIONES AMBIENTALES	
TEMPERATURA AMBIENTE (° C)	23

EQUIPOS UTILIZADOS	No. INV.
SERIE DE TAMICES	0039
CAZUELA CASAGRANDE	0156
BALANZA	0002 / 0001
HORNO	0013

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME DE DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DEL SUELO

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-52
VERSIÓN:	2
FECHA ELABORACIÓN:	2022-03-02

NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 127:2013

CODIGO CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
OBRA	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	CONTACTO	CR 6 A # 64 A - 58
DIRECCIÓN	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3313-25
LOCALIZACIÓN	PATIO BONITO II SECTOR DESARROLLO	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	APIQUE Nº	2
CANTERA	TOMADO DE OBRA	PROFUNDIDAD (m)	0,75 m - 1,52 m
MUESTRA Nº	4	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1188-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

HUMEDAD	
RECIPIENTE	19
W_1 = Peso recipiente A + suelo húmedo, en g	31,7
W_2 = Peso recipiente + suelo seco, en g	22,2
W_3 = Peso recipiente, en g	5,1
W = Peso húmedo de la muestra de suelo, en g	26,6
W_0 = Peso de la muestra seca, en g	17,1
w = Contenido de agua, en %	55,5
FACTORES DE CONTRACCIÓN	
Masa del Mercurio utilizada para llenar el recipiente A, g	278,4
Densidad del Mercurio g/cm^3	13,5
V = Volumen suelo húmedo, en cm^3	20,6
Masa del Mercurio utilizada para llenar el recipiente B, g	278,4
Masa de Mercurio en el recipiente B después de sumergir la pastilla de suelo seco, g	42,0
Vo = Volumen suelo seco, en cm^3	17,5
Pa = Peso unitario del agua, en g/cm^3	1,0
LC = Límite de contracción %	37,4
R = Relación de contracción	1,0
Vs = Cambio volumétrico	17,8
CL = Contracción lineal	5,0

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
	
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE.

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME DEL POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMÉTRICO DE UN SUELO EMPLEANDO EL APARATO LAMBE

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-66
VERSIÓN:	1
FECHA ELABORACIÓN:	2022-05-02

NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 120:2013

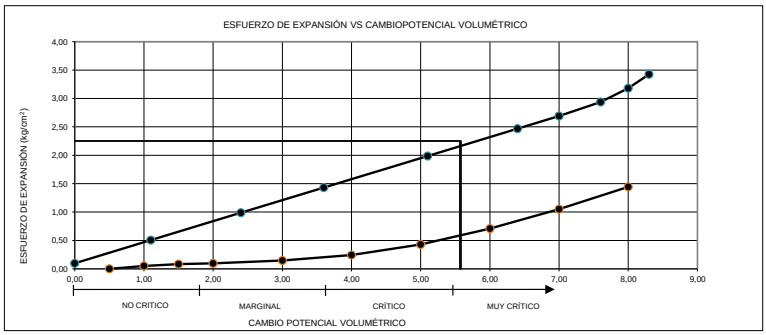
CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3314-25
LOCALIZACIÓN	PATIO BONITO II SECTOR DESARROLLO	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	PROFUNDIDAD (m)	0,75 m - 1,52 m
APIQUE Nº	2	MUESTRA Nº	4
CANTERA	TOMADO EN OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1188-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

0,06	A		Peso de la celda + muestra inicial	217,8	g
Diámetro de la muestra	5,10	cm	Peso de la celda + muestra final	229,4	g
Altura de la muestra	2,68	cm	Peso de la celda	138,0	g
0,36	20,4	cm^2	Peso unitario total	1,455	g/cm^3
Volumen de la muestra	54,8	cm^3	Peso unitario seco	1,409	g/cm^3

CONTENIDO DE HUMEDAD		
HUMEDAD	INICIAL	FINAL
Recipiente	#¡REF!	15-F
P_1 (g)	201,2	212,6
P_2 (g)	195,8	183,2
P_3 (g)	29,8	30,4
% W	3,3%	19,2%

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL (Kn)	ESFUERZO (kgf/cm^2)
2025-10-27	12:30	0	0,038	0,000
2025-10-27	12:31	1'00'	0,075	0,188
2025-10-27	12:32	2'00'	0,113	0,563
2025-10-27	12:33	3'00'	0,150	0,750
1900-01-01	12:34	4'00"	0,188	0,938
2025-10-27	12:35	5'00"	0,226	1,126
2025-10-27	12:40	10'00"	0,263	1,313
2025-10-27	12:45	15'00"	0,301	1,501
2025-10-27	13:00	30'00"	0,338	1,688
2025-10-27	13:30	60'00"	0,376	1,876
2025-10-27	14:00	90'00"	0,413	2,064
2025-10-27	14:30	120'00"	0,451	2,251



Esfuerzo de expansión: 2,25 kg/cm^2

Cambio potencial volumétrico: 5,57

Régimen de la muestra: Critico

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTÉCNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE.

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA

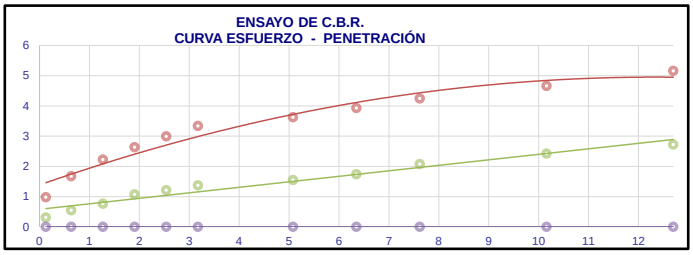
CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-21.
VERSIÓN:	5
FECHA ELABORACIÓN:	2024-02-26

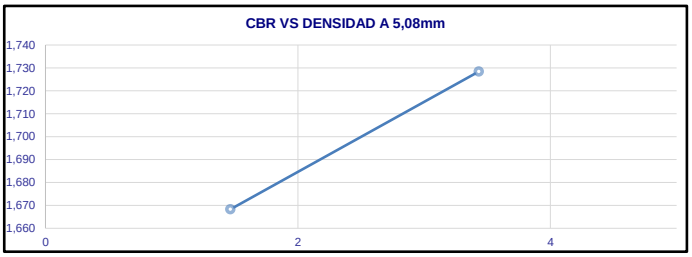
NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 148:2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	LOCALIZACIÓN	PATIO BONITO II SECTOR DESARROLLO
INFORME PG Nº	3315-25	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	PROFUNDIDAD (m)	0,75 m - 1,52 m
APIQUE No	2	MUESTRA No	4
CANTERA	TOMADO EN OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	11188-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	CBR MUESTRA INALTERADA	SOBRECARGA DE SATURACIÓN (Kg)	4,5	% RETENIDO EN TAMIZ 3/4	-
0,06	A - 7 - 6	CLASIFICACIÓN SUCS	CH	DÍAS DE CURADO	4





PRUEBA Nº	1	2	3
No. DE MOLDE	14	14	
No. DE GOLPES	-	-	
EXPANSIÓN INICIAL	0	0	
EXPANSIÓN 24 HORAS	0	4	
EXPANSIÓN 48 HORAS	0	10	
EXPANSIÓN 72 HORAS	0	16	
EXPANSIÓN 96 HORAS	0	19	
PESO MOLDE + MUESTRA	10707	10774	
PESO MOLDE	5832	5832	
MASA DE LA MUESTRA g	4875	4942	
HUM. DE COMPACTACION %	33,99	40,73	
VOLÚMEN MOLDE cm3	2105	2105	
DENSIDAD HUMEDA g/cm^3	2,316	2,348	
DENSIDAD SECA g/cm^3	1,728	1,668	
EXPANSIÓN TOTAL %	0,0	41,6	

PENETRACIÓN mm	CARGA DIAL	ESFUERZO Kg/cm2	CARGA DIAL	ESFUERZO Kg/cm2	CARGA DIAL	ESFUERZO Kg/cm2
0,127	195	1,0	61	0,3		
0,635	333	1,7	108	0,5		
1,270	443	2,2	152	0,8		
1,905	525	2,6	213	1,1		
2,540	596	3,0	241	1,2		
3,175	665	3,3	273	1,4		
5,080	722	3,6	308	1,5		
6,350	783	3,9	346	1,7		
7,620	846	4,2	413	2,1		
10,160	929	4,7	483	2,4		
12,700	1028	5,2	542	2,7		
HUM. PENETRACIÓN %	34,0		40,7			
CBR Corregido a 2,54 mm	4,3		1,7			
CBR Corregido a 5,08 mm	3,4		1,5			
CUMPLE	SI	☑ NO	SI	NO	SI	☐ NO

OBSERVACIONES	

ALTURA MUESTRA DENTRO DEL MOLDE(inch):	4,58

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.

EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S.

---------- FIN DEL INFORME DE ENSAYO ----------

PRUEBAS GEOTECNICAS

REGISTRO FOTOGRÁFICO

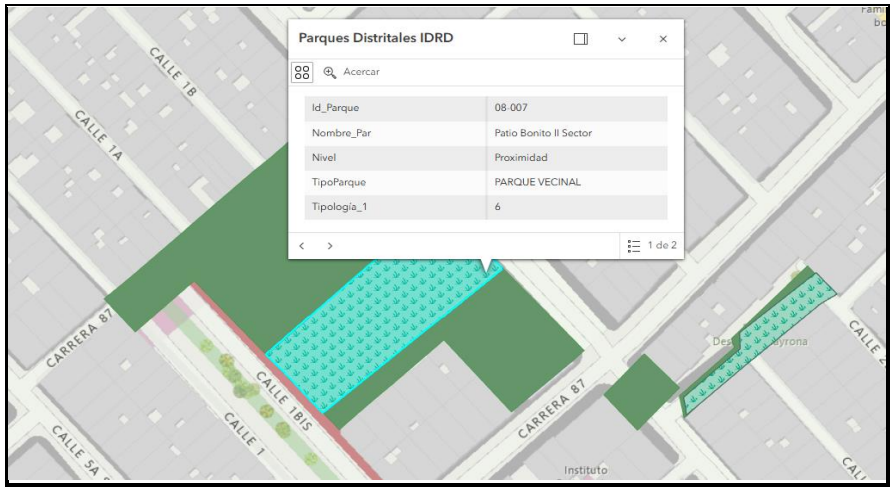
CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-09
VERSIÓN:	8
FECHA ELABORACIÓN:	2023-08-18

CODIGO DE CLIENTE	2054	CLIENTE	CONSORCIO PRO K		
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	PK-id	N/A	FECHA DE EJECUCIÓN	2025-10-27
EQUIPO	MANUAL	CIV	PATIO BONITO II SECTOR DESARROLLO	PERFORADOR	JHON MARK









ANEXO 2. Documentos técnicos del aditivo líquido iónico

PROESTECH

DESDE 1999 ESTABILIZANDO CAMINOS

FUNDAMENTOS DE TECNOLOGIA PROES® - ADITIVO LIQUIDO IONICO PROES®

Julio 2024

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 4
1.1 Estabilización química de suelos para caminos 4
1.2 Diseño de Estructuras de Pavimento. 4
1.3 Fundamentos de la Tecnología PROES® 6
2 ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL 9
2.1 Campaña de Medición en Terreno 9
2.1.1 Deflectómetro de Impacto FWD 9
2.1.2 Programa de mediciones con FWD 10
2.2 Ensayos de Laboratorio 16
2.2.1 Objetivos 16
2.2.2 Materiales 16
2.2.3 Resultados laboratorio 17
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 25
3.1 Resistencia 25
3.2 Estabilidad 28
3.3 Durabilidad 29
3.4 Flexibilidad 31
3.5 Parámetros de Diseño Estructural de Pavimentos 32
4 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA PROES® 34
4.1 Usos de la tecnología de la infraestructura vial 35
4.2 Ejemplo de comparación con solución tradicional 35
5 CONCLUSIONES 37

FIGURAS

Figura 2 - 1 Izquierda: Deflectómetro de impacto. Derecha: Principio de funcionamiento del deflectómetro 10
Figura 2 - 2 Promedio de precipitaciones y temperaturas mensuales en la zona de Concepción 10
Figura 2 - 3 Ubicación de los sectores donde se efectuó deflectometría de impacto FWD 12
Figura 2 - 4 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil . 14
Figura 2 - 5 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil . 15
Figura 2 - 6 Resultados de módulos en condiciones secas y húmedas 15
Figura 2 - 7 Resultados ensayos CBR (P=Cemento Portland, C=Ceniza) 18
Figura 2 - 8 Resultados de resistencia a la compresión no confinada, UCS (P=Cemento Portland, C=Ceniza Volante) 20
Figura 2 - 9 Resistencia retenida en ensayos CNC, tiempo de reacción 7 días. 21
Figura 2 - 10 Resultados de ensayos de resistencia a tracción indirecta (ITS) a 7, 14 y 60 días de edad 22
Figura 2 - 11 Resultados de ensayos de módulo triaxial a 7, 14, 28 y 365 días 23
Figura 2 - 12 Resultados de ensayos de Módulo Resiliente Triaxial (MrTx) en condición natural y saturada a los 365 días de confección para una mezcla arcilla/arena..... 24

Figura 3 - 1 Frecuencia de coeficientes estructurales 26
Figura 3 - 2 Relación entre el módulo resiliente de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® y su coeficiente estructural 26
Figura 3 - 3 Comparación coeficientes en época seca y húmeda 29
Figura 3 - 4 Esquema de evolución del módulo de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® en el tiempo 30
Figura 3 - 5 Módulo resiliente en función del desviador de tensiones 32

Figura 4 - 1 Aplicaciones de la tecnología 35
Figura 4 - 2 Ejemplo de diseño tradicional versus base estabilizada PROES. 36

TABLAS

Tabla 2 - 1 Listado de los caminos PROES® estudiados..... 11
Tabla 2 - 2 Resumen de módulos promedios retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® 13
Tabla 2 - 3 Caracterización de suelos utilizados 17
Tabla 3 - 1 Determinación coeficientes estructurales según ensayo CBR y UCS…..33

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Estabilización química de suelos para caminos

La estabilización de suelos es una técnica de construcción comúnmente utilizada para ampliar las posibilidades de utilización en la obra de los suelos disponibles en terreno y tiene por objetivo mejorar las propiedades mecánicas, trabajabilidad y estabilidad de tales materiales.

La estabilización de suelos para caminos tiene ventajas técnicas, medioambientales, económicas y sociales frente a la construcción tradicional. Desde el punto de vista medioambiental, la utilización de los materiales existentes en terreno hace que se reduzca el consumo de áridos, reduciendo la explotación de pozos de áridos y cauces de ríos, y el transporte de materiales desde y hacia la obra, con un menor consumo de combustibles fósiles y emisión de gases a la atmósfera. Desde el punto de vista económico, la estabilización tiene un menor costo que utilizar técnicas tradicionales de construcción si no existen materiales granulares en las cercanías de la construcción que cumplan con las especificaciones técnicas, o existan restricciones de explotación en los yacimientos cercanos. Por último, la estabilización también tiene asociados beneficios a la comunidad, dado que en general es una técnica constructiva más rápida que la tradicional lo que implica menores tiempos de intervención de los caminos, menor presencia de maquinaria en el entorno y una percepción positiva de la tecnología.

1.2 Diseño de Estructuras de Pavimento.

Existen una gran variedad de tipos de estructuras de pavimento empleadas en la actualidad las cuales van dependiendo del tipo de vehículo que transitan, del volumen, de la condición climática, de los suelos existentes en las zonas del proyecto, propiedades mecánicas de los materiales, factores de seguridad costo, mantenimiento y estética.

Los tipos de estructuras de pavimento mas comunes y empleados son:



Figura 1-1. Tipos de Estructura de pavimento

Para el diseño estructural de pavimentos existen dos grandes grupos de metodologías: las puramente empíricas y las empírico-mecanicistas. La metodología empírica más conocida corresponde a la AASHTO 93 la cual tiene como parámetro más importante de caracterización estructural el Número Estructural, un parámetro empírico que representa la resistencia del pavimento al tránsito. La metodología empírico-mecanicista en cambio utiliza parámetros provenientes de modelos numéricos mecánicos del pavimento como la tensión y la deformación, asignándole unos parámetros empíricos de resistencia a los materiales (coeficientes y/o módulos de reacción) como el método PCA (PORTLAND CEMENT ASOCIATION). Por lo tanto, el parámetro más importante de caracterización es el módulo elástico de las capas que componen el pavimento.

Sin embargo, tratándose de vías con bajos volúmenes de tránsito que generalmente se construirán para trabajar sin carpeta de rodado existen metodologías de diseño más adecuadas y simples que generan estructuras confiables y eficientes. En estos casos podremos recurrir al Manual De Diseño De Pavimentos Asfálticos Para Vías Con Bajos Volúmenes De Tránsito del INVIAS y metodologías empíricas de diseño como MORÍN TODOR y metodologías mecanicistas como NAASRA (Nacional Asociation of Australian State Road Athorities).

1.3 Fundamentos de la Tecnología PROES®

El sistema de pavimentación con aditivo liquido iónico PROES® consiste en la estabilización química de suelos que presentan características de baja capacidad de soporte y que son inestables (arcillas), que luego formarán parte de la estructura de un pavimento. La Tecnología PROES® nace de un desarrollo conjunto con la empresa de ingeniería PROFUND en el año 1996, con apoyo y reconocimiento de la Corporación de Fomento de Chile, y que se encuentra patentada en Chile, Perú, Colombia, México y otros países en curso.

Luego de un desarrollo y expansión exitosa en diversos mercados, como parte de la innovación y mejora de la Tecnología, la empresa PROES SpA participó durante los años 2013 al 2016 en el proyecto INNOVA titulado *Caracterización Estructural Detallada e Investigación del Proceso de Deterioro de Materiales Tratados con la Tecnología de Estabilización de Suelos a Través de Pruebas de Laboratorio y Mediciones en Terreno*, financiado por la Corporación de Fomento de la Producción de Chile (www.corfo.cl) y ejecutado por la Universidad del Desarrollo (www.udd.cl), bajo el liderazgo del profesor Ing. PhD Álvaro González[1].

El objetivo principal del proyecto fue caracterizar las propiedades mecánicas y estructurales de los suelos tratados con la Tecnología PROES®, mediante un extenso programa de laboratorio donde se llevaron a cabo varios tipos de ensayos (Triaxial, CBR, ITS y UCS, entre otros) y varias campañas de terreno donde se midieron las propiedades estructurales de una red de caminos tratados con la tecnología utilizando deflectometría pesada y liviana (FWD y LWD) y donde además se construyeron dos tramos de prueba.

Del estudio se obtuvieron importantes resultados que permiten verificar y sustentar las propiedades y en este documento se resumen los argumentos técnicos que sustentan la capacidad estructural de los suelos estabilizados con la Tecnología PROES®.

[1] Ingeniero Civil, MSc, PhD in Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand. Profesor Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad del Desarrollo, Chile. Cuenta con más de 50 publicaciones y presentaciones en congresos sobre investigaciones relacionadas con estabilización de suelos e ingeniería de caminos.

La Tecnología PROES®, tiene su fundamento en la interacción de los aditivos químicos y las arcillas presentes en el suelo, creando una reacción que, junto con aumentar su resistencia, mejora su estabilidad frente al agua y mejora su comportamiento frente a las cargas del tránsito. La reacción generada, se basa en la ionización, ordenamiento y aglomeración de partículas. Una de las principales características es la incorporación de minerales afines al suelo, a través de dos aditivos: un aditivo líquido y otro sólido (como la cal, cemento y cenizas); los cuales son clave para el proceso de estabilización química. El proceso se logra mediante el intercambio iónico y reacciones puzolánicas entre estos aditivos y las arcillas. El intercambio iónico ocurre rápidamente, en general dentro de unas pocas horas. El resultado inmediato es un incremento en la resistencia al corte del suelo (producto de un aumento en la cohesión de las partículas) y una disminución en la capacidad de absorber aguas de las arcillas, en un ambiente que propicia el intercambio y reacción sin la formación de grietas por retracción.

En el mediano y largo plazo, se desarrollan reacciones puzolánicas que aumentan en forma significativa la resistencia del suelo. Todos estos cambios en las propiedades físicas y mecánicas mejoran el desempeño del suelo, y, por lo tanto, transforman un material de baja calidad en uno apto para su uso en capas estructurales de pavimentos.

Los resultados obtenidos y la experiencia de más de 20 años de uso de la Tecnología PROES®, tanto en laboratorio como en terreno (más de 1.500 kms de pavimentos), permiten señalar que los suelos estabilizados con PROES® son:

- Resistentes
- Estables frente al agua y cambios de humedad
- Durables
- Flexibles (no rígidos)

Además de las evaluaciones y experiencias de terreno que sustentan las características presentadas, se hace necesario entregar herramientas de diseño para nuevos proyectos, razón por la cual se desarrolla un set amplio de ensayos, que haga posible relacionar resultados de laboratorio con desempeño pasado y futuro en terreno.

Este documento presenta parte de los resultados del proyecto INNOVA de CORFO: "*Caracterización Estructural Detallada e Investigación del Proceso de Deterioro de Materiales Tratados con la Tecnología de Estabilización de Suelos a Través de Pruebas de Laboratorio y Mediciones en Terreno"*. En dicho estudio se realizaron más de 300 ensayos de laboratorio y midieron sobre 400 puntos con deflectometria de impacto (FWD) en terreno.

2 ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

2.1 Campaña de Medición en Terreno

El objetivo del estudio de la red de caminos PROES® existente en la región del Biobío y Araucanía, es obtener la caracterización mecánica de pavimentos que han estado en servicio entre 5 y 15 años, con el fin de estimar la condición de la base estabilizada en el largo plazo. Para esto se realizó un programa de ensayos consistente en aplicar deflectometría de impacto (FWD) sobre los caminos seleccionados que han sido tratados con la tecnología PROES®.

2.1.1 Deflectómetro de Impacto FWD

El deflectómetro de impacto FWD (*Falling Weight Deflectometer*) es un instrumento ampliamente utilizado para estimar la capacidad estructural de pavimentos y que ha sido incorporado al Manual de Carreteras de Chile (numeral 8.502.5). Este aparato es un sistema de ensayo montado en un carro de arrastre capaz de aplicar cargas tipo impulso que simulan el paso de una rueda sobre el pavimento. Contiene una configuración de masas que combinada con la altura de caída permiten aplicar mediante impacto cargas máximas de entre 30 y 240 kN con un sistema de buffers o cojines que mantienen la duración del pulso de carga entre 20 y 30 milisegundos. La operación del FWD se controla desde un computador en la cabina del vehículo que arrastra el sistema. Durante el ensayo se hace bajar el plato de carga y una barra con sensores hasta la superficie del pavimento, y automáticamente se levantan y dejan caer las cargas de ensayo mediante un sistema electro-hidráulico. Un total típico de 7 o 9 sensores (máximo 15) capturan los valores de deflexión. Estos sensores, llamados geófonos, están ubicados a distancias crecientes desde el centro de plato de carga, con el primero de ellos en el centro del plato y el más alejado típicamente a unos 2m. Esta serie de sensores permite obtener un cuenco de deflexiones. La precisión de estos sensores es mejor a 2% +/- 2 micrones.

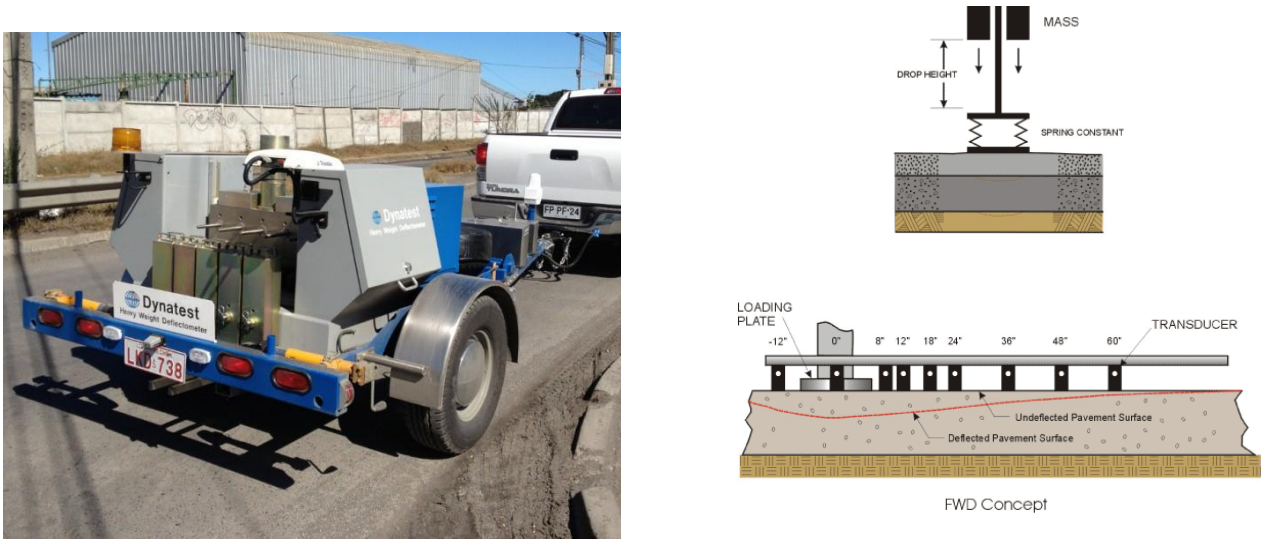


Figura 2 - 1 Izquierda: Deflectómetro de impacto. Derecha: Principio de funcionamiento del deflectómetro

El equipo incluye un sistema GPS para georreferenciación de las mediciones, además de un sistema medidor de distancia para referencia por kilometraje. El sistema mide automáticamente la temperatura del aire y de la superficie del pavimento para su utilización como referencia en el análisis de módulos elásticos de pavimentos bituminosos. El equipo incluye accesorios para la medición de la transferencia de carga en juntas y grietas de pavimentos rígidos. En este proyecto se utilizó un deflectómetro pesado, Heavy Weight Deflectometer, modelo Dynatest HWD 80811 y un Primax 2500.

2.1.2 Programa de mediciones con FWD

Temporada Estival e Invernal

La condición de un camino puede verse afectado considerablemente por las condiciones ambientales. En particular, una parte importante de caminos construidos con la tecnología PROES se encuentran ubicados en la zona sur del país, particularmente en las zonas forestales. Las condiciones ambientales de la zona son de una relativa alta precipitación media anual (sobre 1.000 mm anuales) concentrada entre los meses de mayo a agosto. Luego, entre

los meses de noviembre y marzo las precipitaciones son en promedio menores a 50 mm mensuales (Figura 2-2).

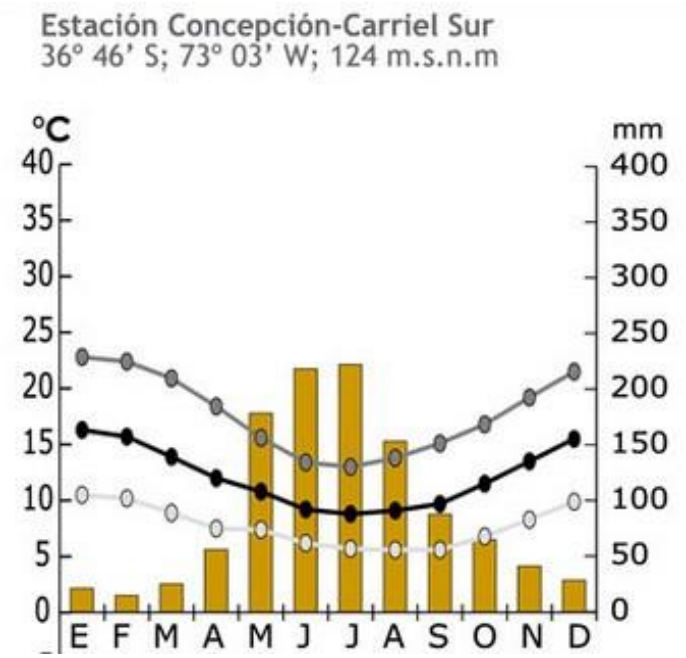


Figura 2 - 2 Promedio de precipitaciones y temperaturas mensuales en la zona de Concepción

Es esperable entonces que esta condición climática con una estación de invierno fuertemente marcada con precipitaciones de gran intensidad por sobre los 200 mm mensuales afecte la respuesta de los pavimentos tratados con PROES®. Por lo tanto, se realizó una campaña de deflectometría de impacto a fin del verano o la temporada seca y una campaña a fin del invierno o temporada lluviosa. De esta manera se pudo medir la condición del pavimento en condiciones 'favorables' y 'más desfavorables' con el FWD.

Ubicación de las Secciones a Estudiar

En ambas campañas de FWD se estudiaron secciones de caminos construidos con tecnología PROES en la región del Biobío y de la Araucanía. Las características de estos caminos son diversas: sectores urbanos, rurales e industriales. **El factor común más relevante de todos estos tramos es que ya habían cumplido con su vida útil de diseño,** con edades entre los

5 y 11 años respecto a la fecha de medición (2013-2014). Los sectores fueron identificados en forma correlativa según su orden de medición (desde el 01 hasta el 12) y además por el nombre típicamente asignado en la práctica.

La Tabla 2-1 resume las características generales de los caminos y calles PROES® donde se realizó las mediciones con FWD, y la Figura 2-3 indica la ubicación de los sectores donde se llevaron a cabo los ensayos.

Tabla 2 - 1 Listado de los caminos PROES® estudiados

ID	Descripción	Tipo	Año constr.	Espesor Carpeta Asfáltica (cm)	Espesor PROES (cm)	CBR[1]
01	Algarrobo	Industrial	2009	4	25	18%
02	Alto Horno	Urbano	2005	4	25	22%
04	Escuadrón Calle Principal	Industrial	2006	4	35	18%
06a	Escuadrón Calle F	Industrial	2013	-	30	18%
06b	Escuadrón Calle D	Industrial	2013	4	30	18%
07	Las Corrientes	Forestal	2008	3	22	7%
08	Ramadillas	Forestal	2008	3	22	7%
09	San José de Colico	Forestal	2002	5	17	6%
10	El Colorado - Herrera	Forestal	2008	3	15	5%
11	Capitán Pastene	Forestal	2002	-	23	6%
12	Masonite	Industrial	2003	4	25	22%

(1) Corresponde al CBR representativo de la subrasante (2) En la carpeta asfáltica "-" significa tratamiento superficial o slurry



Figura 2 - 3 Ubicación de los sectores donde se efectuó deflectometría de impacto FWD

Resultado de la medición de módulos

Una de las características de los caminos Proes visitados es que la mayoría ya ha cumplido su vida útil. A pesar de ello, los módulos obtenidos en la deflectometría varían entre 1.241 MPa y 17.000 MPa (Tabla 2-2), si se dejan fuera los dos tramos de prueba. La variabilidad obtenida es alta, lo cual es esperable considerando las diversas características de los caminos medidos (cambian la subrasante, los materiales estabilizados, el clima y el tránsito).

Tabla 2 - 2 Resumen de módulos promedios retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES®

ID	Descripción	Tipo	Año constr.	E PROES (MPa)
01	Algarrobo	Industrial	2009	3.121
02	Alto Horno	Urbano	2005	6.046
04	Escuadrón Calle Principal	Industrial	2006	6.155
06a	Escuadrón Calle F (1)	Industrial	2013	273
06b	Escuadrón Calle D (1)	Industrial	2013	386
07	Las Corrientes	Forestal	2008	517
08	Ramadillas	Forestal	2008	2.391
09	San José de Colico	Forestal	2002	17.028
10	El Colorado - Herrera	Forestal	2008	9.433
11	Capitán Pastene	Forestal	2002	3.974
12	Masonite	Industrial	2003	1.241

(1) Tramos de prueba construidos y operados para verificar rangos de falla.

Además de estudiar los resultados promedio por tramo, se realizó un análisis de todos los resultados de deflectometría. La frecuencia de los módulos retrocalculados de la capa estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®, expresada entre 0 y 1, siendo 1 la totalidad de las mediciones se presenta en la Figura 2-4, los cuales se agruparon en rangos de 2.000 MPa. Esto quiere decir, que se presenta la frecuencia o número de ocurrencias sobre el total entre 0 y 2.000 MPa; 2.000 y 4.000 MPa;
4.000 y 6.000 MPa, etc. La Figura 2-4 indica que más de la mitad (55%) de los módulos medidos es mayor a 2.000 MPa.

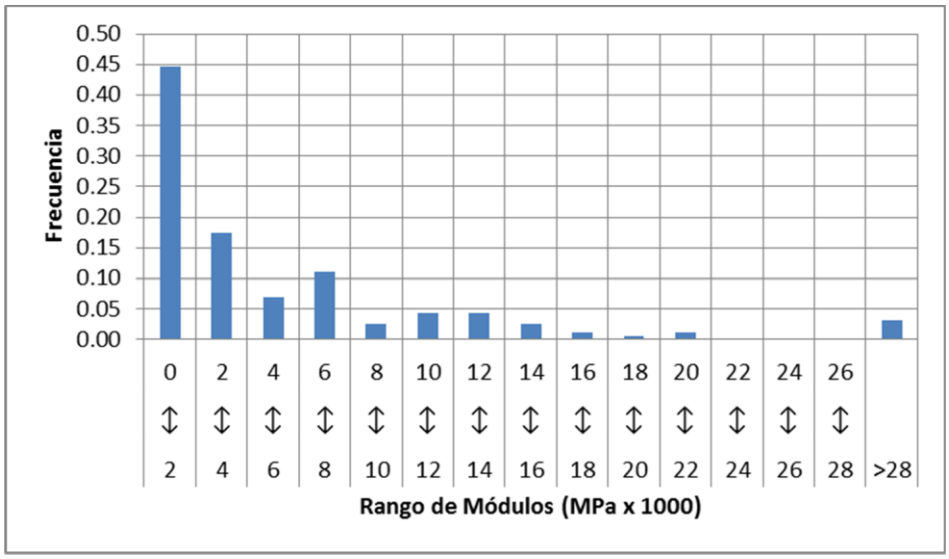


Figura 2 - 4 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil

Si el tramo de estudio más interesante por la cantidad y relevancia en el diseño, se genera un detalle de las frecuencias de los módulos retroanalizados de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®, entre 0 y 2.000 MPa, el cual se presenta en la Figura 2-5. Se observa que el valor mínimo es de 200 MPa (que se concentran en los tramos de prueba que se construyeron para fallar en el periodo de estudio), mientras que los valores más frecuentes en ese rango se encuentran entre 400 MPa y 1.200 MPa.

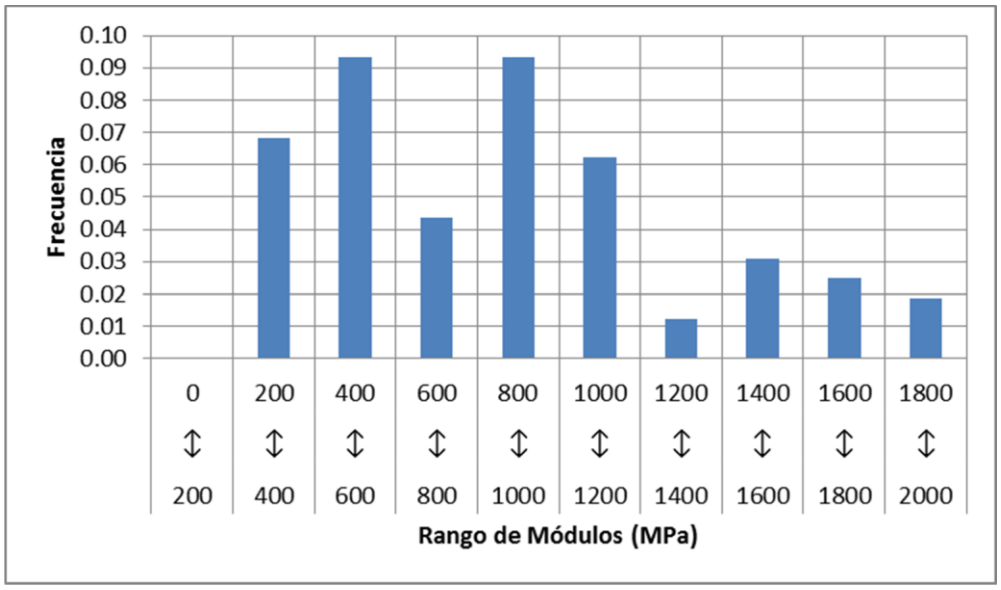


Figura 2 - 5 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil

Adicionalmente se compararon los resultados de mediciones en temporada seca y húmeda. En la Figura 2-6 se observa que, junto con presentar módulos considerables, se tiene un módulo retenido del 70% en condiciones de alta humedad, lo que es considerado adecuado para este tipo de soluciones.

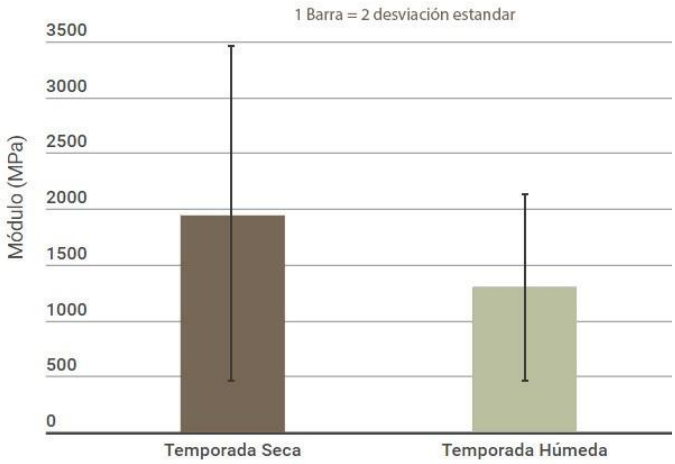


Figura 2 - 6 Resultados de módulos en condiciones secas y húmedas

2.2 Ensayos de Laboratorio

2.2.1 Objetivos

El objetivo del trabajo experimental del laboratorio es caracterizar mecánicamente un conjunto de materiales de suelo estabilizados con aditivo liquido iónico PROES®. Para lograr el objetivo, se llevó a cabo una serie de ensayos de laboratorio comúnmente utilizados en ingeniería de caminos, donde se aplica un amplio rango de tensiones y deformaciones esperadas en el pavimento producto de la carga aplicada por los vehículos. Las mediciones obtenidas en estos ensayos permiten comparar el aditivo liquido iónico PROES® con otros materiales para pavimentos. Por otro lado, las propiedades mecánicas obtenidas a partir de estas mediciones permiten modelar estructuralmente el comportamiento del material y asociarlo a su desempeño en terreno.

Los principales ensayos realizados son:

- CBR (Razón de Soporte California o California Bearing Ratio)
- UCS (Resistencia a la Compresión no Confinada o Unconfined Compressive Strength)
- CNC (Compresión No Confinada)
- ITS (Resistencia a la Tracción Indirecta o Indirect Tensile Strength)
- MrTx (Módulo Resiliente Triaxial)

2.2.2 Materiales

Para el estudio de laboratorio se utilizaron suelos 2 de baja capacidad de soporte e inestables, justamente enfocados en generar soluciones de pavimentos con materiales abundantes, pero que no sean factibles de utilizar en su estado natural para el diseño y construcción de caminos. Uno de los suelos corresponde a una arcilla de alta plasticidad (CH), mientras que el segundo material es esta misma arcilla mezclada con una arena. Las características de cada suelo se presentan en la Tabla 2-3. El CH se eligió justamente por tratarse de un suelo de mala calidad, (alto porcentaje finos, límite líquido alto y bajo CBR). Los suelos con límites líquidos e índices de plasticidad más bajos (SC, CL, SM, GC) sistemáticamente presentan mejores resultados de estabilización con aditivo liquido iónico PROES® que los materiales estudiados.

Tabla 2 - 3 Caracterización de suelos utilizados

Norma	Característica o Propiedad	Arcillla (CH)	Arena: Arcilla 1:1
Granulometría MC 8.102.1-LNV 105	Pasante malla 4 (%)	100	99.3
	Pasante malla 40 (%)	65.1	34.7
	Pasante malla 200 (%)	**54.5**	**21.8**
Límites de Atterberg MC 8.102.3-LNV 89 MC 8.102.4-LNV 90	Límite líquido o LL (%)	**50.9**	**36.7**
	Límite plástico o LP (%)	**24.1**	**19.3**
	Índice de plasticidad o IP (%)	26.8	17.4
Proctor Modificado MC 8.102.3-LNV 89	Densidad máxima compactada húmeda (t/m^3)	2.093	2.190
	Humedad óptima de compactación (%)	13.5	9.5
	Densidad máxima compactada seca (t/m^3)	1.844	2.000
MC 8.102.11-LNV 92	CBR al 95% de la DMCS (%)	7	28

Los estabilizadores utilizados en el estudio fueron el aditivo líquido Iónico PROES® y los aditivos sólidos P+C (Portland más Cenizas), y Cal. Este tipo de aditivos sólidos, en particular la cal, se utiliza cuando se tienen suelos arcillosos de alta plasticidad como la arcilla CH incluida en el estudio.

2.2.3 Resultados laboratorio

Razón de Soporte California (CBR)

Los CBR se dejaron 7 días al aire permitiendo la reacción química de los aditivos y posteriormente fueron saturados por 4 días bajo el agua siguiendo el procedimiento de un ensayo tradicional. Los resultados de CBR para suelos estabilizados se presentan en la Figura 2-7 y además se incluyen los resultados de los suelos sin tratar como punto de referencia.

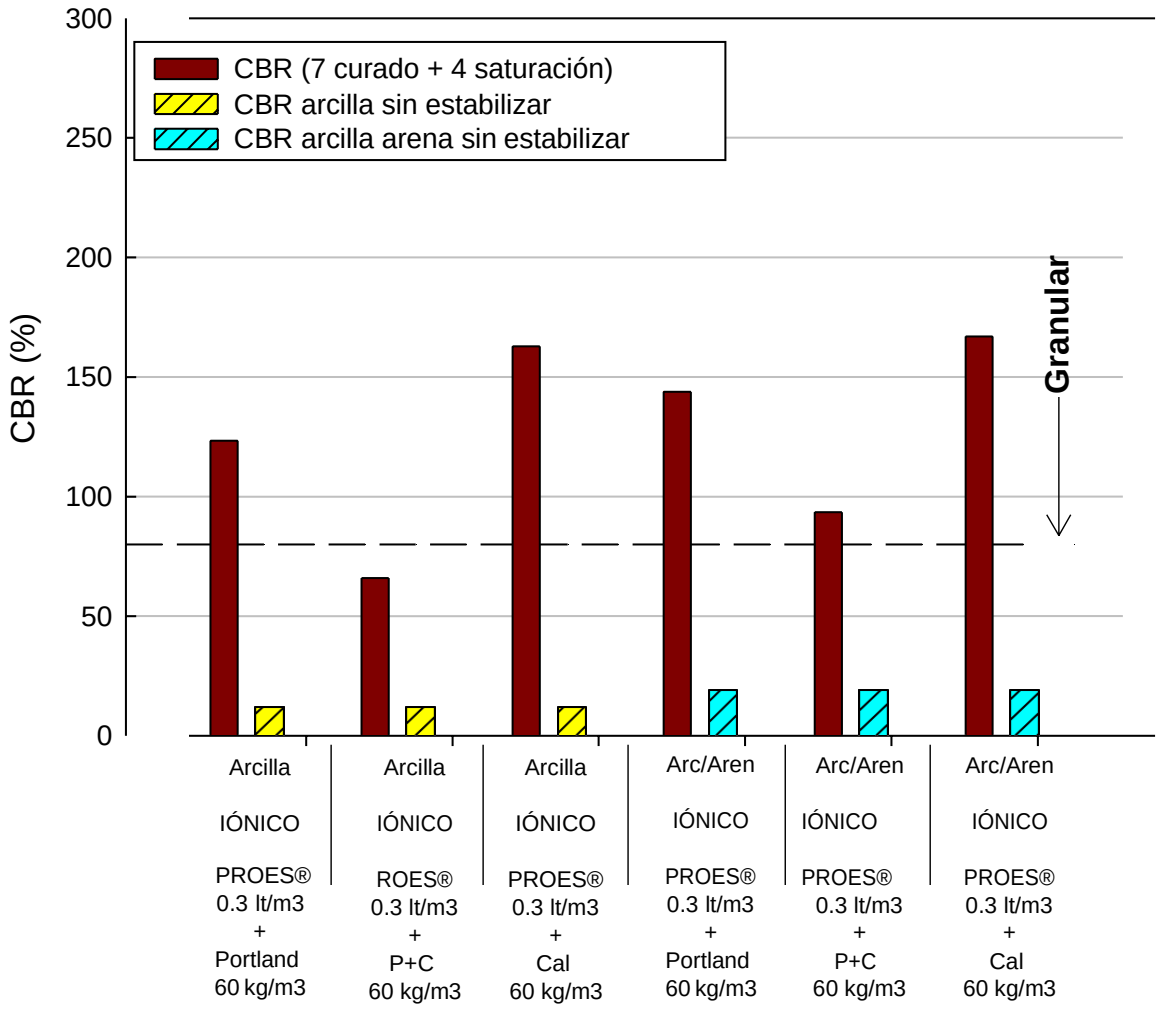


Figura 2 - 7 Resultados ensayos CBR (P=Cemento Portland, C=Ceniza)

Se observa un desempeño superior con el uso de Cal, lo que es esperable en función de las características de la arcilla utilizada.

Ensayos de Resistencia a la Compresión y Compresión No Confinada (UCS y CNC)

Tal como en el caso del CBR, los resultados de las Figura 2-8 muestran un incremento importante en la resistencia a la compresión de los materiales estabilizados, así como también un aumento de la resistencia en función del tiempo de reacción (cercana al 50%).

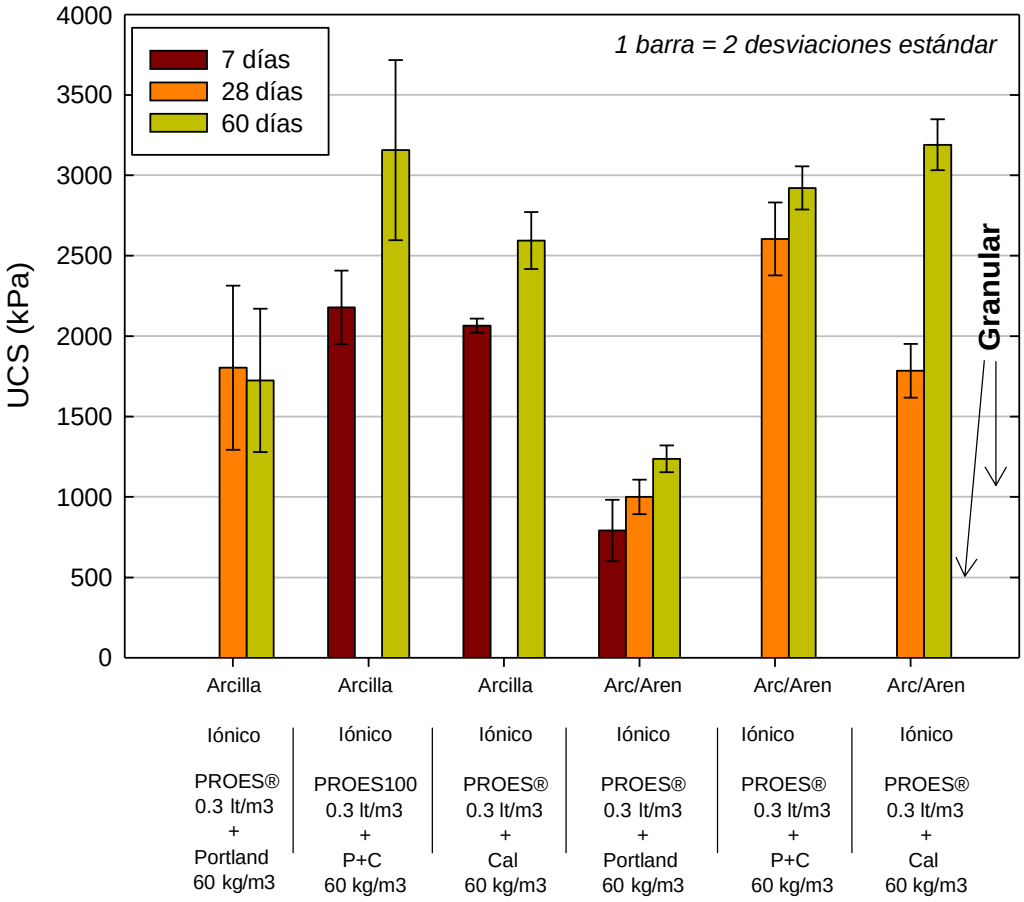


Figura 2 - 8 Resultados de resistencia a la compresión no confinada, UCS (P=Cemento Portland, C=Ceniza Volante)

Además del ensayo UCS tradicional se realizó el ensayo CNC, similar al ensayo UCS ya que es un ensayo de compresión, pero se confeccionan probetas de menor tamaño para que al llevarlas a saturación por 4 horas se genere una condición más desfavorable.

Los resultados presentados en la Figura 2-9 corresponden a la *resistencia retenida* del suelo arcilla (CH) tratada sin el aditivo líquido y con el aditivo líquido Iónico PROES®. La resistencia retenida se define en este caso como la razón o cociente entre la resistencia saturada y la resistencia a humedad natural.

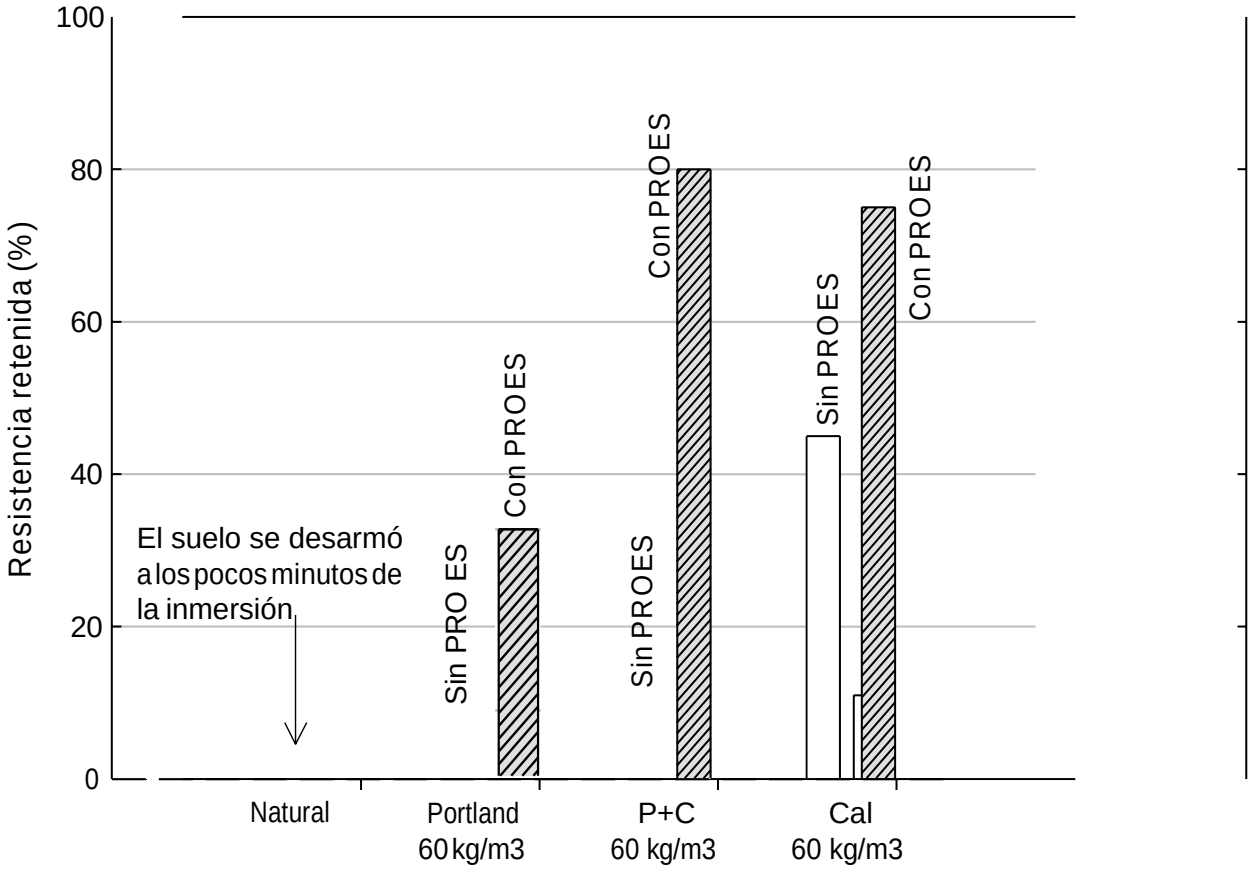


Figura 2 - 9 Resistencia retenida en ensayos CNC, tiempo de reacción 7 días.

Resistencia a la Tracción Indirecta (ITS)

Los resultados para los ensayos en tracción indirecta ITS se presentan en la Figura 2-10. En este caso se ensayaron todas las mezclas a 7, 14 y 60 días de edad. Se observa que todas las mezclas tienen una resistencia a la tracción indirecta sobre los 100 kPa para los 7 días de edad y en general presentan una tendencia creciente en el tiempo, particularmente las que usan cal como aditivo sólido (el más apropiado para el suelo CH).

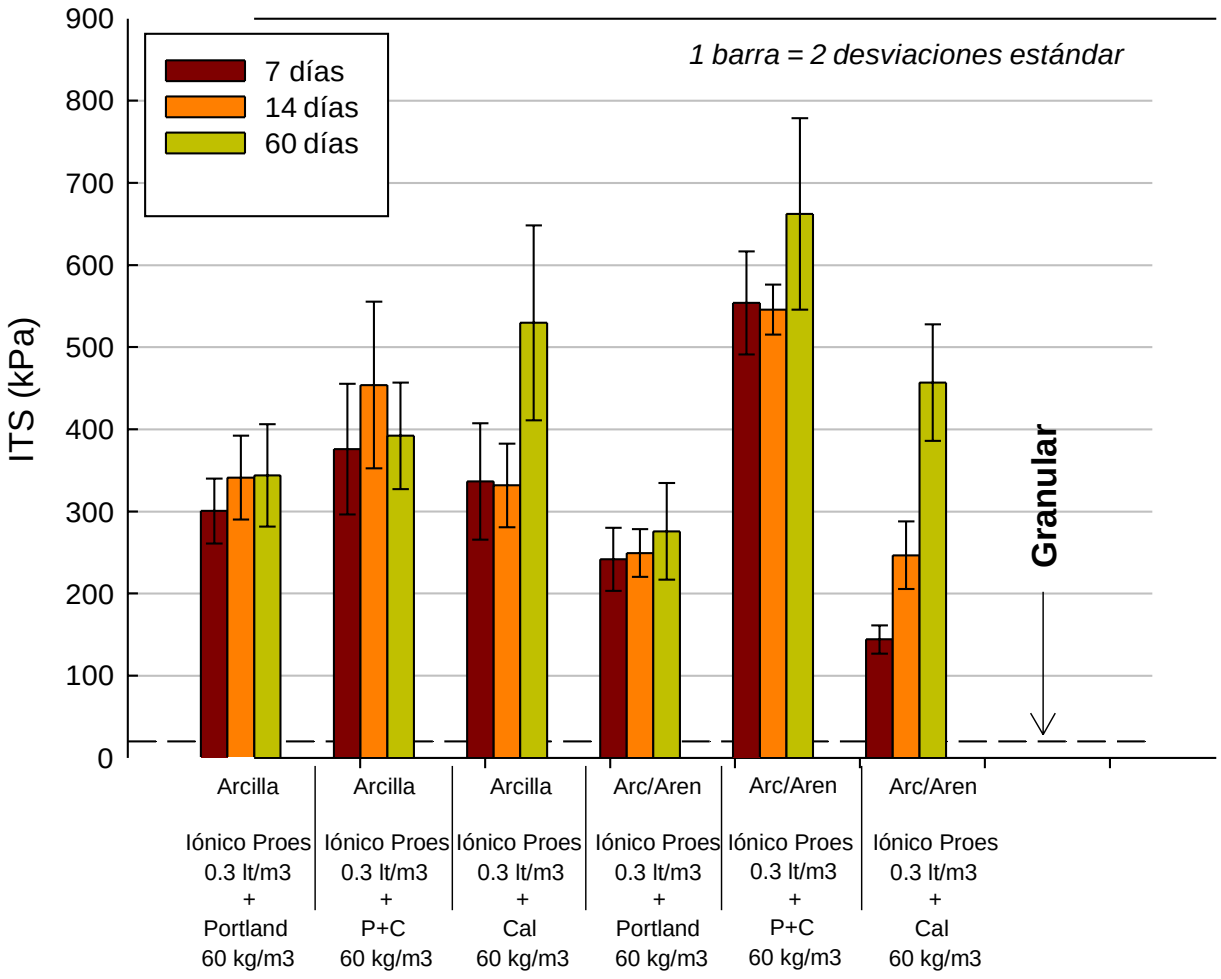


Figura 2 - 10 Resultados de ensayos de resistencia a tracción indirecta (ITS) a 7, 14 y 60 días de edad

Módulo de Resiliente Triaxial (MrTx)

El módulo resiliente se define como el cociente entre el esfuerzo desviador aplicado y la deformación unitaria elástica en cada ciclo de carga. El ensayo para medir el módulo resiliente consiste en someter una probeta a un estado de tensiones compuesto por una presión de confinamiento y un esfuerzo desviador dinámico. Se dispone de resultados de módulo resiliente triaxial a 7, 14, 28 y 365 días de edad. Los resultados entregados en la Figura **2-11** representan sólo el módulo *promedio* de los 15 ciclos de carga que se deben realizar, mientras que la Figura 2-12 entrega los resultados en condiciones de saturación para evaluar la estabilidad de la solución.

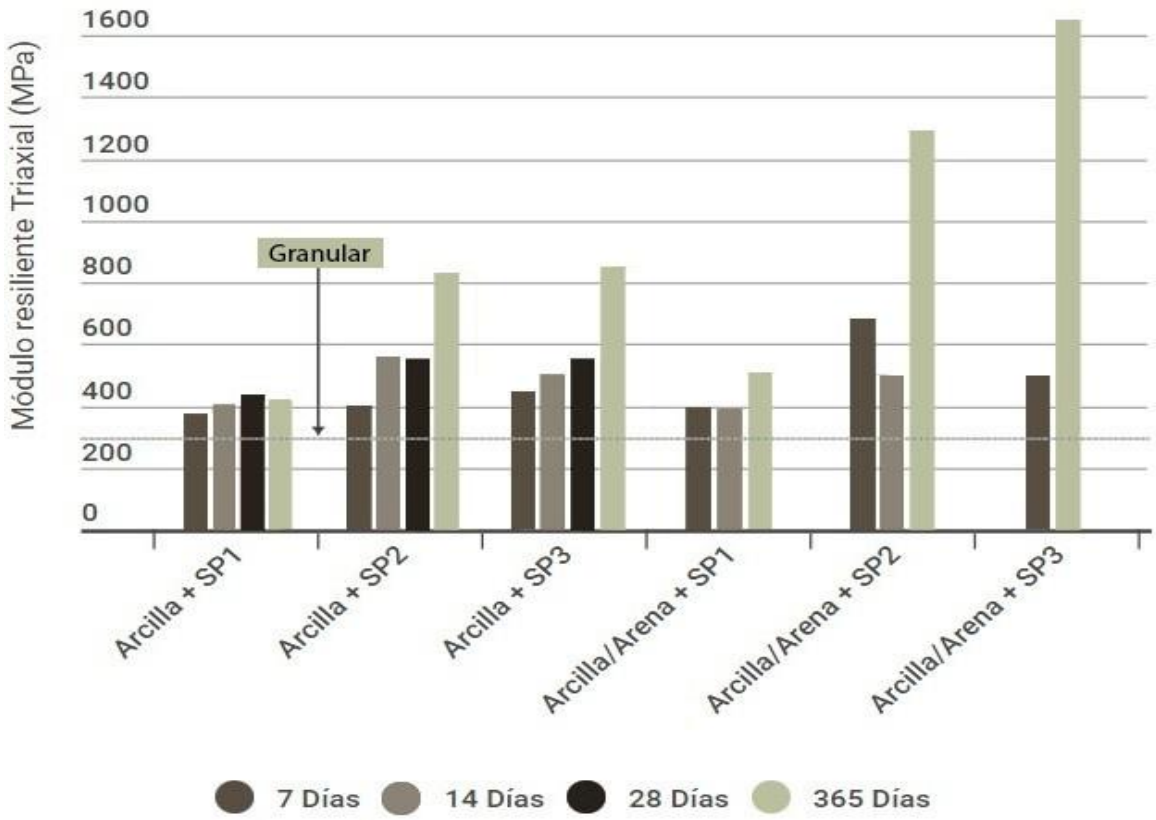


Figura 2 - 11 Resultados de ensayos de módulo triaxial a 7, 14, 28 y 365 días

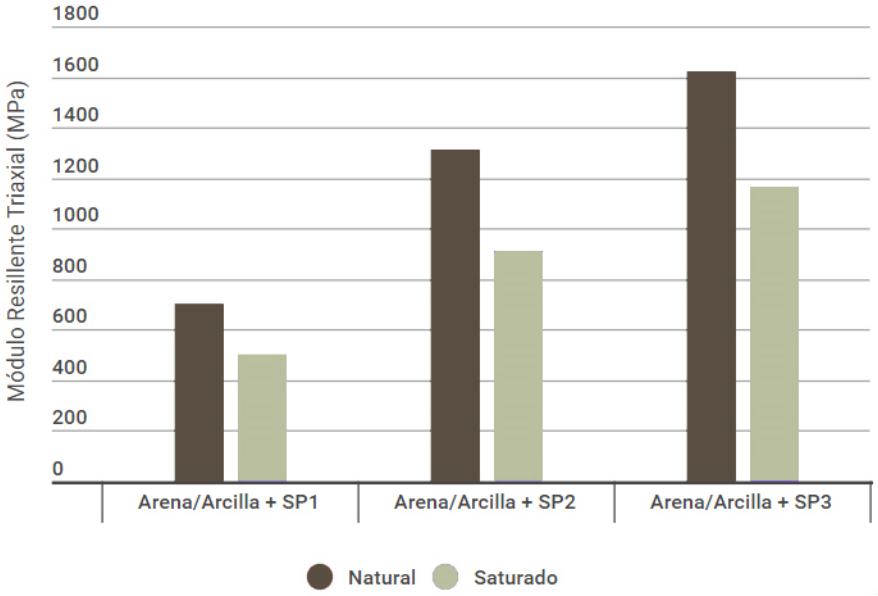


Figura 2 - 12 Resultados de ensayos de Módulo Resiliente Triaxial (MrTx) en condición natural y saturada a los 365 días de confección para una mezcla arcilla/arena

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el primer capítulo de este documento se realiza una breve descripción de la estabilización química y los fundamentos de la Tecnología PROES® con aditivo liquido iónico PROES®, mientras en el segundo capítulo se entrega el resultado de la evaluación en terreno y laboratorio, de manera que se permita conocer el desempeño y comportamiento mecánico de suelos estabilizados con la tecnología. En este tercer capítulo, se analizarán los resultados, con el fin de entregar herramientas de diseño para pavimentos que utilicen la Tecnología PROES® con aditivo liquido iónico PROES®, ordenado los argumentos a partir las características distintivas de los suelos tratados con la tecnología:

3.1 Resistencia

La característica básica de diseño para los pavimentos es la resistencia de sus capas, la cual puede ser evaluada tanto por los ensayos de terreno como laboratorio y representada, según corresponda, con coeficientes estructurales, módulos elásticos, CBR, UCS e ITS.

El método AASHTO 93 asigna un coeficiente estructural a cada una de sus capas como representación de aporte, siendo valores característicos el 0,13 para bases granulares, 0,17 para bases estabilizadas con cemento y 0,43 para carpetas asfálticas. De acuerdo a la medición de FWD, que permite estimar el coeficiente estructural de una capa de pavimento, las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® estudiadas tienen un rango amplio debido a la diferencia de materiales y edades de los caminos, pero que permiten señalar que más del 75% de las mediciones entregan un coeficiente mayor a 0,15 y cerca del 50% son iguales o mayores a 0,17, tal como se refleja en el histograma de la Figura 3-1.

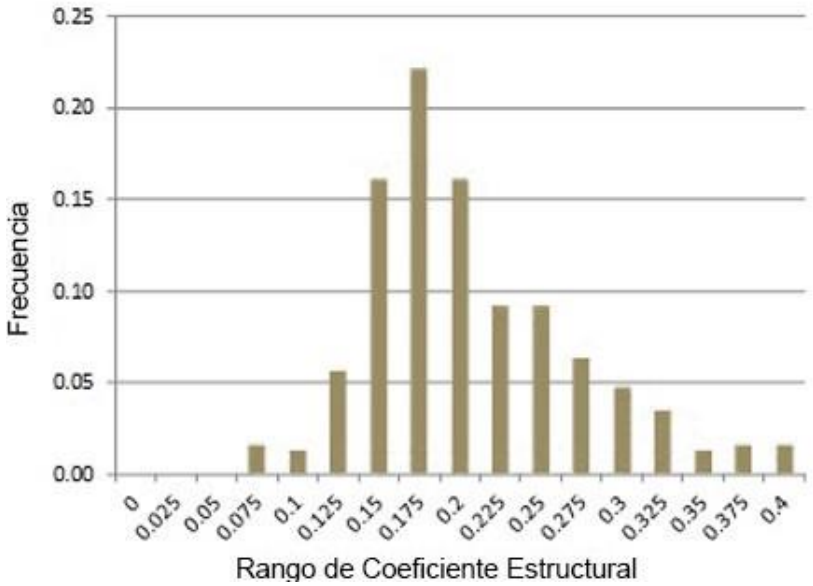


Figura 3 - 1 Frecuencia de coeficientes estructurales

Sumado a lo anterior, con la información recopilada fue posible generar una relación altamente consistente entre el módulo resiliente de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® y su coeficiente estructural, tal como se observa en la Figura 3-2, lo que entrega una excelente herramienta de diseño y control.

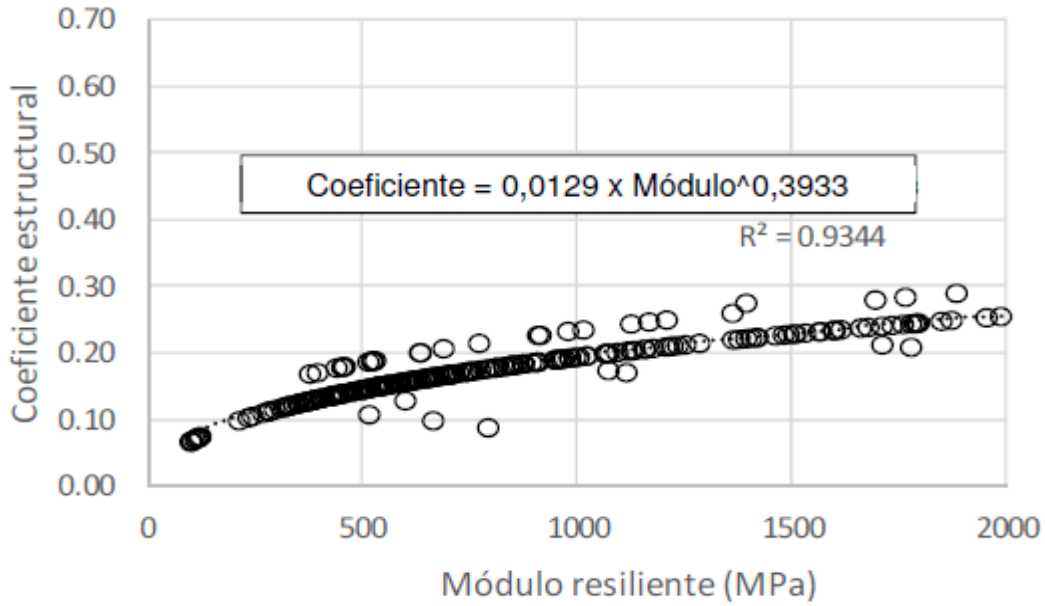


Figura 3 - 2 Relación entre el módulo resiliente de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® y su coeficiente estructural

A partir de los ensayos de laboratorio, (CBR, UCS, módulo resiliente e ITS) se concluye lo siguiente:

- CBR (Figura 2-7): El efecto de la estabilización a los 7 días es evidente, generando aumentos significativos de CBR en todos los casos, dependiendo la magnitud del aumento del tipo de aditivo sólido incorporado junto al aditivo líquido Iónico PROES®. Si bien los ensayos CBR se hicieron sólo a 7 días de edad y aún no alcanzan su resistencia máxima, la mayoría de los valores superan el equivalente de una base granular de buena calidad. Se observa además el importante aumento de resistencia que tiene la arcilla o suelo CH, el cual pese a ser un suelo con baja resistencia, al estabilizarlo con el aditivo líquido Iónico PROES® y cal como aditivo sólido, su resistencia aumenta por sobre 150% CBR, confirmando la buena reacción que tienen este tipo de suelos con la unión de ambos aditivos.

- UCS (Figura 2-8): Los resultados indican que las resistencias promedio fluctúan entre 791 kPa y 3.157 kPa según el tipo de aditivo sólido y tiempo de curado, presentando una variabilidad baja (coeficientes de variación menores a un 30%), y rangos de resistencia superiores a lo que se puede alcanzar con un buen material granular, que tiene una resistencia a la compresión no confinada del orden de 500-1000 kPa.

- ITS (Figura 2-10): Se observa que en general la resistencia ITS va aumentando con la edad (60 días) y alcanza valores promedio entre 276 kPa para la arcilla más cemento Portland y 662 kPa para el caso de la arcilla con arena más Portland y Ceniza Volante. En general para proyectos de pavimentos que incluyen estabilización de asfalto espumado, el ITS esta en torno a 600-800 kPa, por lo que los valores alcanzados son satisfactorios considerando que la estabilización con aditivo liquido iónico PROES® no utiliza un ligante como lo es el asfalto. Se observa un aumento de resistencia promedio de aproximadamente un 20% entre 7 y 60 días.

- Módulo (Figura 2-11): El módulo resiliente promedio a los 7 días de edad para todas las mezclas estudiadas es de 470 MPa, superior al de una base granular de buena calidad que fluctúa entre 250-350 MPa. Adicionalmente su resistencia sigue en aumento hasta un año después de la estabilización. En base a los resultados obtenidos, se considera que el módulo a 7 días corresponde al 50% de lo que se llega después de un año y que corresponde al módulo representativo de diseño.

Como resumen, las bases y suelos tratados con la Tecnología Proes® con aditivo liquido iónico PROES® tienen características estructurales muy superiores a los de una base granular de buena calidad. No es posible hacer una comparación directa con los suelos estabilizados con cemento o asfalto utilizando los ensayos de UCS e ITS, pero en base a los módulos y coeficientes estructurales obtenidos, se desprende que es una solución (al menos) equivalente en términos de resistencia.

3.2 Estabilidad

Otra característica fundamental de materiales estabilizados es que el comportamiento de resistencia sea similar tanto en condiciones secas o naturales y en saturación. Se entiende como “estable” aquel material que mantiene al menos el 70% de sus características mecánicas bajo condiciones de saturación.

Con el fin de verificar el cumplimiento de este parámetro, se evaluó dicha característica en los ensayos presentados en el capítulo 2, encontrando que

- En la Figura 2-6 se observa que los módulos medidos en invierno y verano tienen una variación menor al 30%, confirmando la estabilidad del material frente a los cambios de humedad. Ese mismo análisis, si lo realizamos considerando los coeficientes estructurales también presenta buen comportamiento en la época húmeda, incluso en aquellos caminos con su vida útil cumplida (Figura 3-3).

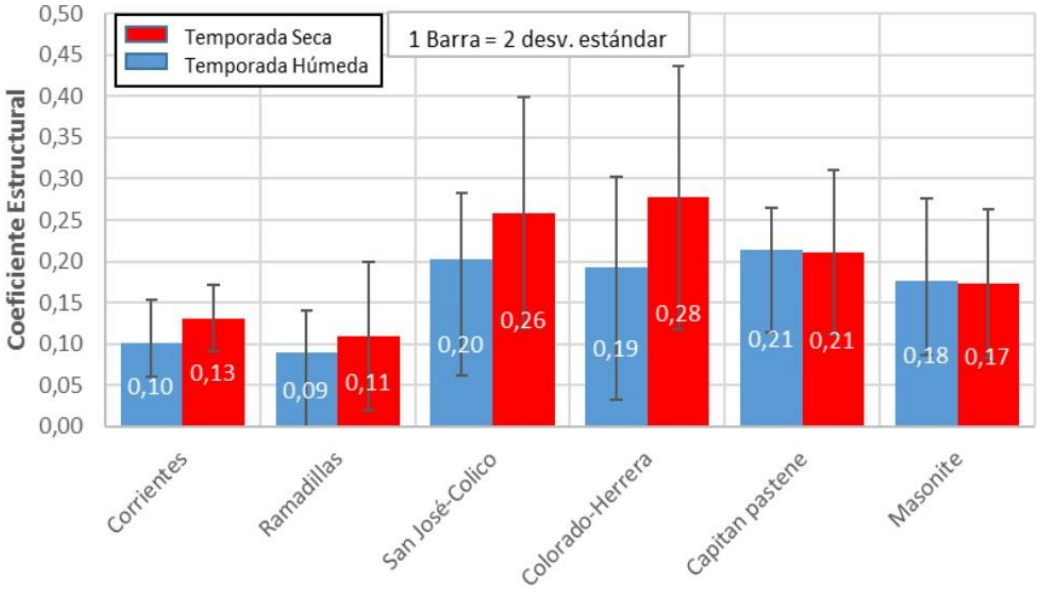


Figura 3 - 3 Comparación coeficientes en época seca y húmeda

- En términos de módulo en laboratorio, se realizaron ensayos sobre las muestras estabilizadas, obteniendo valores sobre el 70% en el módulo retenido (Figura 2-12), lo que es consistente con lo medido en terreno.

- En un ensayo más ácido (CNC), como se aprecia en la Figura 2-9, es importante notar que los suelos tratados con aditivo sólido más aditivo líquido tienen una resistencia retenida considerablemente mayor el mismo suelo con aditivo sólido sin la adición de aditivo líquido, mientras que los suelos sin estabilización o naturales no resisten la saturación en agua y se desarman a los pocos minutos. En otras palabras, se observa que el efecto del aditivo líquido lónico PROES® sobre el suelo estudiado es el aumento de estabilidad del suelo tratado.

3.3 Durabilidad

Una condición relevante para la evaluación y uso de una tecnología de estabilización es determinar si las mejoras incorporadas al suelo tienen una condición de término distinta a la

que corresponde a la fatiga de los materiales, por lo que como parte del estudio en terreno se estudió la evolución de la resistencia y su permanencia en el tiempo.

La deflectometría de impacto se realizó sobre una gran extensión de caminos donde se ha aplicado la tecnología PROES®. Los caminos estudiados son representativos de diversas estructuras, tránsito y suelo de subrasante. De los análisis efectuados se deriva que el módulo de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® normalmente varía entre 500 MPa en su condición 'terminal' hasta un rango de 2.000-10.000 MPa, que resulta ser el módulo de trabajo del material. Como se explicará más adelante, una vez construida la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® se observa un aumento de módulo producto de la reacción de los aditivos químicos, de la evaporación del agua y de la densificación de la capa producto del tráfico. A partir estas observaciones se infiere que la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® tiene un comportamiento en tres fases, como los materiales semi-ligados (Figura 3-4):

- Fase I: Desde el inicio de la construcción hasta que el módulo se estabiliza.
- Fase II: Fase estable, que corresponde a la mayor parte de la vida del pavimento.
- Fase III: Fase terminal, correspondiente a cuando el pavimento ha cumplido su vida útil.

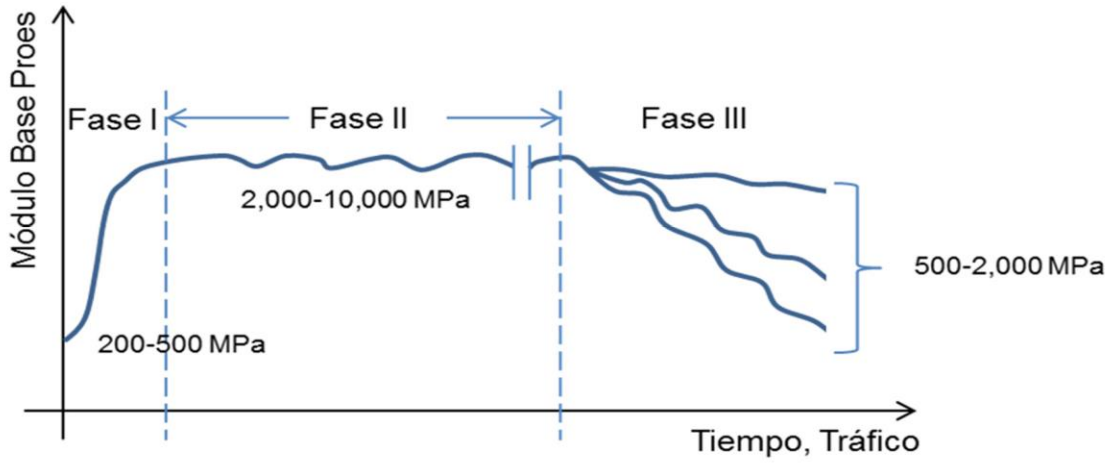


Figura 3 - 4 Esquema de evolución del módulo de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® en el tiempo

3.4 Flexibilidad

Tal como ha sido mencionado en el presente documento, la Tecnología PROES® considera el uso de un aditivo sólido y un aditivo líquido iónico. Este último es elaborado por PROES®, mientras que el aditivo sólido puede ser cemento, cal, cenizas u otro filler mineral.

La cuarta característica deseable es la flexibilidad, en el sentido de evitar condiciones de fragilidad y rigidez, tal como ocurre con frecuencia en las bases tratadas sólo con cemento. La experiencia y evaluación funcional de los caminos en operación confirma que el uso de la tecnología no genera fisuras o reflejo de grietas, tema que sería particularmente visible al usar recubrimientos asfálticos de bajo espesor. Mientras en laboratorio, junto con lo ya analizado del ensayo ITS (Figura 2-10), las mezclas tratadas tienen un comportamiento asociado a un material semi-ligado. El comportamiento semi-ligado corresponde a un rango intermedio entre un material ligado (las mezclas asfálticas) y no ligado (los materiales granulares o suelos). Estos materiales que tienen un aumento significativo de resistencia en el tiempo, pero siguen presentando características similares a los materiales granulares, es decir, una dependencia de la tensión de trabajo y una relativa baja resistencia a la tracción indirecta. El hecho de no tener una alta resistencia a la tracción indirecta no es algo necesariamente negativo, ya que materiales con esta característica son normalmente más frágiles y concentran mayores tensiones, las que se asocian a la generación de grietas.

Por otro lado, la determinación de la flexibilidad está asociado al concepto de semiligado y éste a la condición de tensodependencia que debe tener el suelo estabilizado. Para evaluar esta característica, durante el ensayo triaxial se obtuvo el comportamiento (módulo) en cada uno de los 15 ciclos, obteniendo los datos de la Figura 3-5.

En los ensayos se registró una tenso-dependencia del módulo, es decir, para distintas condiciones de carga se obtuvieron distintos módulos. Por lo tanto, las mezclas estudiadas también presentan características similares a las de un material granular y no así a materiales cementados, en otras palabras, no son rígidos.

Los datos entregados en la Figura **2-11** representan sólo el módulo *promedio*, sin embargo, el módulo resiliente observado en los ensayos triaxiales realmente depende del estado de tensiones, donde se pueden obtener valores hasta el doble del módulo promedio.

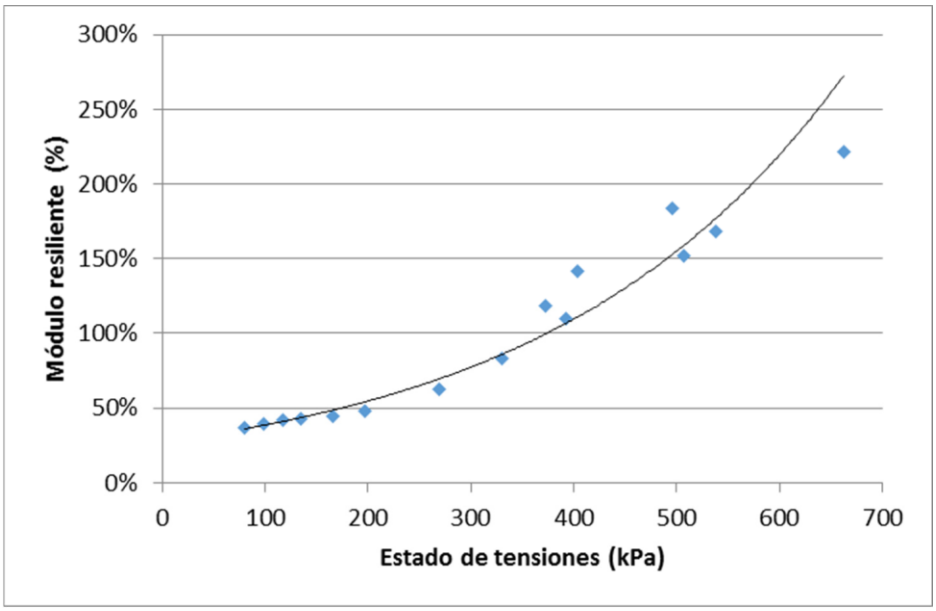


Figura 3 - 5 Módulo resiliente en función del desviador de tensiones

3.5 Parámetros de Diseño Estructural de Pavimentos

A continuación, se presentan recomendaciones para el diseño con Tecnología PROES® la con aditivo liquido iónico PROES®, en función de caracterización mecánica de la estabilización presentada en el capítulo anterior.

a. Para el caso de metodologías o métodos empírico-mecanicistas para el diseño de pavimentos, el parámetro básico es el módulo elástico, el cual permite caracterizar la respuesta de elasticidad de los materiales que componen el pavimento. De acuerdo resultados expuestos anteriormente, para bases de pavimentos flexibles, la capa estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® se caracteriza por módulos entre 500 y 1.000 MPa, dependiendo de los aditivos, dosis y tipo de suelo tratado.

b. Para el caso de método AASHTO 93 el coeficiente estructural estará sustentado por su módulo elástico y la relación presentada en la Figura 3-2 presentada anteriormente:

Coeficiente estructural = 0,0129 * (Módulo PROES®) ^ 0,3933

Para determinar el Módulo Proes®, se debe realizar el ensayo de módulo triaxial dinámico (7 días), multiplicarlo por 2 (por efecto de la reacción al plazo de un año) y utilizar la fórmula anterior. Por ejemplo, con un módulo de laboratorio de 500 MPa a 7 días, se obtiene un módulo de diseño para la base Proes de 1.000 MPa. Aplicado este último sobre la fórmula, se obtiene un coeficiente de 0,20.

En caso de no contar con la información de módulo, el coeficiente estructural de una base Proes® se determina en función de los ensayos de CBR y Resistencia a la compresión (UCS), cuyas relaciones quedan resumidas en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 3 - 1 Determinación coeficientes estructurales según ensayo CBR y UCS

CBR 7 días [%]	Resistencia 28 días [MPa]	Modulo PROES® [MPa]	Coeficiente Estructural
≥ 100 %	1.2	500	0.15
≥ 100 %	1.5	700	0.17
≥ 100 %	1.8	1000	0.20
≥ 100 %	2.5	1300	0.22

Para los casos que lo suelos tratados tengan CBR < 100% (subbases, terraplenes y mejoramientos de subrasante), se recomienda usar las recomendaciones AASHTO de acuerdo con el CBR.

4 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA PROES®

El principio fundamental de la Tecnología PROES® con aditivo liquido iónico PROES® es la reacción química de los aditivos con suelos que tienen algún grado de plasticidad, mejorando considerablemente el comportamiento del suelo frente al agua y las cargas de tránsito. Luego del análisis de los suelos a estabilizar y de la determinación de la dosificación, la estabilización se realiza agregando al material o suelo natural las dosis estudiadas del aditivo sólido y el aditivo líquido iónico, logrando una mezcla homogénea, y compactando hasta alcanzar compactación de diseño (al menos el 95% de la Densidad Máxima Compactada Seca, DMCS). El espesor de la base y la dosificación de los aditivos quedan definidos por el diseño de ingeniería, en función de los resultados de laboratorio, y es parte de la tecnología.

La estabilización con Tecnología PROES® permite generar estructuras con una capacidad de soporte y durabilidad equivalente a las estructuras de pavimento tradicionales, pero de menor espesor, en general aprovechando los materiales naturales disponibles en el lugar de la construcción. La capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® se considera como semi-ligada, impermeable, cohesiva, flexible y con un módulo elástico que puede variar entre 500 y 10.000 MPa según la dosificación utilizada y las características naturales del suelo a tratar, lo que se traduce en que el material tratado tiene al menos una capacidad estructural equivalente a una base granular de capacidad de soporte CBR ≥ 100%. Estas propiedades mecánicas de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® permiten que, en la mayor parte de los proyectos, la carpeta de rodado o capa de protección sea diseñada exclusivamente para resolver el tema de la abrasión y no para agregar capacidad estructural al pavimento.

El tipo de estructura de pavimento donde se utiliza la base estabilizada con Tecnología PROES, o va a depender del tránsito, clima, estándar requerido y otras condiciones de operatividad e incluyen:

- Superficie asfáltica delgada (tratamiento asfáltico simple o doble, lechada, etc).
- Carpeta asfáltica delgada en caliente
- Losas de hormigón con geometría optimizada

- Adocretos
- Base descubierta



Figura 4 - 1 Aplicaciones de la tecnología

4.1 Usos de la tecnología de la infraestructura vial

La tecnología PROES® se fundamenta en la mejora de las propiedades geomecánicas de los materiales existentes en el proyecto mediante la adición de aditivo, y de acuerdo con el desempeño funcional que se le desea dar a la capa estabilizada dentro de la estructura de pavimento, con el fin de obtener su adecuado comportamiento mecánico, lo cual permite a la tecnología interactuar en cualquier capa de la estructura de pavimento y al tipo de solicitaciones de carga a la que este expuesta la estructura de pavimento estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® en la infraestructura vial de vías de bajo, mediano y alto volúmenes de tránsito, infraestructura portuaria, logística y residencial, para la construcción, mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación de la infraestructura de transporte.

4.2 Ejemplo de comparación con solución tradicional

A modo de ejemplo, se presenta el caso de una solución de pavimento asfáltico o flexible para un camino con una subrasante donde predomina arcilla inorgánica de alta plasticidad con un CBR promedio del orden de 10%. El pavimento se debe diseñar para un tránsito esperado de 1 millón de ejes equivalentes en 10 años de vida útil. En la Figura 4-2 se indica la propuesta con diseño de pavimento tradicional versus la propuesta con la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®, donde se observa la importante reducción de espesor del

material granular a utilizar.



Figura 4 - 2 Ejemplo de diseño tradicional versus la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®.

5 CONCLUSIONES

En función de los estudios de laboratorio y terreno realizados como parte del proyecto INNOVA y la información recopilada en los más de 15 años de experiencia con la Tecnología **PROES®**, las cuales han sido brevemente presentadas en esta sección, se concluye que:

a. Existe consistencia entre la experiencia práctica en terreno, la medición con FWD y los ensayos de laboratorio, lo que respalda el hecho de que los materiales tratado con la Tecnología **PROES®** tienen un comportamiento propio y que difiere del de otros estabilizadores químicos.

b. Los suelos tratados con Tecnología **PROES®** tienen un importante grado de flexibilidad, es decir, la capacidad de deformarse sin fallar, lo cual ha sido observado en laboratorio (ensayo de deformación permanente triaxial) y en terreno.

c. Su comportamiento corresponde a un material semi-ligado, por lo tanto, tiene algunas características de material granular como la tenso-dependencia, pero a la vez un aumento significativo de resistencia y módulo a la compresión. El módulo a la tracción indirecta no tiene un aumento significativo, lo cual confirma que no es un material susceptible al agrietamiento.

d. Su resistencia, medida a través del módulo resiliente, sigue en aumento hasta un año después de la estabilización. En base a los resultados obtenidos, se considera que el módulo a 7 días corresponde al 50% de lo que se podría llegar a alcanzar a largo plazo.

e. La selección del aditivo sólido es importante, ya que se observa en los ensayos que, tanto la resistencia como la estabilidad, varían en función del tipo de suelo y aditivo utilizado (dosis y tipo). En principio se recomienda el uso de cemento portland para suelos de baja a media plasticidad y de cal viva para suelos de media a alta plasticidad.

f. Los suelos tratados con **aditivo liquido iónico PROES®,** con el aditivo y dosis correcta, presentan estabilidad frente al agua, ya que no tienen una significativa disminución en su módulo. Teniendo como premisa que se reconoce como estable a un material que mantiene un 70% de su resistencia (retenida) al estar expuesto con el

agua, cuestión que se cumple con la utilización de la tecnología y la dosificación adecuada.

g. Mediciones en caminos, de hasta 15 años de servicios, muestran que la estructura se mantiene estable, resistente y durable en el tiempo. En promedio las mediciones son del orden de 1.654 MPa, significativamente superiores a una base granular de buena calidad. Del mismo modo, los coeficientes estructurales en la red de caminos estudiada son en promedio de 0.24.

h. Los módulos de los suelos estabilizados con la Tecnología **PROES®** tienen una adecuada correlación con coeficientes estructurales.

ALCALDÍA LOCAL DE KENNEDY

CONTRATO DE OBRA PÚBLICA No. 816-2025

CONTRATAR A MONTO AGOTABLE Y A PRECIOS UNITARIOS, EL DIAGNÓSTICO, MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MOBILIARIO DE LOS PARQUES DE PROXIMIDAD (VECINALES Y DE BOLSILLO) PRIORIZADOS EN LA LOCALIDAD DE KENNEDY

ESTUDIOS Y DISEÑO PARA LA INTERVENCIÓN DE LA CANCHA MÚLTIPLE DEL PARQUE URBANIZACIÓN LAGO DE TIMIZA II ETAPA, CÓDIGO 08-099

GT02-CPK-V1

CONTRATISTA

PRO K
CONSORCIO

CONSULTOR

GEOINGTRO SAS

BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2025

CONTROL DE CAMBIOS DEL DOCUMENTO

ÍNDICE DE REVISIÓN	CAPITULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN
0		11-11-2025	Versión inicial
1		14-11-2025	Respuesta a observaciones oficio CG009-2005

ÍNDICE DE DISTRIBUCIÓN

No.	Distribuir a	No.	Distribuir a
1		4	
2		5	
3		6	

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Contrato No.	816-2025	**Fecha:**	14 de noviembre de 2025
Título del documento	Estudios y diseño para la intervención de la cancha múltiple del parque Urbanización Lago De Timiza II Etapa, código 08-099		
Código del documento	GT02-CPK		

Control Interno Consorcio PRO K – Contrato No. 816-2025	
Revisó:	Aprobó:
Ing. Juan Ricardo Troncoso Rivera Especialista en pavimentos	**Luis Alberto Lora Escobar** Representante Legal
Revisión Externa	
	Representante Legal

TABLA DE CONTENIDO

CONTROL DE CAMBIOS DEL DOCUMENTO 2
ÍNDICE DE DISTRIBUCIÓN 2
REVISIÓN Y APROBACIÓN 2
TABLA DE CONTENIDO 3
LISTA DE ILUSTRACIONES 3
LISTA DE GRÁFICAS 4
LISTA DE TABLAS 4
LISTA DE ECUACIONES 4
LISTA DE FOTOGRAFÍAS 4
INTRODUCCIÓN 5
1 GENERALIDADES 6
1.1 Metodología 6
1.2 Normativa consultada 6
1.3 Condiciones climáticas 6
1.4 Ubicación del proyecto 8
2 ESTRUCTURA EXISTENTE 9
2.1 Condición superficial 9
2.2 Estructura de cancha múltiple existente 9
3 ESTUDIO GEOTÉCNICO 11
3.1 Caracterización geotécnica 11
3.2 Cambios de volumen en la subrasante 12
3.2.1 Potencial expansivo de la subrasante 12
3.2.2 Potencial de contracción de arcillas 13
3.2.3 Recomendación frente al fenómeno de expansión y contracción 14
3.3 Ensayos de capacidad de soporte del suelo 14
3.4 Correlación CBR- MR 14
3.5 Cálculo de la capacidad portante equivalente – CPE 15
4 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE CAPAS 17
4.1 Estructura de la cancha múltiple 17
4.2 Especificaciones técnicas de materiales de construcción 18
5 RECOMENDACIONES GENERALES 19
6 LIMITACIONES 20
ANEXO 1. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I
ANEXO 2. DOCUMENTOS TÉCNICOS DEL ADITIVO LÍQUIDO IÓNICO II

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Parque evaluado 8
Ilustración 2. Perfil estratigráfico promedio encontrado 10
Ilustración 3. Mejoramiento de plataforma con geocelda 16
Ilustración 4. Estructura de cancha múltiple 17
Ilustración 5. Estructura de zona de juegos con uso de cemento y aditivo 18

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Histograma de lluvias, estación Aeropuerto El Dorado 7
Gráfica 2. Días de lluvias en el año, estación Aeropuerto El Dorado 7
Gráfica 3. Temperaturas en el año, estación Aeropuerto El Dorado 8

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de ensayo, norma técnica, cantidad..... 11
Tabla 2. Resultados de ensayos de laboratorio 11
Tabla 3. Clasificación de suelos expansivos..... 12
Tabla 4. Potencial Expansivo de la subrasante 12
Tabla 5. Comparación de contenido de agua de equilibrio y natural 13
Tabla 6. Potencial de contracción de arcillas 13
Tabla 7. Clasificación de potencial de contracción 13
Tabla 8. Análisis de resultados de límite de contracción 14
Tabla 9. Resultados de ensayo CBR 14
Tabla 10. Correlaciones entre CBR Vs MR..... 14
Tabla 11. Cálculo de modulo resultante de refuerzo con geocelda 15
Tabla 12. Estructuras recomendadas por el IDRD en función al CBR obtenido.... 17
Tabla 13. Equivalencias de espesores y tipos de material 18
Tabla 14. Proporciones recomendadas de cemento y aditivo 18

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Humedad de equilibrio..... 13
Ecuación 2. Incremento del módulo del material granular por MIF..... 15

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Condición de la cancha múltiple del parque Urbanización Lago De Timiza II Etapa 9

INTRODUCCIÓN

El Fondo de Desarrollo Local de Kennedy realiza la intervención y mantenimiento integral y preventivo de los parques de proximidad de la localidad de Kennedy, como meta de mejoramiento de espacios saludables para los habitantes.

Los campos y escenarios deportivos requieren ser intervenidos de manera técnica y económica teniendo en cuenta las normas y especificaciones técnicas vigentes del Instituto Distrital de Recreación y Deporte IDRD.

Teniendo en cuenta esta necesidad, el Consorcio PRO K a través de GEOINGTRO S.A.S. realiza los estudios y diseño para la intervención de la cancha múltiple del parque Urbanización Lago De Timiza II Etapa, código 08-099.

1 GENERALIDADES

A continuación, se presenta la metodología, normativa consultada para la elaboración de los estudios y diseños. Asimismo, se define las condiciones climáticas de la zona y la ubicación del sitio a analizar.

1.1 Metodología

Para realizar el análisis y diseño de espesores de los escenarios deportivos se tendrán en cuenta las siguientes actividades:

- Exploración geotécnica en el área donde se encuentra el área a intervenir.
- Ejecución de ensayos de laboratorio, en los cuales se destaca la clasificación del material de subrasante y su evaluación en potencial de expansión.
- Se realiza el análisis geotécnico con la información recolectada en campo y laboratorio.
- Se define la alternativa de intervención, las especificaciones técnicas de los materiales, y especificaciones particulares si es necesario.

1.2 Normativa consultada

Para realizar una apropiada elaboración del diseño, se tendrá en cuenta:

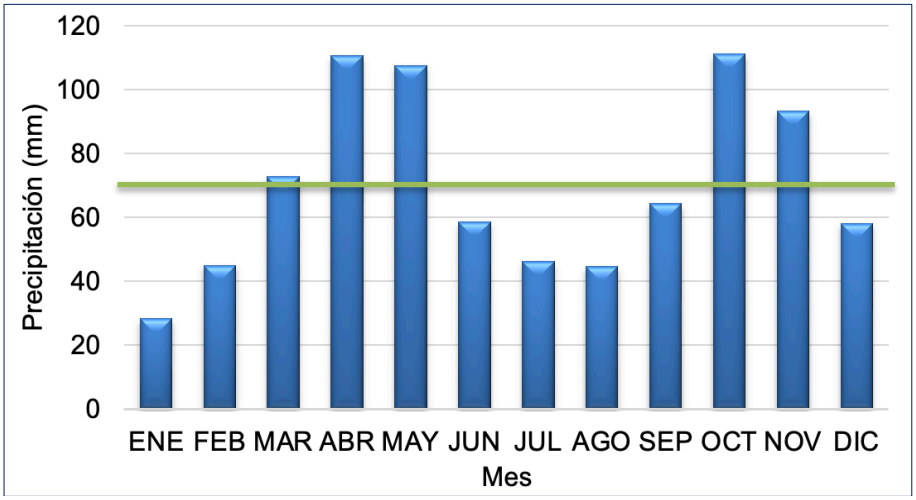
- Manual de especificaciones técnicas de diseño y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá D.C.
- Cartilla de Andenes Bogotá D.C., de la Secretaría Distrital de Planeación, Dirección del Taller del Espacio Público
- Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

1.3 Condiciones climáticas

Las condiciones climatológicas del proyecto se analizan con los datos reportados por la estación Sinóptica Principal (SP) Aeropuerto El Dorado, ubicada en las coordenadas 4°42’20,1”N-74°9’2,4”W y cota de 2.547 m.s.n.m., la cual registra los siguientes parámetros (http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima):

- Precipitación anual: 841,2 mm
- Número de días con lluvia: 189
- Temperatura media: 13,7° C.

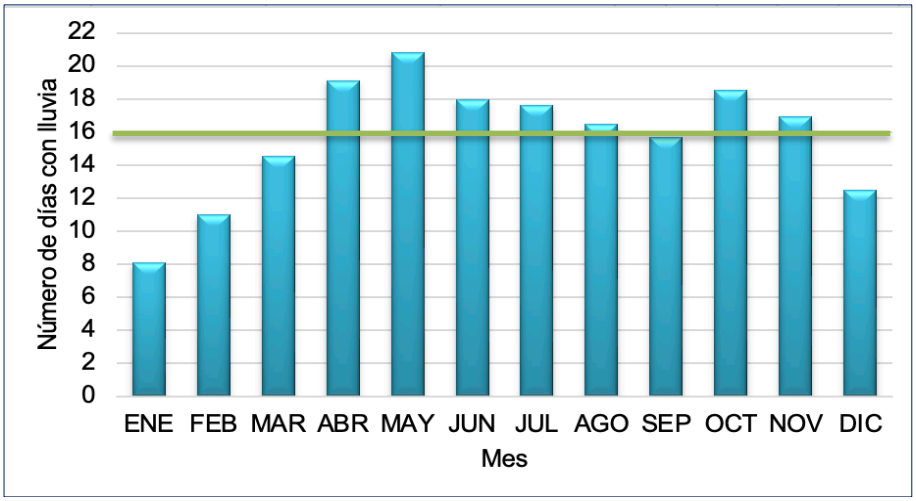
Gráfica 1. Histograma de lluvias, estación Aeropuerto El Dorado



Fuente: Adaptado con datos de www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

Los meses con mayor precipitación son abril, mayo, octubre y noviembre, siendo octubre el que presenta mayor precipitación con 111 mm.

Gráfica 2. Días de lluvias en el año, estación Aeropuerto El Dorado



Fuente: Adaptado con datos de www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

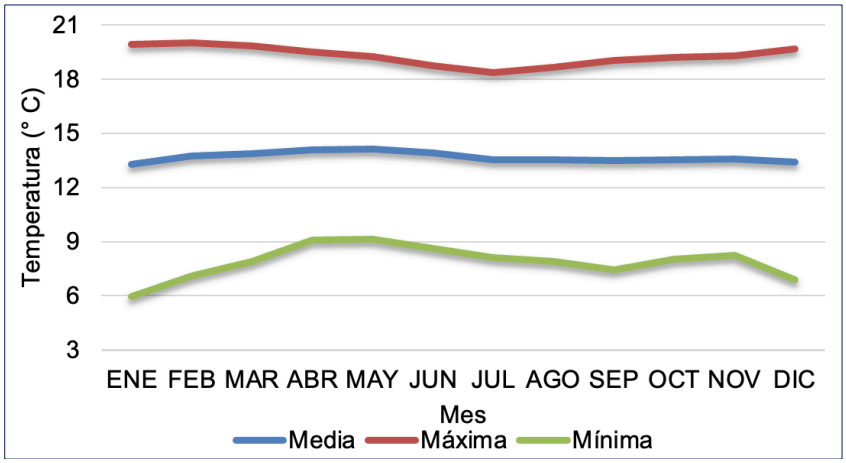
Se determina el porcentaje de tiempo que la estructura estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación en los meses de mayor precipitación, considerando los que presentan valores por encima del promedio.

$$\%tiempo = \frac{días\ de\ máxima\ precipitación}{365} = \frac{19{,}1 + 20{,}8 + 18 + 17{,}6 + 16{,}5 + 18{,}5 + 16{,}9}{365} = 35\%$$

Dadas unas condiciones aceptables de drenaje y teniendo en cuenta este porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad que se acercan a la saturación, el coeficiente de drenaje de los materiales granulares no tratados se define en $m_{SBG-BG} = 0{,}85$ (tabla 2.4 Recommended m_i values for modifying structural layer coefficients of untreated base and subbase materials in flexible pavements. Part II, AASHTO,1993).

Se presenta a continuación, la variación de temperatura durante el año.

Gráfica 3. Temperaturas en el año, estación Aeropuerto El Dorado



Fuente: Adaptado con datos de www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

1.4 Ubicación del proyecto

En la siguiente ilustración se observa la ubicación del parque Urbanización Lago De Timiza II Etapa, código 08-099.

Ilustración 1. Parque evaluado



Fuente: Adaptado IDECA, 2025

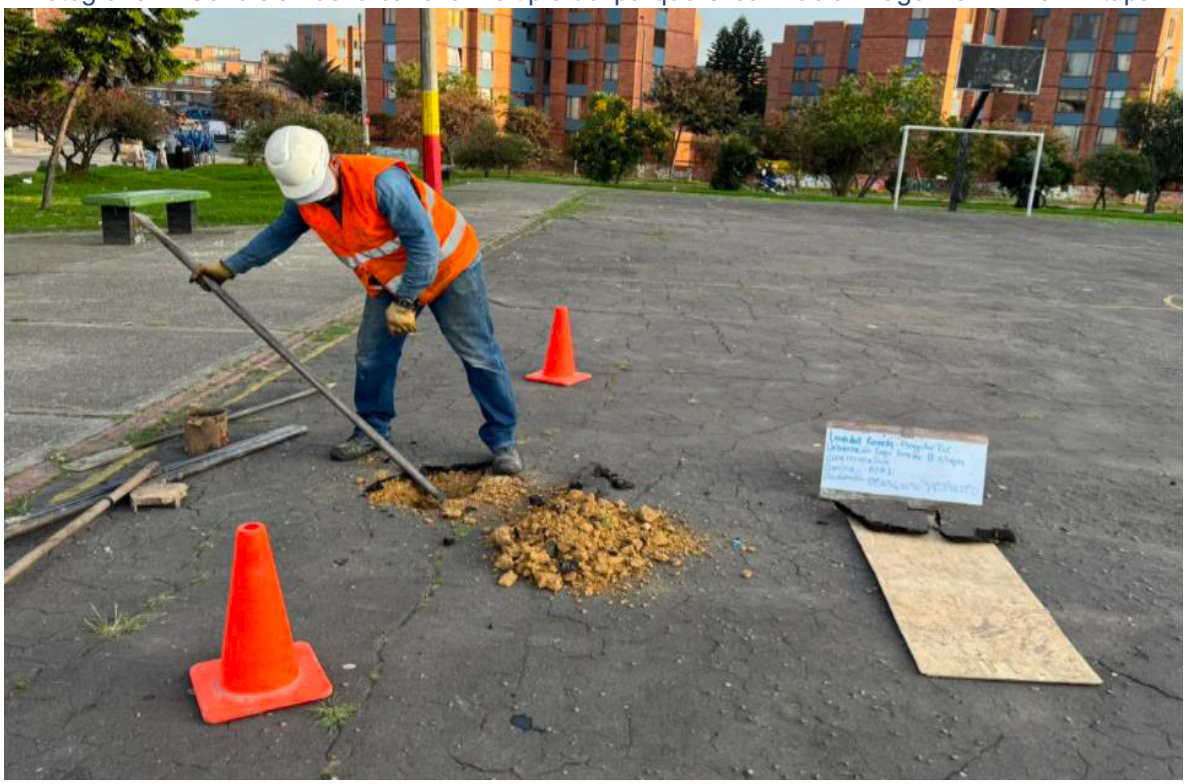
2 ESTRUCTURA EXISTENTE

El área de la zona de juegos se evalúa en dos aspectos: condición superficial, espesores de materiales existentes.

2.1 Condición superficial

A nivel superficial se observa una carpeta asfáltica en mal estado y con agrietamiento en bloque en toda el área de la cancha múltiple.

Fotografía 1. Condición de la cancha múltiple del parque Urbanización Lago De Timiza II Etapa

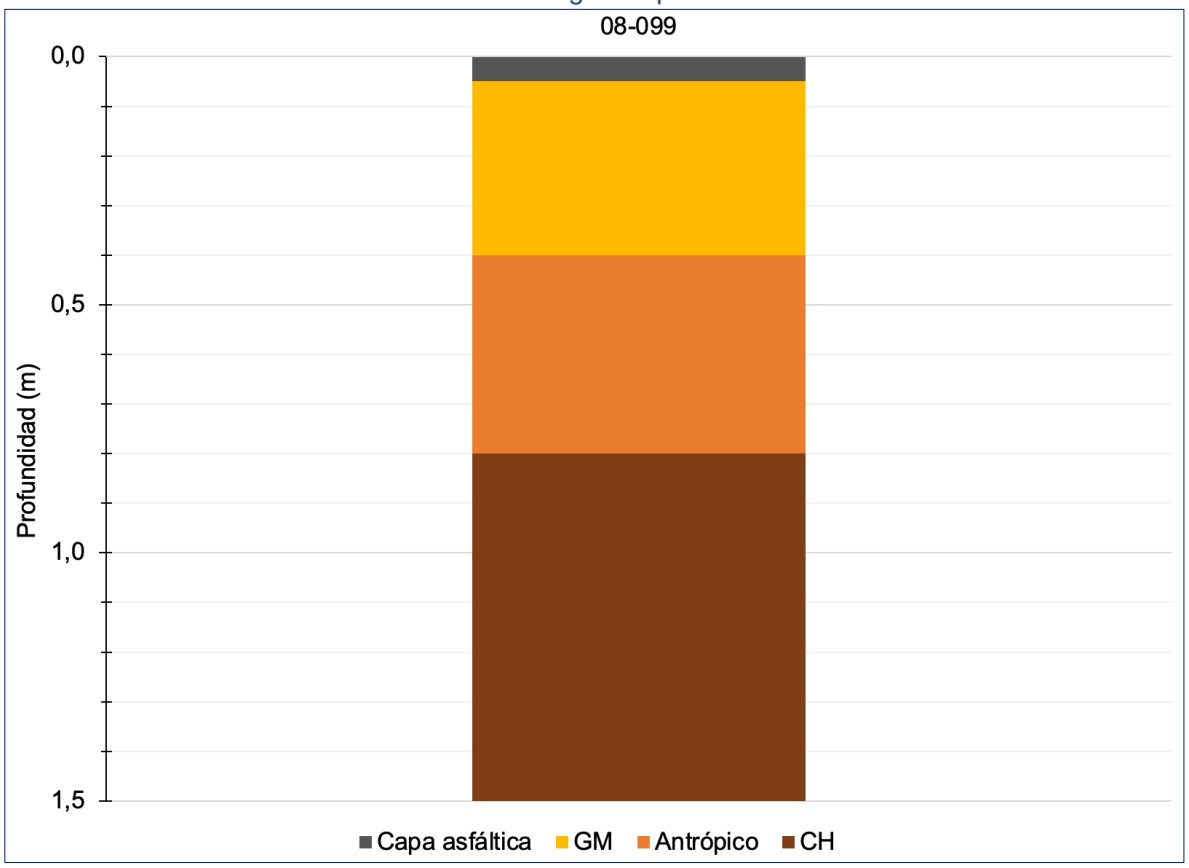


Fuente: Adaptado Pruebas Geotécnicas SAS, 2025

2.2 Estructura de cancha múltiple existente

La estructura existente y el espesor promedio de cada capa se obtuvo por medio de la ejecución de apiques. A continuación, se presenta un esquema de la estructura encontrada.

Ilustración 2. Perfil estratigráfico promedio encontrado



Fuente: Adaptado de Pruebas Geotécnicas S.A.S., 2025

Se observa una capa asfáltica de 0,05 metros, posteriormente se evidencia un material granular de 0,35 metros, un material antrópico de 0,40 metros. Finalmente se evidencia una subrasante arcillosa.

3 ESTUDIO GEOTÉCNICO

La caracterización de la subrasante se realizó por medio de un apique en las zona de interés, en los cuales se extrajeron muestras representativas para realizar la caracterización física (granulometría, límites y humedad natural) de los materiales encontrados y expansión de la subrasante. Así mismo se realizó el ensayo CBR a partir de la profundidad del estrato de subrasante.

El estudio geotécnico se centra en dos análisis principalmente:

- Capacidad de soporte del suelo
- Expansión del suelo frente a cambios de humedad

Los dos análisis serán necesarios para evaluar la estructura que se va a construir, generando una solución técnica que satisfaga una adecuada inversión y que provea una suficiente estabilidad.

3.1 Caracterización geotécnica

Con las muestras recuperadas durante el proceso de exploración se ejecutan los ensayos de laboratorio con el propósito de conocer las propiedades físicas. Los ensayos de laboratorio, norma técnica y cantidad se muestran a continuación.

Tabla 1. Tipo de ensayo, norma técnica, cantidad

Ensayo	Norma	Cantidad
Ensayo Lambe	I.N.V. E-120	1
Contenido de Humedad	I.N.V. E-122	2
Granulometría	I.N.V. E-123	2
Limite Líquido	I.N.V. E-125	2
Limite plástico e Índice de plasticidad	I.N.V. E-126	2
Límite de contracción	I.N.V. E-127	1
CBR sobre muestra inalterada	I.N.V. E-148	1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Resultados de ensayos de laboratorio

Apique	Profundidad (m)		USCS	% Grava	% Arena	% Finos	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	LC (%)	Lambe		CBR (%)	
	De	a										Esfuerzo (kg/cm^2)	Cambio potencial	Natural	Inmersión
08-099	0,00	0,05	CARPETA ASFALTICA												
	0,05	0,40	GM	44,4	34	21,6	12,3	N.L.	N.P.	-					
	0,40	0,80	MATERIAL ANTRÓPICO												
	0,80	1,50	CH	0,1	2,9	97,1	32,6	55	18	37	36,7	3,13	7,76	2,5	0,7

Fuente: Adaptado de resultados de laboratorio Pruebas Geotécnicas S.A.S., 2025

Se observa una subrasante que clasifica como arcilla de alta plasticidad con un contenido de agua promedio de 33%, limite liquido promedio de 55%, limite plástico promedio de 18%, e índice de plasticidad promedio de 37%. Con relación al contenido de agua, la subrasante presenta una capacidad de soporte baja, esta condición se puede corroborar con los valores de CBR en estado de humedad sumergida donde se obtienen valores de $CBR \leq 2\%$.

Con estos resultados se analizarán las condiciones de capacidad de soporte y susceptibilidad a cambios volumétricos. Con los resultados obtenidos en el aparato Lambe se determina un potencial muy crítico.

3.2 Cambios de volumen en la subrasante

Los cambios de volumen en la subrasante están asociados a cambios del contenido de agua o estado hídrico de la subrasante.

3.2.1 Potencial expansivo de la subrasante

El fenómeno de expansión en una estructura liviana se representa generalmente con el desarrollo de una o varias grietas longitudinales y grietas en bloque, las cuales se generan con cambios volumétricos positivos o negativos asociados con la presencia de arcillas expansivas, especialmente en zonas blandas de áreas amplias, como son los parques.

El potencial de expansión se evalúa por varios criterios, en función a los límites de consistencia, medición del esfuerzo de expansión, entre otros. A continuación, se presenta el análisis del potencial de expansión por el método de los limites de consistencia.

El análisis cualitativo de expansión se realiza bajo los criterios establecidos en la NSR-10, de acuerdo con los límites de consistencia.

Tabla 3. Clasificación de suelos expansivos

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kg_f/cm^2	Límite Líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de Plasticidad IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 – 30	50 - 63	6 – 12	23 – 45	18 – 37	> 100
Medio	10 – 20	39 - 50	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 - 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: Tabla H.9.1-1, NSR10

En la siguiente tabla se presenta el análisis con base en el criterio anterior.

Tabla 4. Potencial Expansivo de la subrasante

Apique	Profundidad (m)	USCS	LL (%)	IP (%)	Potencial de expansión
08-099	0,80	CH	55	37	Alto

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la evaluación cualitativa se presenta un potencial de expansión alto, sin embargo, no se debe considerar los límites de consistencia como indicadores directos de la expansión.

Para evaluar físicamente si habrá un cambio de volumen, se calcula la humedad de equilibrio para verificar si el material presenta un contenido de agua por debajo de esta, buscará satisfacer la demanda de agua hasta llegar el porcentaje de humedad de equilibrio.

Ecuación 1. Humedad de equilibrio

$$w_{equilibrio} = 0{,}47LL + 3{,}6$$

Fuente: Numeral H.6.1.4.1, NSR 98

Tabla 5. Comparación de contenido de agua de equilibrio y natural

Apique	Profundidad (m)	USCS	LL (%)	W_{eq} (%)	W_n (%)
08-099	0,80	CH	55	29,5	32,6

Fuente: Elaboración propia

El valor de humedad de equilibrio está por debajo del contenido de agua natural, siendo poco probable que, si el contenido de agua en el entorno geotécnico aumenta, se presente una variación de volumen de la subrasante.

Con relación al esfuerzo de expansión se obtuvo un valor de 3,13 kg_f/cm^2 siendo un esfuerzo que la estructura de pavimento no puede disipar con su propio peso.

3.2.2 Potencial de contracción de arcillas

Este comportamiento esta relacionado con los suelos expansivos, los cuales cambian de volumen con relación al cambio del estado hídrico o contenido de agua. Mientras el contenido de agua próximo a la zona donde se encuentra el suelo expansivo sea mayor, este presentará un elevado hinchamiento, y si el suelo tiene poca humedad la contracción del suelo en la superficie será más evidente.

De acuerdo con el artículo “The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clay soils in Britain” de Driscoll (1983), se mencionan que la profundidad a la que se produce la contracción e hinchazón generalmente se limita a la zona activa (superior a 1,5 m) donde es más probable que ocurra un cambio de humedad, a menos que esta zona se extienda por la presencia de raíces de árboles.

Tabla 6. Potencial de contracción de arcillas

IP (%)	Pasa tamiz 200 (%)	Potencial de contracción
>35	>95	Muy alto
22 - 48	60 - 95	Alto
12 - 32	30 - 60	Medio
<18	<30	Bajo

Fuente: Adaptado de Driscoll, (1983)

En la tabla anterior, se observa la clasificación del potencial de contracción en función al índice de plasticidad propuesto por Driscoll.

Tabla 7. Clasificación de potencial de contracción

Apique	Profundidad (m)	USCS	IP (%)	Pasa tamiz 200 (%)	Potencial de contracción
08-099	0,80	CH	37	97,1	Muy alto

Fuente: Elaboración propia

Con relación al límite de contracción es importante entender que este es el contenido máximo de agua, por debajo del cual un secado adicional no causa una disminución de volumen de la muestra de suelo.

Tabla 8. Análisis de resultados de límite de contracción

Apique	Profundidad (m)	USCS	Wn (%)	LC (%)	Presenta contracción
08-099	0,80	CH	32,6	36,7	No

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Recomendación frente al fenómeno de expansión y contracción

De acuerdo a estudios realizados en zonas con presencia de arcillas expansivas y evidencia de grietas longitudinales por cambios volumétricos (Zornberg, Jorge. 2012), se evidenció por medio del método observacional que la inclusión de geomallas en la estructura liviana impide el desarrollo de estas grietas longitudinales.

Se recomienda que la solución para la mitigación de los cambios volumétricos positivos y negativos sea una combinación de geocelda y geomalla triaxial, con el cual se distribuya de manera adecuada los esfuerzos impuestos por un cambio volumétrico en la subrasante, ya que esta se comporta de manera anisotrópica.

3.3 Ensayos de capacidad de soporte del suelo

Con relación a la capacidad de soporte del suelo, se determinó la capacidad de soporte de la subrasante por medio del ensayo CBR.

Tabla 9. Resultados de ensayo CBR

Apique	Profundidad (m)	USCS	CBR (%)	
			Natural	Inmersión
08-099	0,80	CH	2,5	0,7

Fuente: Adaptado de Pruebas Geotécnicas S.A.S., 2025

Esta consultoría define un $CBR = 0{,}7\%$ siendo la capacidad obtenida en la condición saturada.

3.4 Correlación CBR- MR

La guía “DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.” define las correlaciones entre el CBR y el módulo resiliente de la subrasante, a partir de las siguientes ecuaciones:

Tabla 10. Correlaciones entre CBR Vs MR

	Valor de CBR	Módulo Resiliente (MPa)
1	CBR ≤ 4%	7.5 * CBR
2	4% < CBR ≤ 9%	10 * CBR

Fuente: Guía GU-IC-019, 2013

De este modo se obtiene un módulo resiliente $M_R = 5{,}25\ MPa$.

La Guía IDU GU-IC-019, establece que se deben realizar mejoramiento en el suelo de la subrasante si los valores de resistencia del suelo son inferiores a un equivalente en términos de CBR del 4 % o un valor de módulo resiliente de 40 MPa.

3.5 Cálculo de la capacidad portante equivalente – CPE

Teniendo en cuenta que se requiere hacer un mejoramiento de la plataforma de soporte de la estructura de pavimento, se propone un mejoramiento con geocelda y relleno con material granular.

El aporte estructural de la geocelda se determina por medio del Factor de mejoramiento de módulo o MIF por sus siglas en inglés (Modulus Improvement Factor). Para hallar este factor, se requiere:

- Tránsito de diseño
- CBR de la subrasante
- Material de relleno de la geocelda

De acuerdo con los estudios realizados por Tanyu B.F., Aydilek A. H., Lau W., Edil T.B., Benson C.H. (2013), se determinó que el factor de incremento de módulo varía de 1,2 a 1,5. Dadas las condiciones de baja resistencia de la subrasante se define un $MIF = 1{,}20$.

Para determinar el módulo final de la capa de granular sin reforzar y reforzado con geocelda, se toma como referencia la ecuación para la determinación del módulo de un material granular de la Shell y se modifica incluyendo el factor MIF:

Ecuación 2. Incremento del módulo del material granular por MIF

$$E_2 = 0{,}206h^{0{,}45}E_3 * MIF$$

Fuente: Adaptado de Shell, 2019

Donde,
E_2, es el módulo de la capa superior (MPa)
E_3, es el módulo de la capa inferior (MPa)
h, es el espesor de la capa en evaluación (mm)
MIF, es el factor de mejoramiento de módulo

Para llegar al valor de plataforma de soporte mínimo, se procede a realizar el cálculo hasta encontrar el espesor que satisfaga esta condición de plataforma.

Tabla 11. Cálculo de modulo resultante de refuerzo con geocelda

Parámetro	Valor
Espesor de material granular (mm)	50
E_3 actual (MPa)	5,25
$E_{2\text{-}1}$ resultante (MPa)	6,29
Espesor de material reforzado con geocelda (mm)	150
MIF (Tanyu B.F. Et al, 2013)	1,20
$E_{2\text{-}2}$ resultante (MPa)	14,82
Espesor de material sin geocelda (mm)	50
$E_{2\text{-}3}$ resultante (MPa)	17,75

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3. Mejoramiento de plataforma con geocelda

Capa	Espesor
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

4 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE CAPAS

El diseño de espesores de la zona de juegos y la cancha múltiple se definen de acuerdo con MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARQUES Y ESCENARIOS PÚBLICOS DE BOGOTÁ D.C., el cual tiene en cuenta el valor de CBR como parámetro de entrada.

Se toma como referencia la tabla 4.3 *"Pisos en pavimento asfáltico, canchas, cicloruta y zonas de juegos infantiles"*.

Tabla 12. Estructuras recomendadas por el IDRD en función al CBR obtenido

Tipo de suelo	Descripción	CBR (%)	Estructura recomendada			
			Geotextil	Subbase IDRD	Base IDRD	Rodadura IDRD
Suelos blandos	Poco competente como subrasante	menor a 3	ST 300 o T-2100 Pavco o similar	20 cm	20 cm	5 cm
Suelos medios	Medianamente competente como subrasante	de 3 a 5	T-1700 Pavco o similar	20 cm	15 cm	5 cm
Suelos duros	competente como subrasante	mayor 5	T-1700 Pavco o similar		25 cm	5 cm

Fuente: Adaptado Tabla 4.3 Especificaciones IDRD

Con el mejoramiento de la subrasante se obtiene una plataforma de suelo blando.

4.1 Estructura de la cancha múltiple

Teniendo en cuenta los análisis de capacidad de soporte del suelo, y las recomendaciones descritas por el IDRD, se define la siguiente estructura de cancha múltiple:

Ilustración 4. Estructura de cancha múltiple con capas granulares no tratadas

Capa	Espesor
Mezcla asfáltica MDC-3	5 cm
Base Granular tipo IDRD	40 cm
Geomalla multiaxial, resistencia a fluencia ≥ 300 kN/m	-
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

Para disminuir el espesor de las capas de aporte estructural se propone una capa estabilizada mejorada con cemento portland y aditivo líquido iónico, se realiza la equivalencia de las capas para definir el espesor, por medio del método de diseño AASHTO.

Tabla 13. Equivalencias de espesores y tipos de material

Estructura	Material	Espesor (in)	Coeficientes		SN_i	SN_{cal}
			a_i	m_i		
Materiales granulares	Base granular	15,75	0,125	0,85	0,94	1,67
Capa estabilizada	Base granular mejorada con cemento portland y aditivo líquido iónico	7,09	0,25	1	1,77	1,77

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5. Estructura de cancha múltiple con uso de cemento y aditivo

Capa	**Espesor**
Mezcla asfáltica MDC-3	5 cm
Base Granular tipo IDRD mejorada con cemento portland (5%) y aditivo líquido iónico (1,0 l/m^3)	18 cm
Geomalla multiaxial, resistencia a fluencia ≥ 300 kN/m	-
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la capa de material granular con cemento portland y aditivo líquido iónico, se definen las siguientes proporciones y cantidades:

Tabla 14. Proporciones recomendadas de cemento y aditivo

Material	Proporción o cantidad
Aditivo líquido iónico	1 litro por m^3 suelto
Cemento portland	100 kilogramos por m^3 suelto

Fuente: Elaboración propia

4.2 Especificaciones técnicas de materiales de construcción

Para efectos de aplicación todos los materiales incluidos en este diseño deberán cumplir lo establecido en el anexo técnico del contrato.

5 RECOMENDACIONES GENERALES

Una vez se realice la excavación y/o retiro hasta el nivel de subrasante se deberá nivelar y compactar la misma para dar una adecuada superficie de trabajo para realizar la construcción de la estructura propuesta.

Si durante la ejecución de los trabajos y llegando a la cota de excavación de la alternativa definida, el ejecutor evidencia que alguna zona evidencia fallos en la subrasante lo cual impide realizar las labores de nivelación y compactación, se deberá realizar una excavación adicional de 0,40 metros de profundidad e instalar rajón en un espesor de 0,50 metros, de los cuales 0,10 metros de rajón se hincaran dentro de la subrasante con el propósito de disminuir vacíos y mejorar la densidad de la subrasante en estos puntos de fallos.

La rasante final de las zonas a intervenir debe estar definida a partir de las condiciones geomorfologías y la adecuada evacuación de las aguas superficiales y subsuperficiales.

Las excavaciones que se efectúen para la construcción se deben realizar de manera rápida y eficiente, evitando el aposamiento continuo de agua, y la disminución de la capacidad estructural.

6 LIMITACIONES

Los resultados aquí presentados se circunscriben al área específica del proyecto. Cualquier cambio en las hipótesis planteadas se debe informar inmediatamente para hacer los ajustes necesarios.

ANEXO 1. Exploración geotécnica

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME DE DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-13
VERSIÓN:	2
FECHA ELABORACIÓN:	2021-01-20

NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 102 - 2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3304-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

APIQUE Nº	1	PROFUNDIDAD (m)	0,05 m - 1,50 m
COORDENADAS	N: 4°36'36.63"W: 74° 9'42.63"	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1185-25 / 1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

PROF (m)	No. MUESTRA	TIPO	CLASIFICACIÓN			SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	W %	LÍMITES ATTERBERG			GRADACIÓN			*gt*	RESISTENCIA			
0,00			USC	ASSHTO	ÍNDICE DE GRUPO				L.L %	L.P %	I.P %	GRAVAS %	ARENAS %	FINOS %	g/cc	SPT GOLPE	P.D.C. (%)	CBR (%) INALT - SUB	CBR I 95%
0,05	1						CARPETA ASFALTICA												
0,40	2		GM	A - 1 - b	0		GRANULAR ARENOSO COLOR AMARILLO	12,33	N.L.	N.P.	-.	44,4	34,0	21,6					
0,80	3						MATERIAL ANTRÓPICO	-											
1,50	4		CH	A - 7 - 6	19		ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	32,56	55,0	18,0	37,0	0,1	2,9	97,1				2,5 - 0,7	

OBSERVACIONES	

P.D.C : *MEDICIÓN DEL CBR CON EL CONO DINÁMICO* ***- C.B.R :*** *INALTERADO.*

gt : *PESO UNITARIO TOTAL*

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
	
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENTE

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELOS, CONTENIDO DE AGUA Y LIMITES DE CONSISTENCIA.

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-15
VERSIÓN:	3
FECHA ELABORACIÓN:	2021-01-20

NORMA DE REFERENCIA	INV E 125:2013-INV E 122:2013-INV E 123:2013-INV E 126:2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3305-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	GRANULAR ARENOSO COLOR AMARILLO	PROFUNDIDAD (m)	0,05 m - 0,40 m
APIQUE No	1	MUESTRA No	2
CANTERA	TOMADO DE OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1185-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - LL

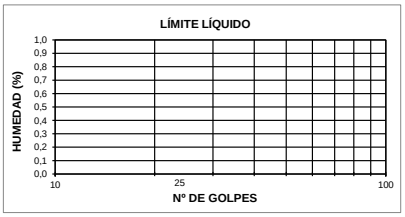
Determinación Nº	1	2	3
Nº de Golpes	-	-	-
Recipiente Nº	-	-	-
M_1	-	-	-
M_2	-	-	-
M_3	NL	NL	NL
M_W	-	-	-
M_S	-	-	-
W%	-	-	-
Método	A		

LÍMITE PLÁSTICO - LP			W% DE LA MUESTRA
Recipiente Nº	-	-	110-D
M_1	-	-	598,6
M_2	-	-	537,4
M_3	NP	NP	41,00
M_W	-	-	61,20
M_S	-	-	496,40
W%	-	-	12,33
Método	Manual		

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DE SUELOS

Masa inicial total seca (g):	1975,0
Masa inicial L-T 200 (g):	1550,6
Masa final: L-T 200 (g):	1548,6

Tamiz	Tamiz (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	% Pasa unificado
3"	75,00	0,0	-	-	100,0%	100,0%
2"	50,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
1 ½"	37,50	226,0	11,4%	11,4%	88,6%	88,6%
1"	25,00	231,0	11,7%	23,1%	76,9%	76,9%
3/4"	19,00	98,4	5,0%	28,1%	71,9%	71,9%
3/8"	9,50	195,6	9,9%	38,0%	62,0%	62,0%
Nº 4	4,75	125,0	6,3%	44,4%	55,6%	55,6%
Nº 10	2,00	88,0	4,5%	48,8%	51,2%	51,2%
Nº40	0,425	191,0	9,7%	58,5%	41,5%	41,5%
Nº200	0,075	393,2	19,9%	78,4%	21,6%	21,6%
FONDO	-	0,40	-	-	-	-



RESULTADOS	
Límite Líquido	N.L.
Límite Plástico	N.P.
Índice Plástico	-.
Gravas	44,4%
Arenas	34,0%
Finos	21,6%
A.A.S.H.T.O.	A - 1 - b
Índice de Grupo	0
U.S.C	GM

M_1 = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g

M_2 = Masa Recipiente + Suelo Seco , en g

M_3 = Masa Recipiente, en g

M_W = Masa del Agua , en g

M_S = Masa Suelo Seco, en g

W = Contenido de agua, en %

L-T2mm: Lavado sobre tamiz Nº 10

L-T0.074mm : Lavado sobre tamiz Nº 200

$M_W = M_1 - M_2$

$M_S = M_2 - M_3$

$w = (M_W / M_S) \times 100$

CONDICIONES AMBIENTALES	
TEMPERATURA AMBIENTE (° C)	23

EQUIPOS UTILIZADOS	No. INV.
SERIE DE TAMICES	0039
CAZUELA CASAGRANDE	-
BALANZA	0001 / 0001
HORNO	0013

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELOS, CONTENIDO DE AGUA Y LIMITES DE CONSISTENCIA.

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-15
VERSIÓN:	3
FECHA ELABORACIÓN:	2021-01-20

NORMA DE REFERENCIA	INV E 125:2013-INV E 122:2013-INV E 123:2013-INV E 126:2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3306-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	PROFUNDIDAD (m)	0,80 m - 1,50 m
APIQUE No	1	MUESTRA No	4
CANTERA	TOMADO DE OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - LL

Determinación Nº	1	2	3
Nº de Golpes	35	25	16
Recipiente Nº	9	17	4
M_1	43,46	43,71	41,71
M_2	36,68	36,65	34,36
M_3	23,71	23,84	21,71
M_W	6,78	7,06	7,35
M_S	12,97	12,81	12,65
W%	52,27	55,11	58,10
Método	A		

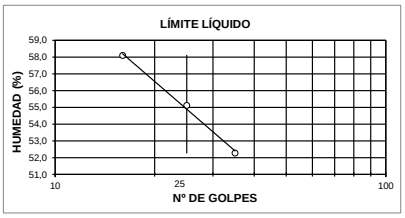
LÍMITE PLÁSTICO - LP

Recipiente Nº	28	44	64-D
M_1	33,38	34,07	509,0
M_2	32,14	32,32	394,0
M_3	23,95	24,03	40,80
M_W	1,24	1,75	115,00
M_S	8,19	8,29	353,20
W%	15,14	21,11	32,56
Método	Manual		

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DE SUELOS

Masa inicial total seca (g):	325,6
Masa inicial L-T 200 (g):	9,8
Masa final: L-T 200 (g):	9,6

Tamiz	Tamiz (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	% Pasa unificado
3"	75,00	0,0	-	-	100,0%	100,0%
2"	50,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
1 ½"	37,50	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
1"	25,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
3/4"	19,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
3/8"	9,50	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
Nº 4	4,75	0,2	0,1%	0,1%	99,9%	99,9%
Nº 10	2,00	0,2	0,1%	0,1%	99,9%	99,9%
Nº40	0,425	0,6	0,2%	0,3%	99,7%	99,7%
Nº200	0,075	8,6	2,6%	2,9%	97,1%	97,1%
FONDO	-	0,00	-	-	-	-



RESULTADOS

Límite Líquido	55,0
Límite Plástico	18,0
Índice Plástico	37,0
Gravas	0,1%
Arenas	2,9%
Finos	97,1%
A.A.S.H.T.O.	A - 7 - 6
Índice de Grupo	19
U.S.C	CH

M_1 = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g

M_2 = Masa Recipiente + Suelo Seco , en g

M_3 = Masa Recipiente, en g

M_W = Masa del Agua , en g

M_S = Masa Suelo Seco, en g

W = Contenido de agua, en %

L-T2mm: Lavado sobre tamiz Nº 10

L-T0.074mm : Lavado sobre tamiz Nº 200

$M_W = M_1 - M_2$

$M_S = M_2 - M_3$

$w = (M_W / M_S) \times 100$

CONDICIONES AMBIENTALES	
TEMPERATURA AMBIENTE (° C)	23

EQUIPOS UTILIZADOS	No. INV.
SERIE DE TAMICES	0039
CAZUELA CASAGRANDE	0156
BALANZA	0002 / 0001
HORNO	0013

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME DE DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DEL SUELO

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-52
VERSIÓN:	2
FECHA ELABORACIÓN:	2022-03-02

NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 127:2013

CODIGO CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
OBRA	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	CONTACTO	CR 6 A # 64 A - 58
DIRECCIÓN	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3307-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	APIQUE Nº	1
CANTERA	TOMADO DE OBRA	PROFUNDIDAD (m)	0,80 m - 1,50 m
MUESTRA Nº	4	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

HUMEDAD	
RECIPIENTE	14
W_1 = Peso recipiente A + suelo húmedo, en g	32,7
W_2 = Peso recipiente + suelo seco, en g	23,0
W_3 = Peso recipiente, en g	5,1
W = Peso húmedo de la muestra de suelo, en g	27,7
W_0 = Peso de la muestra seca, en g	18,0
w = Contenido de agua, en %	54,0
FACTORES DE CONTRACCIÓN	
Masa del Mercurio utilizada para llenar el recipiente A, g	278,4
Densidad del Mercurio g/cm^3	13,5
V = Volumen suelo húmedo, en cm^3	20,6
Masa del Mercurio utilizada para llenar el recipiente B, g	278,4
Masa de Mercurio en el recipiente B después de sumergir la pastilla de suelo seco, g	42,0
Vo = Volumen suelo seco, en cm^3	17,5
Pa = Peso unitario del agua, en g/cm^3	1,0
LC = Límite de contracción %	36,7
R = Relación de contracción	1,0
Vs = Cambio volumétrico	17,8
CL = Contracción lineal	5,0

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
	
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE.

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME DEL POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMÉTRICO DE UN SUELO EMPLEANDO EL APARATO LAMBE

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-66
VERSIÓN:	1
FECHA ELABORACIÓN:	2022-05-02

NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 120:2013

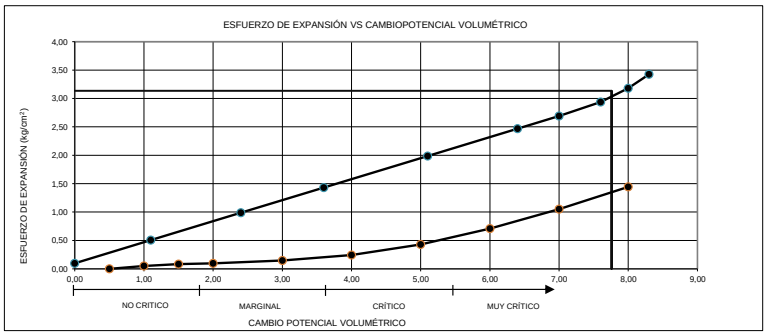
CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3308-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	PROFUNDIDAD (m)	0,80 m - 1,50 m
APIQUE Nº	1	MUESTRA Nº	4
CANTERA	TOMADO EN OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

Celda número	A		Peso de la celda + muestra inicial	233,0	g
Diámetro de la muestra	5,10	cm	Peso de la celda + muestra final	242,8	g
Altura de la muestra	2,68	cm	Peso de la celda	138,0	g
Area de la muestra	20,4	cm^2	Peso unitario total	1,733	g/cm^3
Volumen de la muestra	54,8	cm^3	Peso unitario seco	1,679	g/cm^3

CONTENIDO DE HUMEDAD		
HUMEDAD	INICIAL	FINAL
Recipiente	07-Y	14-J
P_1 (g)	213,4	223,6
P_2 (g)	207,8	192,2
P_3 (g)	31,8	30,4
% W	3,2%	19,4%

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL (Kn)	ESFUERZO (kgf/cm^2)
2025-10-27	10:00	0	0,052	0,000
2025-10-27	10:01	1'00'	0,105	0,261
2025-10-27	10:02	2'00'	0,157	0,784
2025-10-27	10:03	3'00'	0,209	1,045
2025-10-27	10:04	4'00"	0,262	1,306
2025-10-27	10:05	5'00"	0,314	1,567
2025-10-27	10:10	10'00"	0,366	1,829
2025-10-27	10:15	15'00"	0,419	2,090
2025-10-27	10:30	30'00"	0,471	2,351
2025-10-27	11:00	60'00"	0,523	2,612
2025-10-27	11:30	90'00"	0,576	2,874
2025-10-27	12:00	120'00"	0,628	3,135



Esfuerzo de expansión: 3,13 kg/cm^2

Cambio potencial volumétrico: 7,76

Régimen de la muestra: Muy Critico

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTÉCNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE.

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA

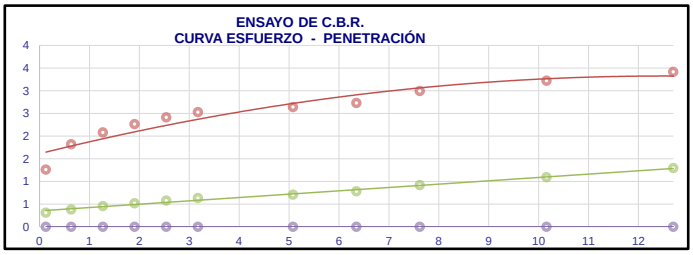
CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-21.
VERSIÓN:	5
FECHA ELABORACIÓN:	2024-02-26

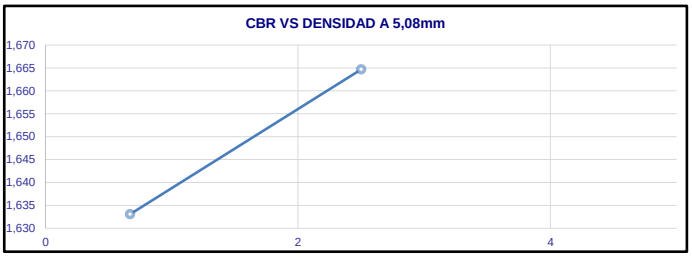
NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 148:2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA
INFORME PG Nº	3309-25	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	PROFUNDIDAD (m)	0,80 m - 1,50 m
APIQUE No	1	MUESTRA No	4
CANTERA	TOMADO EN OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	CBR MUESTRA INALTERADA	SOBRECARGA DE SATURACIÓN (Kg)	4,5	% RETENIDO EN TAMIZ 3/4	-
CLASIFICACIÓN AASHTO	A - 7 - 6	CLASIFICACIÓN SUCS	CH	DÍAS DE CURADO	4





PRUEBA Nº	1	2	3
No. DE MOLDE	3	3	
No. DE GOLPES	-	-	
EXPANSIÓN INICIAL	0	0	
EXPANSIÓN 24 HORAS	0	6	
EXPANSIÓN 48 HORAS	0	17	
EXPANSIÓN 72 HORAS	0	19	
EXPANSIÓN 96 HORAS	0	25	
PESO MOLDE + MUESTRA	10697	10849	
PESO MOLDE	6019	6019	
MASA DE LA MUESTRA g	4678	4830	
HUM. DE COMPACTACION %	32,49	39,44	
VOLÚMEN MOLDE cm3	2121	2121	
DENSIDAD HUMEDA g/cm^3	2,206	2,277	
DENSIDAD SECA g/cm^3	1,665	1,633	
EXPANSIÓN TOTAL %	0,0	54,7	

PENETRACIÓN mm	CARGA DIAL	ESFUERZO Kg/cm2	CARGA DIAL	ESFUERZO Kg/cm2	CARGA DIAL	ESFUERZO Kg/cm2
0,127	251	1,3	62	0,3		
0,635	363	1,8	76	0,4		
1,270	415	2,1	91	0,5		
1,905	451	2,3	103	0,5		
2,540	481	2,4	115	0,6		
3,175	504	2,5	126	0,6		
5,080	526	2,6	141	0,7		
6,350	544	2,7	156	0,8		
7,620	597	3,0	183	0,9		
10,160	642	3,2	218	1,1		
12,700	681	3,4	258	1,3		
HUM. PENETRACIÓN %	32,5		39,4			
CBR Corregido a 2,54 mm	3,4		0,8			
CBR Corregido a 5,08 mm	2,5		0,7			
CUMPLE	SI	☑ NO	SI	NO	SI	☐ NO

OBSERVACIONES	

ALTURA MUESTRA DENTRO DEL MOLDE(inch):	4,58

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.

EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S.

---------- FIN DEL INFORME DE ENSAYO ----------

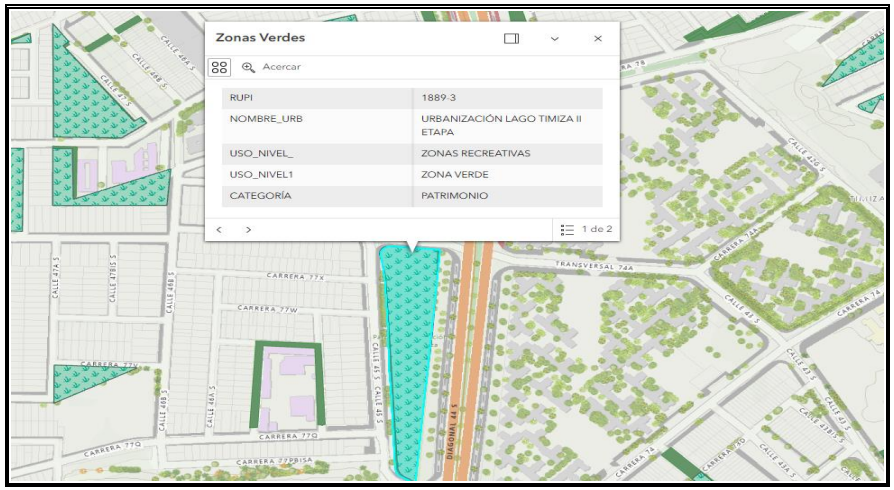
PRUEBAS GEOTECNICAS	REGISTRO FOTOGRÁFICO	CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-09
		VERSIÓN:	8
		FECHA ELABORACIÓN:	2023-08-18

CODIGO DE CLIENTE	2054	CLIENTE	CONSORCIO PRO K		
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	PK-id	N/A	FECHA DE EJECUCIÓN	2025-10-27
EQUIPO	MANUAL	CIV	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	PERFORADOR	JHON MARK









ANEXO 2. Documentos técnicos del aditivo líquido iónico

PROESTECH

DESDE 1999 ESTABILIZANDO CAMINOS

FUNDAMENTOS DE TECNOLOGIA PROES® - ADITIVO LIQUIDO IONICO PROES®

Julio 2024

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 4
1.1 Estabilización química de suelos para caminos 4
1.2 Diseño de Estructuras de Pavimento. 4
1.3 Fundamentos de la Tecnología PROES® 6
2 ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL 9
2.1 Campaña de Medición en Terreno 9
2.1.1 Deflectómetro de Impacto FWD 9
2.1.2 Programa de mediciones con FWD 10
2.2 Ensayos de Laboratorio 16
2.2.1 Objetivos 16
2.2.2 Materiales 16
2.2.3 Resultados laboratorio 17
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 25
3.1 Resistencia 25
3.2 Estabilidad 28
3.3 Durabilidad 29
3.4 Flexibilidad 31
3.5 Parámetros de Diseño Estructural de Pavimentos 32
4 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA PROES® 34
4.1 Usos de la tecnología de la infraestructura vial 35
4.2 Ejemplo de comparación con solución tradicional 35
5 CONCLUSIONES 37

FIGURAS

Figura 2 - 1 Izquierda: Deflectómetro de impacto. Derecha: Principio de funcionamiento del deflectómetro 10
Figura 2 - 2 Promedio de precipitaciones y temperaturas mensuales en la zona de Concepción 10
Figura 2 - 3 Ubicación de los sectores donde se efectuó deflectometría de impacto FWD 12
Figura 2 - 4 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil . 14
Figura 2 - 5 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil . 15
Figura 2 - 6 Resultados de módulos en condiciones secas y húmedas 15
Figura 2 - 7 Resultados ensayos CBR (P=Cemento Portland, C=Ceniza) 18
Figura 2 - 8 Resultados de resistencia a la compresión no confinada, UCS (P=Cemento Portland, C=Ceniza Volante) 20
Figura 2 - 9 Resistencia retenida en ensayos CNC, tiempo de reacción 7 días. 21
Figura 2 - 10 Resultados de ensayos de resistencia a tracción indirecta (ITS) a 7, 14 y 60 días de edad 22
Figura 2 - 11 Resultados de ensayos de módulo triaxial a 7, 14, 28 y 365 días 23
Figura 2 - 12 Resultados de ensayos de Módulo Resiliente Triaxial (MrTx) en condición natural y saturada a los 365 días de confección para una mezcla arcilla/arena..... 24

Figura 3 - 1 Frecuencia de coeficientes estructurales 26
Figura 3 - 2 Relación entre el módulo resiliente de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® y su coeficiente estructural 26
Figura 3 - 3 Comparación coeficientes en época seca y húmeda 29
Figura 3 - 4 Esquema de evolución del módulo de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® en el tiempo 30
Figura 3 - 5 Módulo resiliente en función del desviador de tensiones 32

Figura 4 - 1 Aplicaciones de la tecnología 35
Figura 4 - 2 Ejemplo de diseño tradicional versus base estabilizada PROES. 36

TABLAS

Tabla 2 - 1 Listado de los caminos PROES® estudiados..... 11
Tabla 2 - 2 Resumen de módulos promedios retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® 13
Tabla 2 - 3 Caracterización de suelos utilizados 17
Tabla 3 - 1 Determinación coeficientes estructurales según ensayo CBR y UCS…..33

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Estabilización química de suelos para caminos

La estabilización de suelos es una técnica de construcción comúnmente utilizada para ampliar las posibilidades de utilización en la obra de los suelos disponibles en terreno y tiene por objetivo mejorar las propiedades mecánicas, trabajabilidad y estabilidad de tales materiales.

La estabilización de suelos para caminos tiene ventajas técnicas, medioambientales, económicas y sociales frente a la construcción tradicional. Desde el punto de vista medioambiental, la utilización de los materiales existentes en terreno hace que se reduzca el consumo de áridos, reduciendo la explotación de pozos de áridos y cauces de ríos, y el transporte de materiales desde y hacia la obra, con un menor consumo de combustibles fósiles y emisión de gases a la atmósfera. Desde el punto de vista económico, la estabilización tiene un menor costo que utilizar técnicas tradicionales de construcción si no existen materiales granulares en las cercanías de la construcción que cumplan con las especificaciones técnicas, o existan restricciones de explotación en los yacimientos cercanos. Por último, la estabilización también tiene asociados beneficios a la comunidad, dado que en general es una técnica constructiva más rápida que la tradicional lo que implica menores tiempos de intervención de los caminos, menor presencia de maquinaria en el entorno y una percepción positiva de la tecnología.

1.2 Diseño de Estructuras de Pavimento.

Existen una gran variedad de tipos de estructuras de pavimento empleadas en la actualidad las cuales van dependiendo del tipo de vehículo que transitan, del volumen, de la condición climática, de los suelos existentes en las zonas del proyecto, propiedades mecánicas de los materiales, factores de seguridad costo, mantenimiento y estética.

Los tipos de estructuras de pavimento mas comunes y empleados son:



Figura 1-1. Tipos de Estructura de pavimento

Para el diseño estructural de pavimentos existen dos grandes grupos de metodologías: las puramente empíricas y las empírico-mecanicistas. La metodología empírica más conocida corresponde a la AASHTO 93 la cual tiene como parámetro más importante de caracterización estructural el Número Estructural, un parámetro empírico que representa la resistencia del pavimento al tránsito. La metodología empírico-mecanicista en cambio utiliza parámetros provenientes de modelos numéricos mecánicos del pavimento como la tensión y la deformación, asignándole unos parámetros empíricos de resistencia a los materiales (coeficientes y/o módulos de reacción) como el método PCA (PORTLAND CEMENT ASOCIATION). Por lo tanto, el parámetro más importante de caracterización es el módulo elástico de las capas que componen el pavimento.

Sin embargo, tratándose de vías con bajos volúmenes de tránsito que generalmente se construirán para trabajar sin carpeta de rodado existen metodologías de diseño más adecuadas y simples que generan estructuras confiables y eficientes. En estos casos podremos recurrir al Manual De Diseño De Pavimentos Asfálticos Para Vías Con Bajos Volúmenes De Tránsito del INVIAS y metodologías empíricas de diseño como MORÍN TODOR y metodologías mecanicistas como NAASRA (Nacional Asociation of Australian State Road Athorities).

1.3 Fundamentos de la Tecnología PROES®

El sistema de pavimentación con aditivo liquido iónico PROES® consiste en la estabilización química de suelos que presentan características de baja capacidad de soporte y que son inestables (arcillas), que luego formarán parte de la estructura de un pavimento. La Tecnología PROES® nace de un desarrollo conjunto con la empresa de ingeniería PROFUND en el año 1996, con apoyo y reconocimiento de la Corporación de Fomento de Chile, y que se encuentra patentada en Chile, Perú, Colombia, México y otros países en curso.

Luego de un desarrollo y expansión exitosa en diversos mercados, como parte de la innovación y mejora de la Tecnología, la empresa PROES SpA participó durante los años 2013 al 2016 en el proyecto INNOVA titulado *Caracterización Estructural Detallada e Investigación del Proceso de Deterioro de Materiales Tratados con la Tecnología de Estabilización de Suelos a Través de Pruebas de Laboratorio y Mediciones en Terreno*, financiado por la Corporación de Fomento de la Producción de Chile (www.corfo.cl) y ejecutado por la Universidad del Desarrollo (www.udd.cl), bajo el liderazgo del profesor Ing. PhD Álvaro González[1].

El objetivo principal del proyecto fue caracterizar las propiedades mecánicas y estructurales de los suelos tratados con la Tecnología PROES®, mediante un extenso programa de laboratorio donde se llevaron a cabo varios tipos de ensayos (Triaxial, CBR, ITS y UCS, entre otros) y varias campañas de terreno donde se midieron las propiedades estructurales de una red de caminos tratados con la tecnología utilizando deflectometría pesada y liviana (FWD y LWD) y donde además se construyeron dos tramos de prueba.

Del estudio se obtuvieron importantes resultados que permiten verificar y sustentar las propiedades y en este documento se resumen los argumentos técnicos que sustentan la capacidad estructural de los suelos estabilizados con la Tecnología PROES®.

[1] Ingeniero Civil, MSc, PhD in Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand. Profesor Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad del Desarrollo, Chile. Cuenta con más de 50 publicaciones y presentaciones en congresos sobre investigaciones relacionadas con estabilización de suelos e ingeniería de caminos.

La Tecnología PROES®, tiene su fundamento en la interacción de los aditivos químicos y las arcillas presentes en el suelo, creando una reacción que, junto con aumentar su resistencia, mejora su estabilidad frente al agua y mejora su comportamiento frente a las cargas del tránsito. La reacción generada, se basa en la ionización, ordenamiento y aglomeración de partículas. Una de las principales características es la incorporación de minerales afines al suelo, a través de dos aditivos: un aditivo líquido y otro sólido (como la cal, cemento y cenizas); los cuales son clave para el proceso de estabilización química. El proceso se logra mediante el intercambio iónico y reacciones puzolánicas entre estos aditivos y las arcillas. El intercambio iónico ocurre rápidamente, en general dentro de unas pocas horas. El resultado inmediato es un incremento en la resistencia al corte del suelo (producto de un aumento en la cohesión de las partículas) y una disminución en la capacidad de absorber aguas de las arcillas, en un ambiente que propicia el intercambio y reacción sin la formación de grietas por retracción.

En el mediano y largo plazo, se desarrollan reacciones puzolánicas que aumentan en forma significativa la resistencia del suelo. Todos estos cambios en las propiedades físicas y mecánicas mejoran el desempeño del suelo, y, por lo tanto, transforman un material de baja calidad en uno apto para su uso en capas estructurales de pavimentos.

Los resultados obtenidos y la experiencia de más de 20 años de uso de la Tecnología PROES®, tanto en laboratorio como en terreno (más de 1.500 kms de pavimentos), permiten señalar que los suelos estabilizados con PROES® son:

- Resistentes
- Estables frente al agua y cambios de humedad
- Durables
- Flexibles (no rígidos)

Además de las evaluaciones y experiencias de terreno que sustentan las características presentadas, se hace necesario entregar herramientas de diseño para nuevos proyectos, razón por la cual se desarrolla un set amplio de ensayos, que haga posible relacionar resultados de laboratorio con desempeño pasado y futuro en terreno.

Este documento presenta parte de los resultados del proyecto INNOVA de CORFO: "*Caracterización Estructural Detallada e Investigación del Proceso de Deterioro de Materiales Tratados con la Tecnología de Estabilización de Suelos a Través de Pruebas de Laboratorio y Mediciones en Terreno"*. En dicho estudio se realizaron más de 300 ensayos de laboratorio y midieron sobre 400 puntos con deflectometria de impacto (FWD) en terreno.

2 ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

2.1 Campaña de Medición en Terreno

El objetivo del estudio de la red de caminos PROES® existente en la región del Biobío y Araucanía, es obtener la caracterización mecánica de pavimentos que han estado en servicio entre 5 y 15 años, con el fin de estimar la condición de la base estabilizada en el largo plazo. Para esto se realizó un programa de ensayos consistente en aplicar deflectometría de impacto (FWD) sobre los caminos seleccionados que han sido tratados con la tecnología PROES®.

2.1.1 Deflectómetro de Impacto FWD

El deflectómetro de impacto FWD (*Falling Weight Deflectometer*) es un instrumento ampliamente utilizado para estimar la capacidad estructural de pavimentos y que ha sido incorporado al Manual de Carreteras de Chile (numeral 8.502.5). Este aparato es un sistema de ensayo montado en un carro de arrastre capaz de aplicar cargas tipo impulso que simulan el paso de una rueda sobre el pavimento. Contiene una configuración de masas que combinada con la altura de caída permiten aplicar mediante impacto cargas máximas de entre 30 y 240 kN con un sistema de buffers o cojines que mantienen la duración del pulso de carga entre 20 y 30 milisegundos. La operación del FWD se controla desde un computador en la cabina del vehículo que arrastra el sistema. Durante el ensayo se hace bajar el plato de carga y una barra con sensores hasta la superficie del pavimento, y automáticamente se levantan y dejan caer las cargas de ensayo mediante un sistema electro-hidráulico. Un total típico de 7 o 9 sensores (máximo 15) capturan los valores de deflexión. Estos sensores, llamados geófonos, están ubicados a distancias crecientes desde el centro de plato de carga, con el primero de ellos en el centro del plato y el más alejado típicamente a unos 2m. Esta serie de sensores permite obtener un cuenco de deflexiones. La precisión de estos sensores es mejor a 2% +/- 2 micrones.

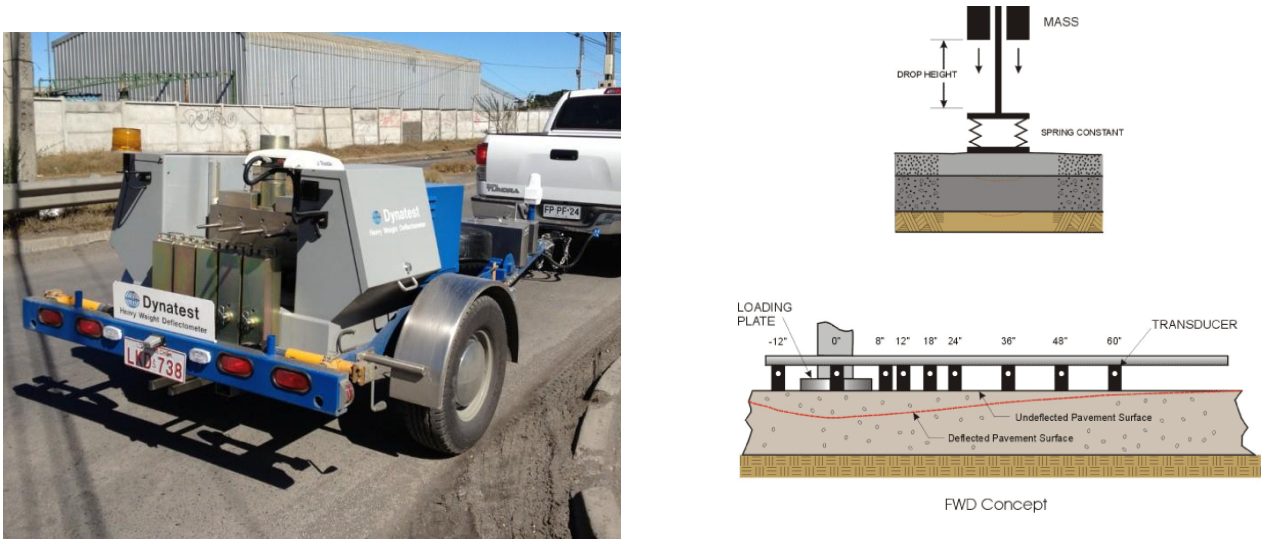


Figura 2 - 1 Izquierda: Deflectómetro de impacto. Derecha: Principio de funcionamiento del deflectómetro

El equipo incluye un sistema GPS para georreferenciación de las mediciones, además de un sistema medidor de distancia para referencia por kilometraje. El sistema mide automáticamente la temperatura del aire y de la superficie del pavimento para su utilización como referencia en el análisis de módulos elásticos de pavimentos bituminosos. El equipo incluye accesorios para la medición de la transferencia de carga en juntas y grietas de pavimentos rígidos. En este proyecto se utilizó un deflectómetro pesado, Heavy Weight Deflectometer, modelo Dynatest HWD 80811 y un Primax 2500.

2.1.2 Programa de mediciones con FWD

Temporada Estival e Invernal

La condición de un camino puede verse afectado considerablemente por las condiciones ambientales. En particular, una parte importante de caminos construidos con la tecnología PROES se encuentran ubicados en la zona sur del país, particularmente en las zonas forestales. Las condiciones ambientales de la zona son de una relativa alta precipitación media anual (sobre 1.000 mm anuales) concentrada entre los meses de mayo a agosto. Luego, entre

los meses de noviembre y marzo las precipitaciones son en promedio menores a 50 mm mensuales (Figura 2-2).

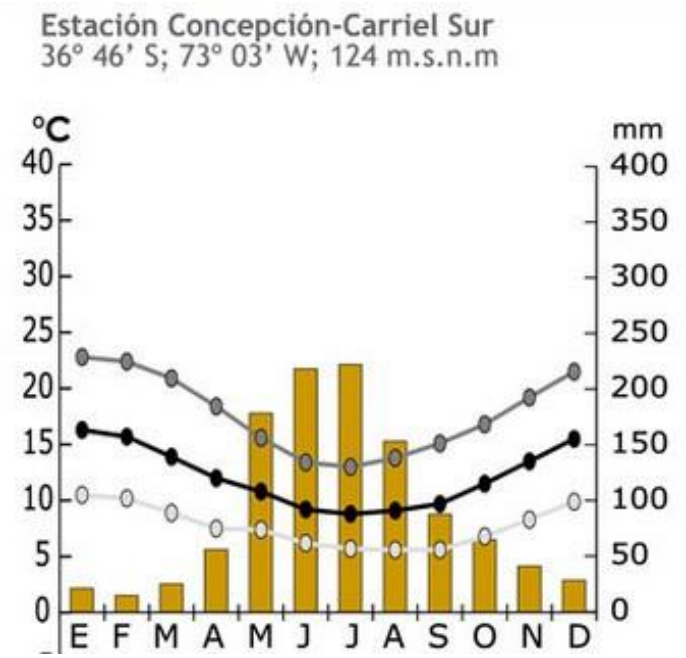


Figura 2 - 2 Promedio de precipitaciones y temperaturas mensuales en la zona de Concepción

Es esperable entonces que esta condición climática con una estación de invierno fuertemente marcada con precipitaciones de gran intensidad por sobre los 200 mm mensuales afecte la respuesta de los pavimentos tratados con PROES®. Por lo tanto, se realizó una campaña de deflectometría de impacto a fin del verano o la temporada seca y una campaña a fin del invierno o temporada lluviosa. De esta manera se pudo medir la condición del pavimento en condiciones 'favorables' y 'más desfavorables' con el FWD.

Ubicación de las Secciones a Estudiar

En ambas campañas de FWD se estudiaron secciones de caminos construidos con tecnología PROES en la región del Biobío y de la Araucanía. Las características de estos caminos son diversas: sectores urbanos, rurales e industriales. **El factor común más relevante de todos estos tramos es que ya habían cumplido con su vida útil de diseño,** con edades entre los

5 y 11 años respecto a la fecha de medición (2013-2014). Los sectores fueron identificados en forma correlativa según su orden de medición (desde el 01 hasta el 12) y además por el nombre típicamente asignado en la práctica.

La Tabla 2-1 resume las características generales de los caminos y calles PROES® donde se realizó las mediciones con FWD, y la Figura 2-3 indica la ubicación de los sectores donde se llevaron a cabo los ensayos.

Tabla 2 - 1 Listado de los caminos PROES® estudiados

ID	Descripción	Tipo	Año constr.	Espesor Carpeta Asfáltica (cm)	Espesor PROES (cm)	CBR[1]
01	Algarrobo	Industrial	2009	4	25	18%
02	Alto Horno	Urbano	2005	4	25	22%
04	Escuadrón Calle Principal	Industrial	2006	4	35	18%
06a	Escuadrón Calle F	Industrial	2013	-	30	18%
06b	Escuadrón Calle D	Industrial	2013	4	30	18%
07	Las Corrientes	Forestal	2008	3	22	7%
08	Ramadillas	Forestal	2008	3	22	7%
09	San José de Colico	Forestal	2002	5	17	6%
10	El Colorado - Herrera	Forestal	2008	3	15	5%
11	Capitán Pastene	Forestal	2002	-	23	6%
12	Masonite	Industrial	2003	4	25	22%

(1) Corresponde al CBR representativo de la subrasante (2) En la carpeta asfáltica "-" significa tratamiento superficial o slurry



Figura 2 - 3 Ubicación de los sectores donde se efectuó deflectometría de impacto FWD

Resultado de la medición de módulos

Una de las características de los caminos Proes visitados es que la mayoría ya ha cumplido su vida útil. A pesar de ello, los módulos obtenidos en la deflectometría varían entre 1.241 MPa y 17.000 MPa (Tabla 2-2), si se dejan fuera los dos tramos de prueba. La variabilidad obtenida es alta, lo cual es esperable considerando las diversas características de los caminos medidos (cambian la subrasante, los materiales estabilizados, el clima y el tránsito).

Tabla 2 - 2 Resumen de módulos promedios retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES®

ID	Descripción	Tipo	Año constr.	E PROES (MPa)
01	Algarrobo	Industrial	2009	3.121
02	Alto Horno	Urbano	2005	6.046
04	Escuadrón Calle Principal	Industrial	2006	6.155
06a	Escuadrón Calle F (1)	Industrial	2013	273
06b	Escuadrón Calle D (1)	Industrial	2013	386
07	Las Corrientes	Forestal	2008	517
08	Ramadillas	Forestal	2008	2.391
09	San José de Colico	Forestal	2002	17.028
10	El Colorado - Herrera	Forestal	2008	9.433
11	Capitán Pastene	Forestal	2002	3.974
12	Masonite	Industrial	2003	1.241

(1) Tramos de prueba construidos y operados para verificar rangos de falla.

Además de estudiar los resultados promedio por tramo, se realizó un análisis de todos los resultados de deflectometría. La frecuencia de los módulos retrocalculados de la capa estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®, expresada entre 0 y 1, siendo 1 la totalidad de las mediciones se presenta en la Figura 2-4, los cuales se agruparon en rangos de 2.000 MPa. Esto quiere decir, que se presenta la frecuencia o número de ocurrencias sobre el total entre 0 y 2.000 MPa; 2.000 y 4.000 MPa;
4.000 y 6.000 MPa, etc. La Figura 2-4 indica que más de la mitad (55%) de los módulos medidos es mayor a 2.000 MPa.

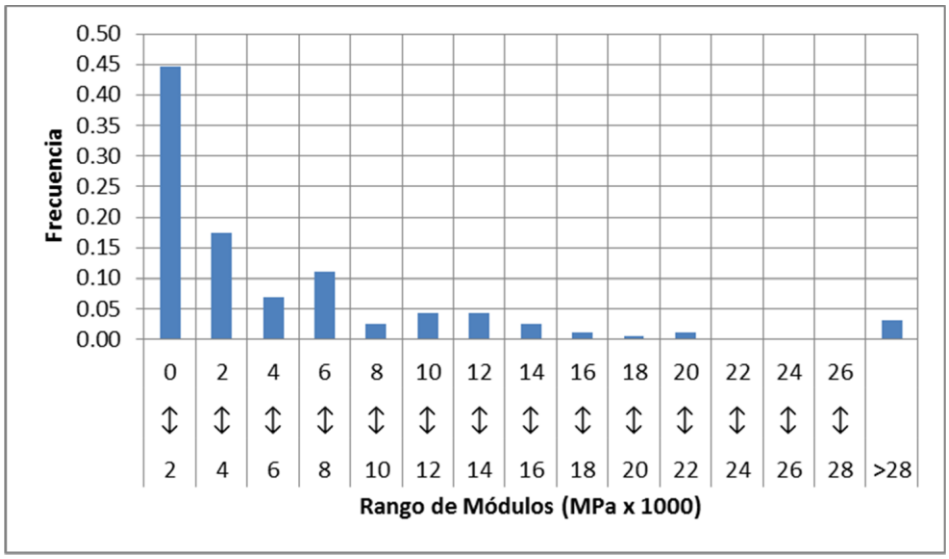


Figura 2 - 4 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil

Si el tramo de estudio más interesante por la cantidad y relevancia en el diseño, se genera un detalle de las frecuencias de los módulos retroanalizados de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®, entre 0 y 2.000 MPa, el cual se presenta en la Figura 2-5. Se observa que el valor mínimo es de 200 MPa (que se concentran en los tramos de prueba que se construyeron para fallar en el periodo de estudio), mientras que los valores más frecuentes en ese rango se encuentran entre 400 MPa y 1.200 MPa.

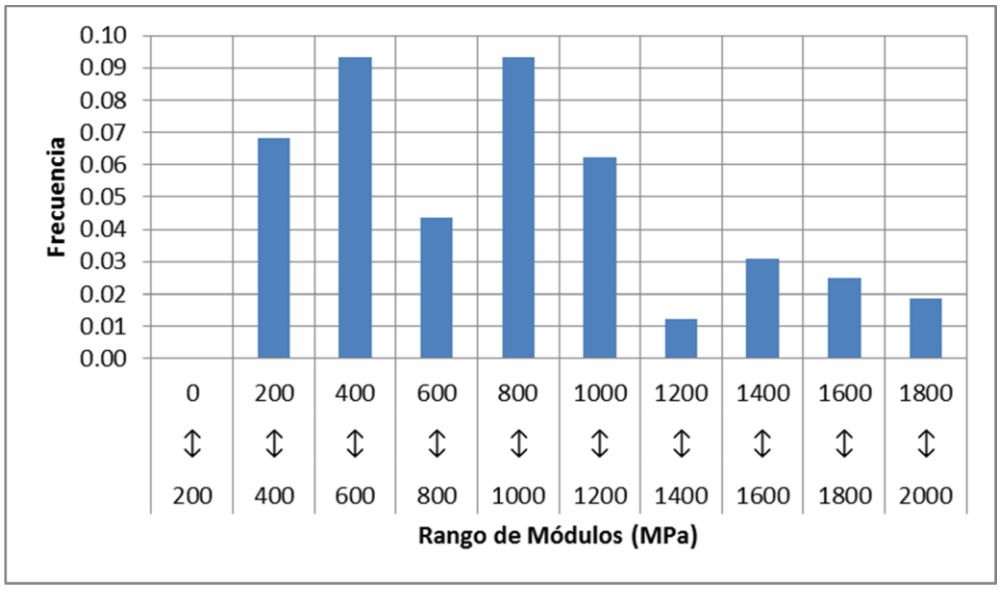


Figura 2 - 5 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil

Adicionalmente se compararon los resultados de mediciones en temporada seca y húmeda. En la Figura 2-6 se observa que, junto con presentar módulos considerables, se tiene un módulo retenido del 70% en condiciones de alta humedad, lo que es considerado adecuado para este tipo de soluciones.

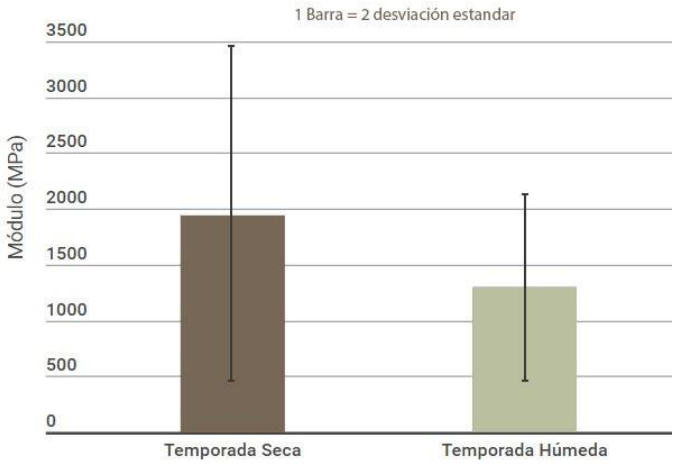


Figura 2 - 6 Resultados de módulos en condiciones secas y húmedas

2.2 Ensayos de Laboratorio

2.2.1 Objetivos

El objetivo del trabajo experimental del laboratorio es caracterizar mecánicamente un conjunto de materiales de suelo estabilizados con aditivo liquido iónico PROES®. Para lograr el objetivo, se llevó a cabo una serie de ensayos de laboratorio comúnmente utilizados en ingeniería de caminos, donde se aplica un amplio rango de tensiones y deformaciones esperadas en el pavimento producto de la carga aplicada por los vehículos. Las mediciones obtenidas en estos ensayos permiten comparar el aditivo liquido iónico PROES® con otros materiales para pavimentos. Por otro lado, las propiedades mecánicas obtenidas a partir de estas mediciones permiten modelar estructuralmente el comportamiento del material y asociarlo a su desempeño en terreno.

Los principales ensayos realizados son:

- CBR (Razón de Soporte California o California Bearing Ratio)
- UCS (Resistencia a la Compresión no Confinada o Unconfined Compressive Strength)
- CNC (Compresión No Confinada)
- ITS (Resistencia a la Tracción Indirecta o Indirect Tensile Strength)
- MrTx (Módulo Resiliente Triaxial)

2.2.2 Materiales

Para el estudio de laboratorio se utilizaron suelos 2 de baja capacidad de soporte e inestables, justamente enfocados en generar soluciones de pavimentos con materiales abundantes, pero que no sean factibles de utilizar en su estado natural para el diseño y construcción de caminos. Uno de los suelos corresponde a una arcilla de alta plasticidad (CH), mientras que el segundo material es esta misma arcilla mezclada con una arena. Las características de cada suelo se presentan en la Tabla 2-3. El CH se eligió justamente por tratarse de un suelo de mala calidad, (alto porcentaje finos, límite líquido alto y bajo CBR). Los suelos con límites líquidos e índices de plasticidad más bajos (SC, CL, SM, GC) sistemáticamente presentan mejores resultados de estabilización con aditivo liquido iónico PROES® que los materiales estudiados.

Tabla 2 - 3 Caracterización de suelos utilizados

Norma	Característica o Propiedad	Arcillla (CH)	Arena: Arcilla 1:1
Granulometría MC 8.102.1-LNV 105	Pasante malla 4 (%)	100	99.3
	Pasante malla 40 (%)	65.1	34.7
	Pasante malla 200 (%)	**54.5**	**21.8**
Límites de Atterberg MC 8.102.3-LNV 89 MC 8.102.4-LNV 90	Límite líquido o LL (%)	**50.9**	**36.7**
	Límite plástico o LP (%)	**24.1**	**19.3**
	Índice de plasticidad o IP (%)	26.8	17.4
Proctor Modificado MC 8.102.3-LNV 89	Densidad máxima compactada húmeda (t/m^3)	2.093	2.190
	Humedad óptima de compactación (%)	13.5	9.5
	Densidad máxima compactada seca (t/m^3)	1.844	2.000
MC 8.102.11-LNV 92	CBR al 95% de la DMCS (%)	7	28

Los estabilizadores utilizados en el estudio fueron el aditivo líquido Iónico PROES® y los aditivos sólidos P+C (Portland más Cenizas), y Cal. Este tipo de aditivos sólidos, en particular la cal, se utiliza cuando se tienen suelos arcillosos de alta plasticidad como la arcilla CH incluida en el estudio.

2.2.3 Resultados laboratorio

Razón de Soporte California (CBR)

Los CBR se dejaron 7 días al aire permitiendo la reacción química de los aditivos y posteriormente fueron saturados por 4 días bajo el agua siguiendo el procedimiento de un ensayo tradicional. Los resultados de CBR para suelos estabilizados se presentan en la Figura 2-7 y además se incluyen los resultados de los suelos sin tratar como punto de referencia.

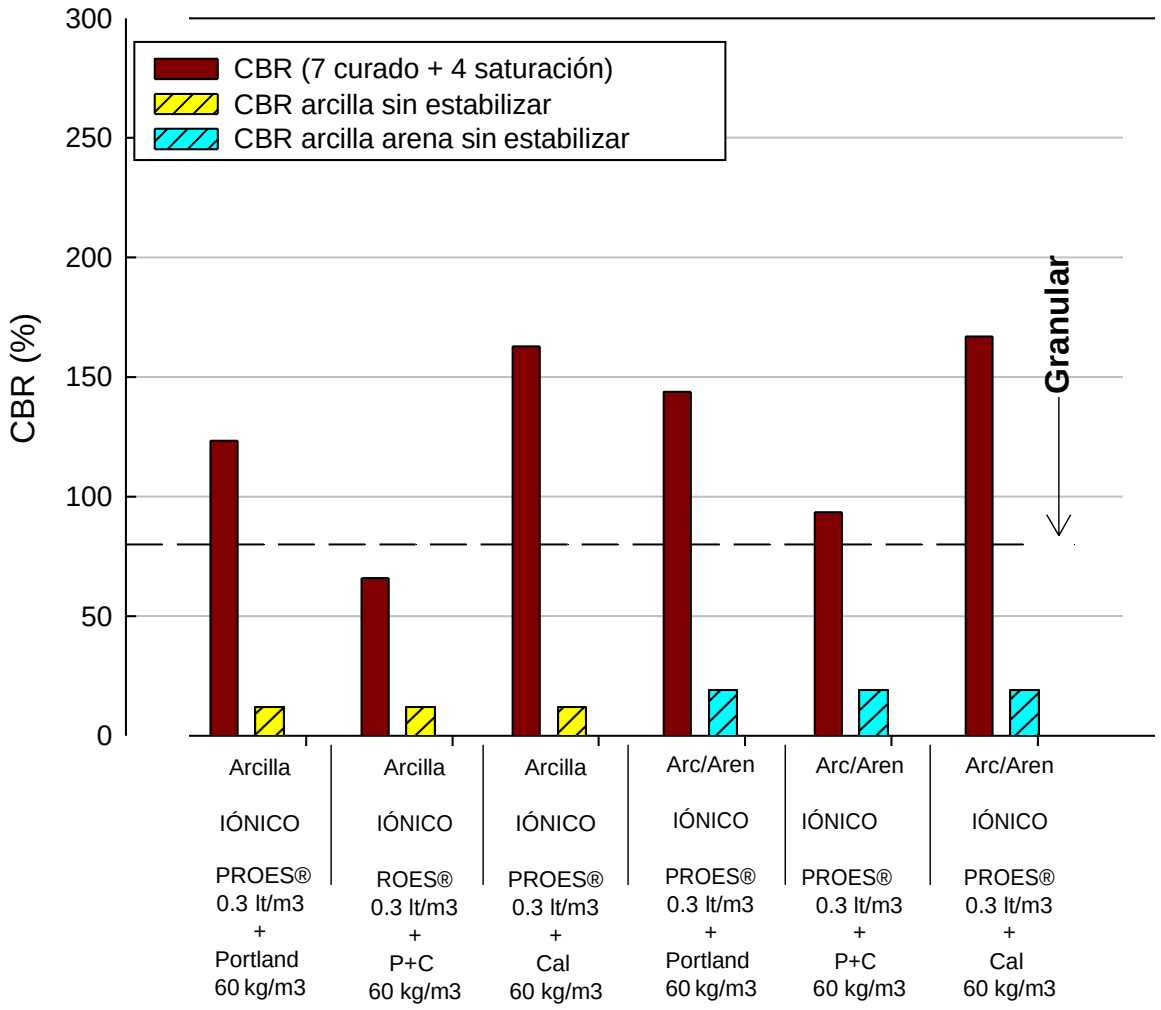


Figura 2 - 7 Resultados ensayos CBR (P=Cemento Portland, C=Ceniza)

Se observa un desempeño superior con el uso de Cal, lo que es esperable en función de las características de la arcilla utilizada.

Ensayos de Resistencia a la Compresión y Compresión No Confinada (UCS y CNC)

Tal como en el caso del CBR, los resultados de las Figura 2-8 muestran un incremento importante en la resistencia a la compresión de los materiales estabilizados, así como también un aumento de la resistencia en función del tiempo de reacción (cercana al 50%).

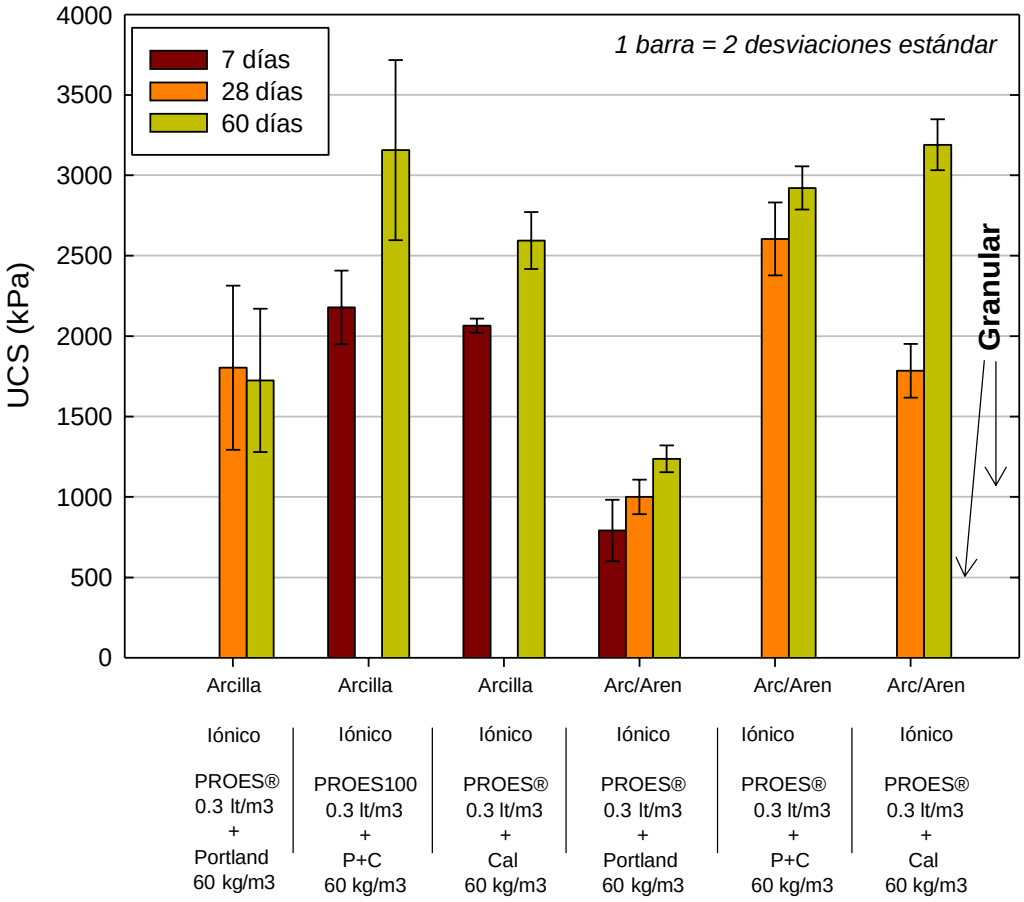


Figura 2 - 8 Resultados de resistencia a la compresión no confinada, UCS (P=Cemento Portland, C=Ceniza Volante)

Además del ensayo UCS tradicional se realizó el ensayo CNC, similar al ensayo UCS ya que es un ensayo de compresión, pero se confeccionan probetas de menor tamaño para que al llevarlas a saturación por 4 horas se genere una condición más desfavorable.

Los resultados presentados en la Figura 2-9 corresponden a la *resistencia retenida* del suelo arcilla (CH) tratada sin el aditivo líquido y con el aditivo líquido Iónico PROES®. La resistencia retenida se define en este caso como la razón o cociente entre la resistencia saturada y la resistencia a humedad natural.

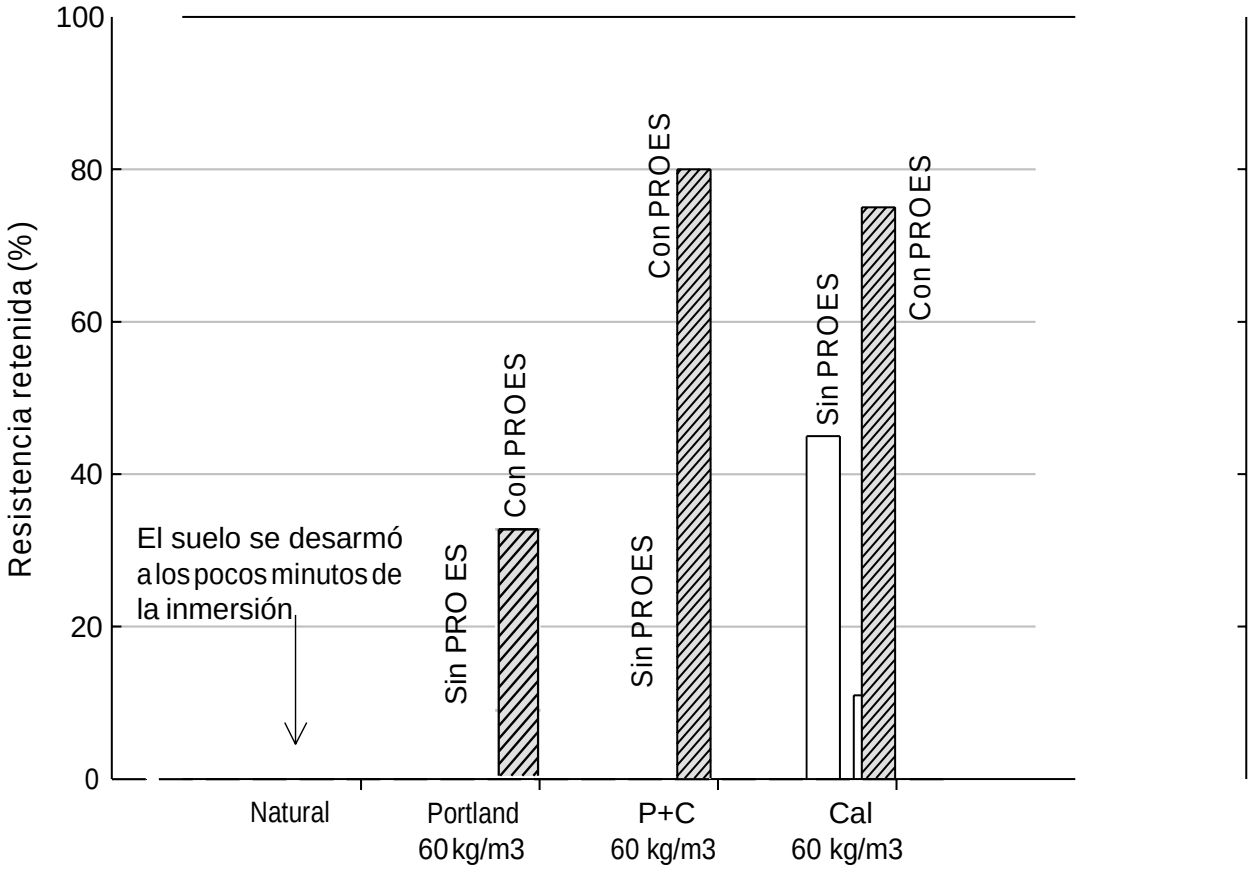


Figura 2 - 9 Resistencia retenida en ensayos CNC, tiempo de reacción 7 días.

Resistencia a la Tracción Indirecta (ITS)

Los resultados para los ensayos en tracción indirecta ITS se presentan en la Figura 2-10. En este caso se ensayaron todas las mezclas a 7, 14 y 60 días de edad. Se observa que todas las mezclas tienen una resistencia a la tracción indirecta sobre los 100 kPa para los 7 días de edad y en general presentan una tendencia creciente en el tiempo, particularmente las que usan cal como aditivo sólido (el más apropiado para el suelo CH).

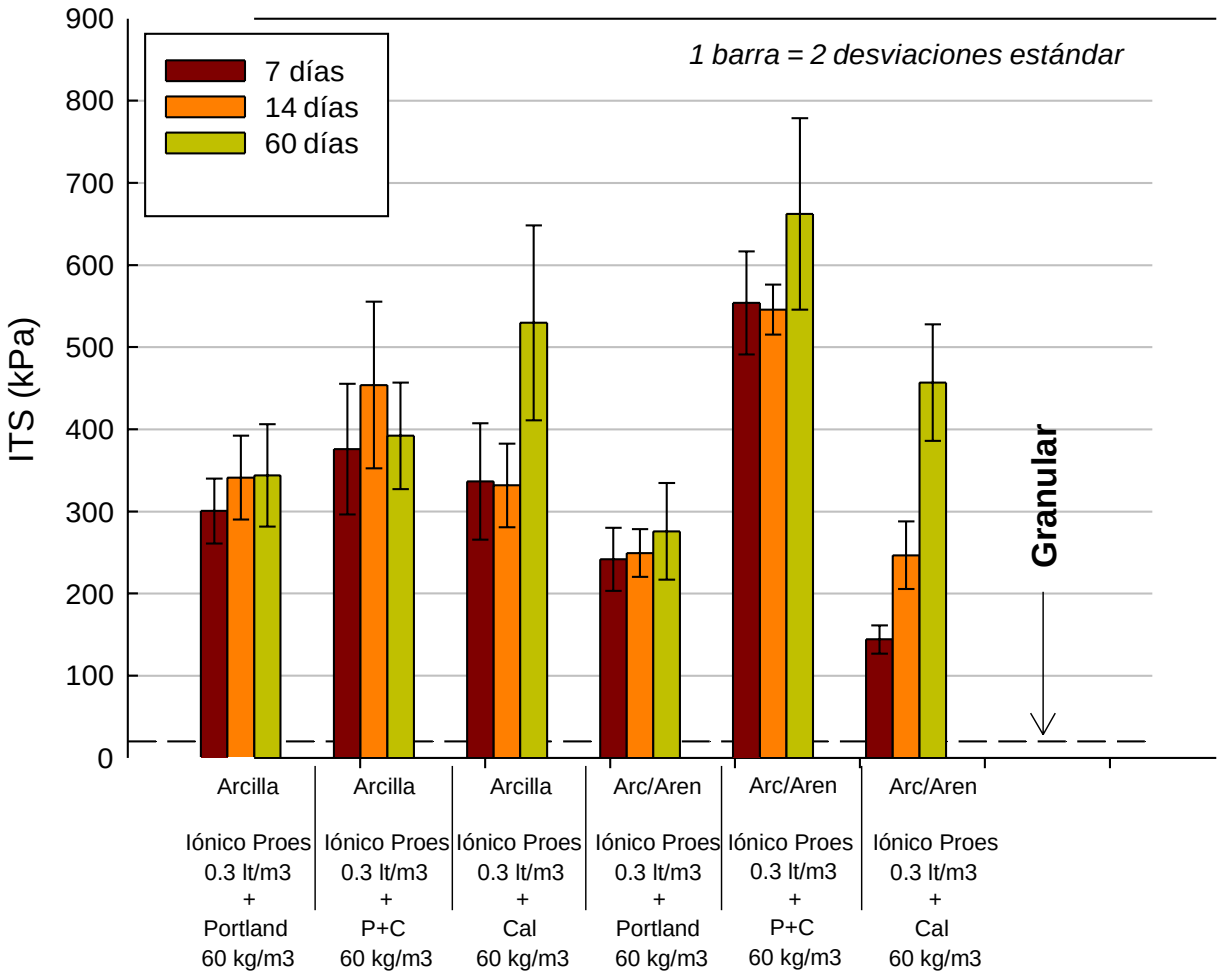


Figura 2 - 10 Resultados de ensayos de resistencia a tracción indirecta (ITS) a 7, 14 y 60 días de edad

Módulo de Resiliente Triaxial (MrTx)

El módulo resiliente se define como el cociente entre el esfuerzo desviador aplicado y la deformación unitaria elástica en cada ciclo de carga. El ensayo para medir el módulo resiliente consiste en someter una probeta a un estado de tensiones compuesto por una presión de confinamiento y un esfuerzo desviador dinámico. Se dispone de resultados de módulo resiliente triaxial a 7, 14, 28 y 365 días de edad. Los resultados entregados en la Figura **2-11** representan sólo el módulo *promedio* de los 15 ciclos de carga que se deben realizar, mientras que la Figura 2-12 entrega los resultados en condiciones de saturación para evaluar la estabilidad de la solución.

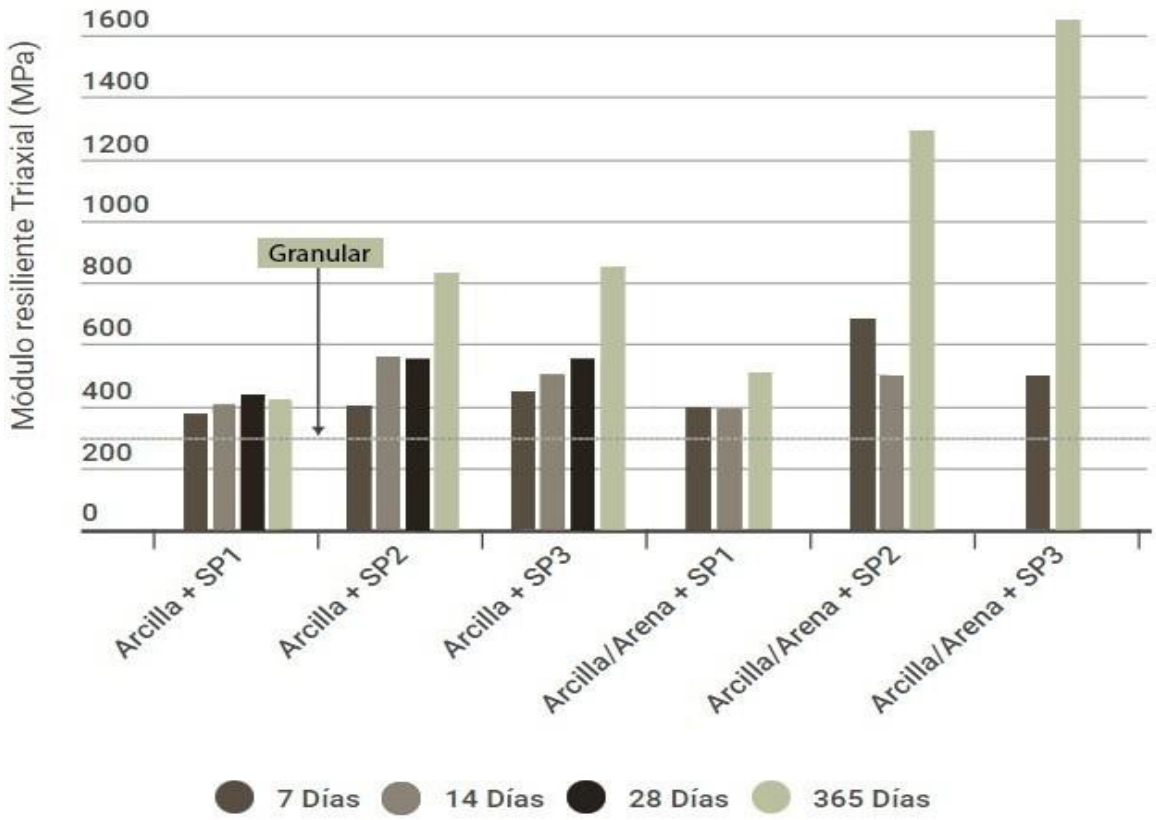


Figura 2 - 11 Resultados de ensayos de módulo triaxial a 7, 14, 28 y 365 días

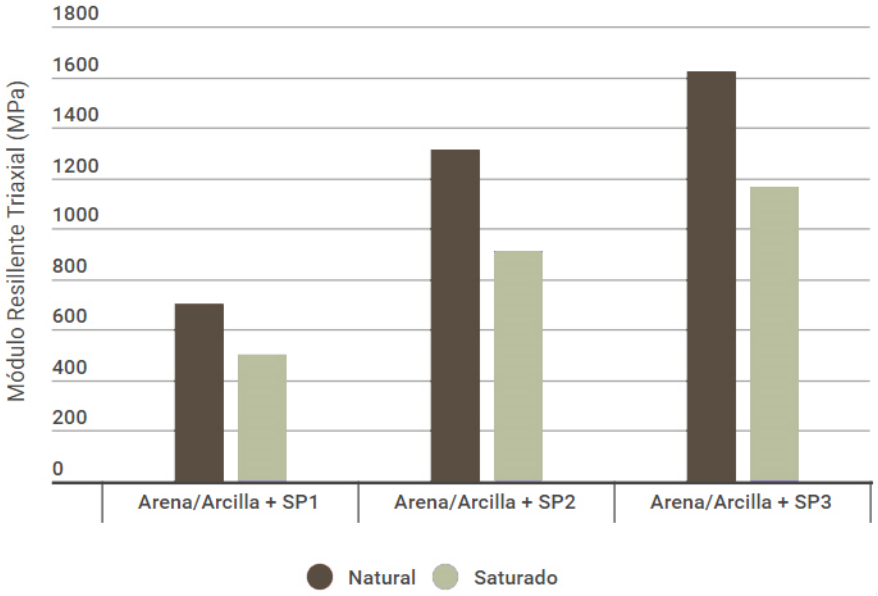


Figura 2 - 12 Resultados de ensayos de Módulo Resiliente Triaxial (MrTx) en condición natural y saturada a los 365 días de confección para una mezcla arcilla/arena

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el primer capítulo de este documento se realiza una breve descripción de la estabilización química y los fundamentos de la Tecnología PROES® con aditivo liquido iónico PROES®, mientras en el segundo capítulo se entrega el resultado de la evaluación en terreno y laboratorio, de manera que se permita conocer el desempeño y comportamiento mecánico de suelos estabilizados con la tecnología. En este tercer capítulo, se analizarán los resultados, con el fin de entregar herramientas de diseño para pavimentos que utilicen la Tecnología PROES® con aditivo liquido iónico PROES®, ordenado los argumentos a partir las características distintivas de los suelos tratados con la tecnología:

3.1 Resistencia

La característica básica de diseño para los pavimentos es la resistencia de sus capas, la cual puede ser evaluada tanto por los ensayos de terreno como laboratorio y representada, según corresponda, con coeficientes estructurales, módulos elásticos, CBR, UCS e ITS.

El método AASHTO 93 asigna un coeficiente estructural a cada una de sus capas como representación de aporte, siendo valores característicos el 0,13 para bases granulares, 0,17 para bases estabilizadas con cemento y 0,43 para carpetas asfálticas. De acuerdo a la medición de FWD, que permite estimar el coeficiente estructural de una capa de pavimento, las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® estudiadas tienen un rango amplio debido a la diferencia de materiales y edades de los caminos, pero que permiten señalar que más del 75% de las mediciones entregan un coeficiente mayor a 0,15 y cerca del 50% son iguales o mayores a 0,17, tal como se refleja en el histograma de la Figura 3-1.

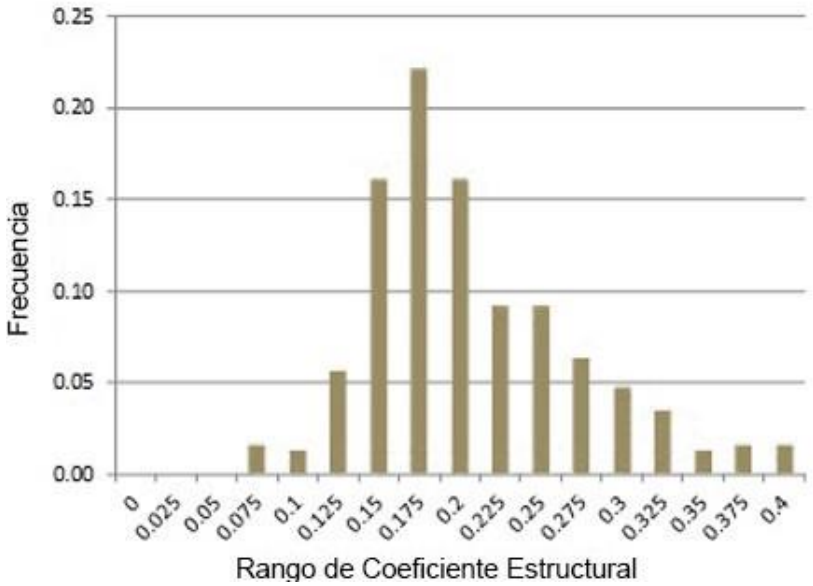


Figura 3 - 1 Frecuencia de coeficientes estructurales

Sumado a lo anterior, con la información recopilada fue posible generar una relación altamente consistente entre el módulo resiliente de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® y su coeficiente estructural, tal como se observa en la Figura 3-2, lo que entrega una excelente herramienta de diseño y control.

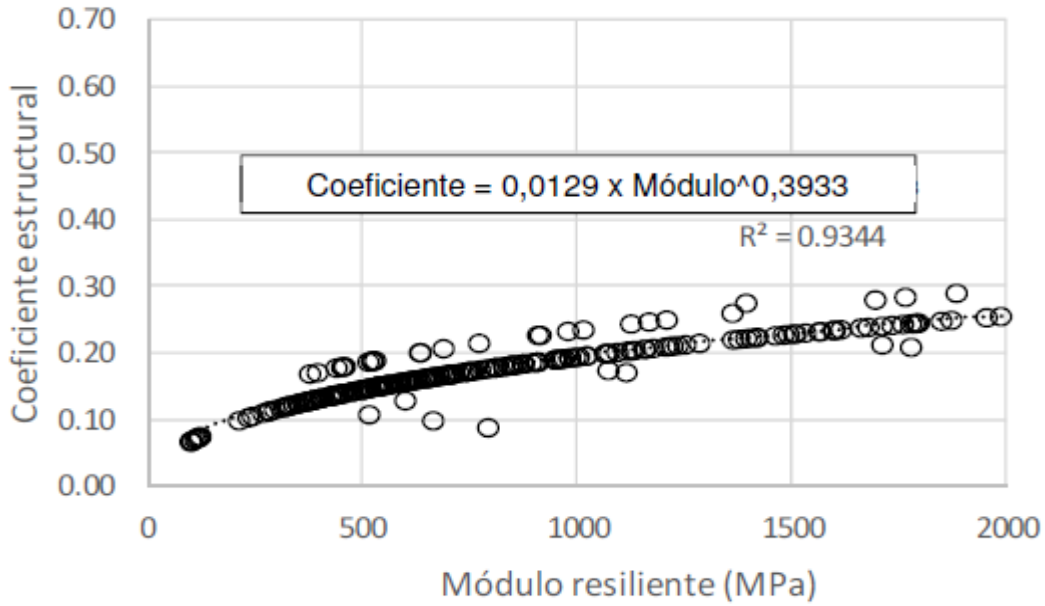


Figura 3 - 2 Relación entre el módulo resiliente de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® y su coeficiente estructural

A partir de los ensayos de laboratorio, (CBR, UCS, módulo resiliente e ITS) se concluye lo siguiente:

- CBR (Figura 2-7): El efecto de la estabilización a los 7 días es evidente, generando aumentos significativos de CBR en todos los casos, dependiendo la magnitud del aumento del tipo de aditivo sólido incorporado junto al aditivo líquido Iónico PROES®. Si bien los ensayos CBR se hicieron sólo a 7 días de edad y aún no alcanzan su resistencia máxima, la mayoría de los valores superan el equivalente de una base granular de buena calidad. Se observa además el importante aumento de resistencia que tiene la arcilla o suelo CH, el cual pese a ser un suelo con baja resistencia, al estabilizarlo con el aditivo líquido Iónico PROES® y cal como aditivo sólido, su resistencia aumenta por sobre 150% CBR, confirmando la buena reacción que tienen este tipo de suelos con la unión de ambos aditivos.

- UCS (Figura 2-8): Los resultados indican que las resistencias promedio fluctúan entre 791 kPa y 3.157 kPa según el tipo de aditivo sólido y tiempo de curado, presentando una variabilidad baja (coeficientes de variación menores a un 30%), y rangos de resistencia superiores a lo que se puede alcanzar con un buen material granular, que tiene una resistencia a la compresión no confinada del orden de 500-1000 kPa.

- ITS (Figura 2-10): Se observa que en general la resistencia ITS va aumentando con la edad (60 días) y alcanza valores promedio entre 276 kPa para la arcilla más cemento Portland y 662 kPa para el caso de la arcilla con arena más Portland y Ceniza Volante. En general para proyectos de pavimentos que incluyen estabilización de asfalto espumado, el ITS esta en torno a 600-800 kPa, por lo que los valores alcanzados son satisfactorios considerando que la estabilización con aditivo liquido iónico PROES® no utiliza un ligante como lo es el asfalto. Se observa un aumento de resistencia promedio de aproximadamente un 20% entre 7 y 60 días.

- Módulo (Figura 2-11): El módulo resiliente promedio a los 7 días de edad para todas las mezclas estudiadas es de 470 MPa, superior al de una base granular de buena calidad que fluctúa entre 250-350 MPa. Adicionalmente su resistencia sigue en aumento hasta un año después de la estabilización. En base a los resultados obtenidos, se considera que el módulo a 7 días corresponde al 50% de lo que se llega después de un año y que corresponde al módulo representativo de diseño.

Como resumen, las bases y suelos tratados con la Tecnología Proes® con aditivo liquido iónico PROES® tienen características estructurales muy superiores a los de una base granular de buena calidad. No es posible hacer una comparación directa con los suelos estabilizados con cemento o asfalto utilizando los ensayos de UCS e ITS, pero en base a los módulos y coeficientes estructurales obtenidos, se desprende que es una solución (al menos) equivalente en términos de resistencia.

3.2 Estabilidad

Otra característica fundamental de materiales estabilizados es que el comportamiento de resistencia sea similar tanto en condiciones secas o naturales y en saturación. Se entiende como “estable” aquel material que mantiene al menos el 70% de sus características mecánicas bajo condiciones de saturación.

Con el fin de verificar el cumplimiento de este parámetro, se evaluó dicha característica en los ensayos presentados en el capítulo 2, encontrando que

- En la Figura 2-6 se observa que los módulos medidos en invierno y verano tienen una variación menor al 30%, confirmando la estabilidad del material frente a los cambios de humedad. Ese mismo análisis, si lo realizamos considerando los coeficientes estructurales también presenta buen comportamiento en la época húmeda, incluso en aquellos caminos con su vida útil cumplida (Figura 3-3).

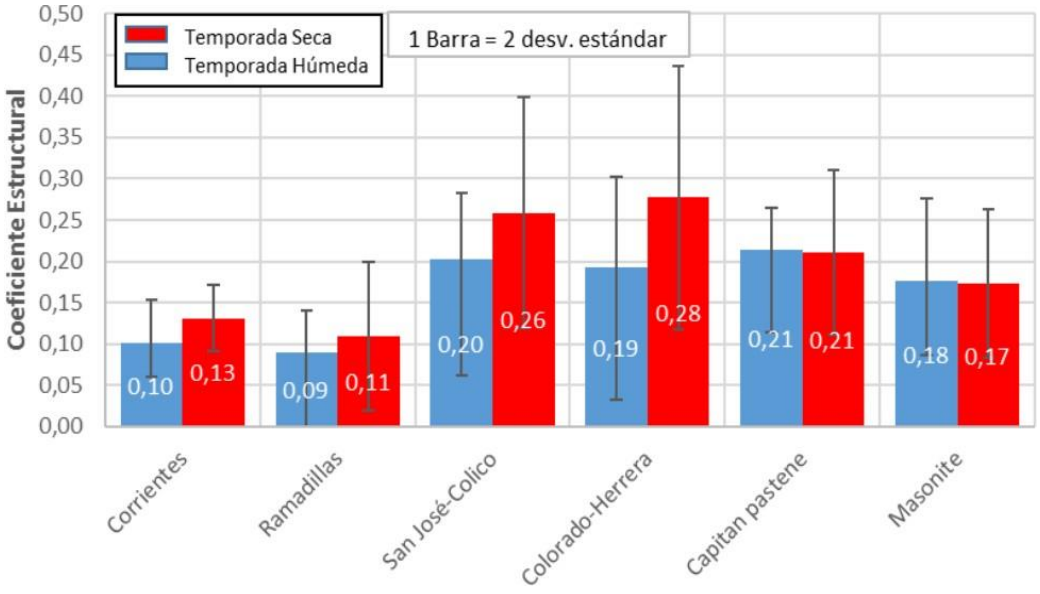


Figura 3 - 3 Comparación coeficientes en época seca y húmeda

- En términos de módulo en laboratorio, se realizaron ensayos sobre las muestras estabilizadas, obteniendo valores sobre el 70% en el módulo retenido (Figura 2-12), lo que es consistente con lo medido en terreno.

- En un ensayo más ácido (CNC), como se aprecia en la Figura 2-9, es importante notar que los suelos tratados con aditivo sólido más aditivo líquido tienen una resistencia retenida considerablemente mayor el mismo suelo con aditivo sólido sin la adición de aditivo líquido, mientras que los suelos sin estabilización o naturales no resisten la saturación en agua y se desarman a los pocos minutos. En otras palabras, se observa que el efecto del aditivo líquido lónico PROES® sobre el suelo estudiado es el aumento de estabilidad del suelo tratado.

3.3 Durabilidad

Una condición relevante para la evaluación y uso de una tecnología de estabilización es determinar si las mejoras incorporadas al suelo tienen una condición de término distinta a la

que corresponde a la fatiga de los materiales, por lo que como parte del estudio en terreno se estudió la evolución de la resistencia y su permanencia en el tiempo.

La deflectometría de impacto se realizó sobre una gran extensión de caminos donde se ha aplicado la tecnología PROES®. Los caminos estudiados son representativos de diversas estructuras, tránsito y suelo de subrasante. De los análisis efectuados se deriva que el módulo de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® normalmente varía entre 500 MPa en su condición 'terminal' hasta un rango de 2.000-10.000 MPa, que resulta ser el módulo de trabajo del material. Como se explicará más adelante, una vez construida la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® se observa un aumento de módulo producto de la reacción de los aditivos químicos, de la evaporación del agua y de la densificación de la capa producto del tráfico. A partir estas observaciones se infiere que la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® tiene un comportamiento en tres fases, como los materiales semi-ligados (Figura 3-4):

- Fase I: Desde el inicio de la construcción hasta que el módulo se estabiliza.
- Fase II: Fase estable, que corresponde a la mayor parte de la vida del pavimento.
- Fase III: Fase terminal, correspondiente a cuando el pavimento ha cumplido su vida útil.

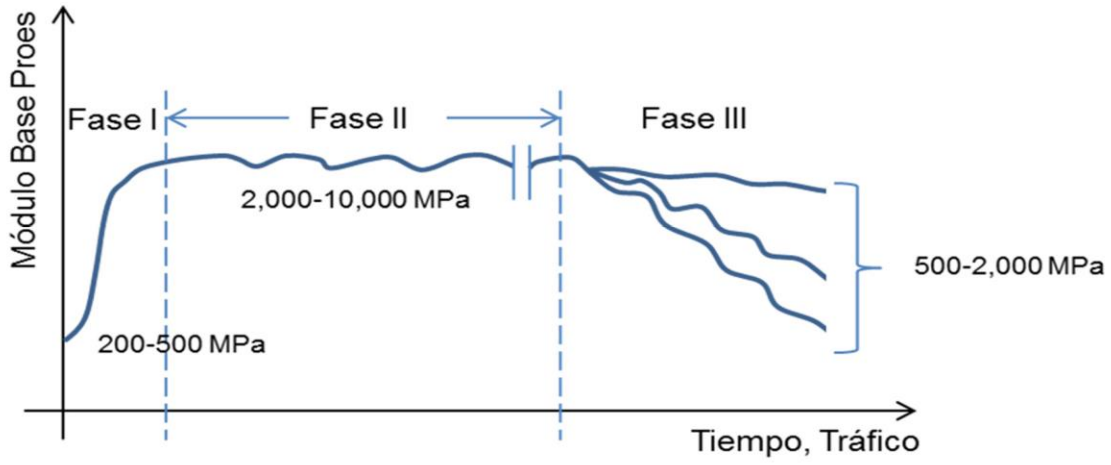


Figura 3 - 4 Esquema de evolución del módulo de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® en el tiempo

3.4 Flexibilidad

Tal como ha sido mencionado en el presente documento, la Tecnología PROES® considera el uso de un aditivo sólido y un aditivo líquido iónico. Este último es elaborado por PROES®, mientras que el aditivo sólido puede ser cemento, cal, cenizas u otro filler mineral.

La cuarta característica deseable es la flexibilidad, en el sentido de evitar condiciones de fragilidad y rigidez, tal como ocurre con frecuencia en las bases tratadas sólo con cemento. La experiencia y evaluación funcional de los caminos en operación confirma que el uso de la tecnología no genera fisuras o reflejo de grietas, tema que sería particularmente visible al usar recubrimientos asfálticos de bajo espesor. Mientras en laboratorio, junto con lo ya analizado del ensayo ITS (Figura 2-10), las mezclas tratadas tienen un comportamiento asociado a un material semi-ligado. El comportamiento semi-ligado corresponde a un rango intermedio entre un material ligado (las mezclas asfálticas) y no ligado (los materiales granulares o suelos). Estos materiales que tienen un aumento significativo de resistencia en el tiempo, pero siguen presentando características similares a los materiales granulares, es decir, una dependencia de la tensión de trabajo y una relativa baja resistencia a la tracción indirecta. El hecho de no tener una alta resistencia a la tracción indirecta no es algo necesariamente negativo, ya que materiales con esta característica son normalmente más frágiles y concentran mayores tensiones, las que se asocian a la generación de grietas.

Por otro lado, la determinación de la flexibilidad está asociado al concepto de semiligado y éste a la condición de tensodependencia que debe tener el suelo estabilizado. Para evaluar esta característica, durante el ensayo triaxial se obtuvo el comportamiento (módulo) en cada uno de los 15 ciclos, obteniendo los datos de la Figura 3-5.

En los ensayos se registró una tenso-dependencia del módulo, es decir, para distintas condiciones de carga se obtuvieron distintos módulos. Por lo tanto, las mezclas estudiadas también presentan características similares a las de un material granular y no así a materiales cementados, en otras palabras, no son rígidos.

Los datos entregados en la Figura **2-11** representan sólo el módulo *promedio*, sin embargo, el módulo resiliente observado en los ensayos triaxiales realmente depende del estado de tensiones, donde se pueden obtener valores hasta el doble del módulo promedio.

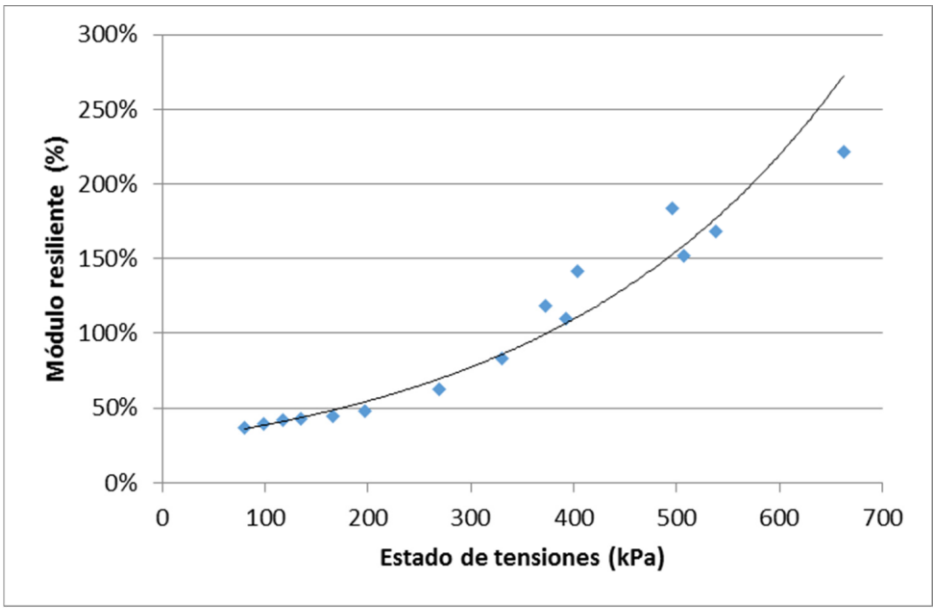


Figura 3 - 5 Módulo resiliente en función del desviador de tensiones

3.5 Parámetros de Diseño Estructural de Pavimentos

A continuación, se presentan recomendaciones para el diseño con Tecnología PROES® la con aditivo liquido iónico PROES®, en función de caracterización mecánica de la estabilización presentada en el capítulo anterior.

a. Para el caso de metodologías o métodos empírico-mecanicistas para el diseño de pavimentos, el parámetro básico es el módulo elástico, el cual permite caracterizar la respuesta de elasticidad de los materiales que componen el pavimento. De acuerdo resultados expuestos anteriormente, para bases de pavimentos flexibles, la capa estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® se caracteriza por módulos entre 500 y 1.000 MPa, dependiendo de los aditivos, dosis y tipo de suelo tratado.

b. Para el caso de método AASHTO 93 el coeficiente estructural estará sustentado por su módulo elástico y la relación presentada en la Figura 3-2 presentada anteriormente:

Coeficiente estructural = 0,0129 * (Módulo PROES®) ^ 0,3933

Para determinar el Módulo Proes®, se debe realizar el ensayo de módulo triaxial dinámico (7 días), multiplicarlo por 2 (por efecto de la reacción al plazo de un año) y utilizar la fórmula anterior. Por ejemplo, con un módulo de laboratorio de 500 MPa a 7 días, se obtiene un módulo de diseño para la base Proes de 1.000 MPa. Aplicado este último sobre la fórmula, se obtiene un coeficiente de 0,20.

En caso de no contar con la información de módulo, el coeficiente estructural de una base Proes® se determina en función de los ensayos de CBR y Resistencia a la compresión (UCS), cuyas relaciones quedan resumidas en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 3 - 1 Determinación coeficientes estructurales según ensayo CBR y UCS

CBR 7 días [%]	Resistencia 28 días [MPa]	Modulo PROES® [MPa]	Coeficiente Estructural
≥ 100 %	1.2	500	0.15
≥ 100 %	1.5	700	0.17
≥ 100 %	1.8	1000	0.20
≥ 100 %	2.5	1300	0.22

Para los casos que lo suelos tratados tengan CBR < 100% (subbases, terraplenes y mejoramientos de subrasante), se recomienda usar las recomendaciones AASHTO de acuerdo con el CBR.

4 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA PROES®

El principio fundamental de la Tecnología PROES® con aditivo liquido iónico PROES® es la reacción química de los aditivos con suelos que tienen algún grado de plasticidad, mejorando considerablemente el comportamiento del suelo frente al agua y las cargas de tránsito. Luego del análisis de los suelos a estabilizar y de la determinación de la dosificación, la estabilización se realiza agregando al material o suelo natural las dosis estudiadas del aditivo sólido y el aditivo líquido iónico, logrando una mezcla homogénea, y compactando hasta alcanzar compactación de diseño (al menos el 95% de la Densidad Máxima Compactada Seca, DMCS). El espesor de la base y la dosificación de los aditivos quedan definidos por el diseño de ingeniería, en función de los resultados de laboratorio, y es parte de la tecnología.

La estabilización con Tecnología PROES® permite generar estructuras con una capacidad de soporte y durabilidad equivalente a las estructuras de pavimento tradicionales, pero de menor espesor, en general aprovechando los materiales naturales disponibles en el lugar de la construcción. La capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® se considera como semi-ligada, impermeable, cohesiva, flexible y con un módulo elástico que puede variar entre 500 y 10.000 MPa según la dosificación utilizada y las características naturales del suelo a tratar, lo que se traduce en que el material tratado tiene al menos una capacidad estructural equivalente a una base granular de capacidad de soporte CBR ≥ 100%. Estas propiedades mecánicas de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® permiten que, en la mayor parte de los proyectos, la carpeta de rodado o capa de protección sea diseñada exclusivamente para resolver el tema de la abrasión y no para agregar capacidad estructural al pavimento.

El tipo de estructura de pavimento donde se utiliza la base estabilizada con Tecnología PROES, o va a depender del tránsito, clima, estándar requerido y otras condiciones de operatividad e incluyen:

- Superficie asfáltica delgada (tratamiento asfáltico simple o doble, lechada, etc).
- Carpeta asfáltica delgada en caliente
- Losas de hormigón con geometría optimizada

- Adocretos
- Base descubierta



Figura 4 - 1 Aplicaciones de la tecnología

4.1 Usos de la tecnología de la infraestructura vial

La tecnología PROES® se fundamenta en la mejora de las propiedades geomecánicas de los materiales existentes en el proyecto mediante la adición de aditivo, y de acuerdo con el desempeño funcional que se le desea dar a la capa estabilizada dentro de la estructura de pavimento, con el fin de obtener su adecuado comportamiento mecánico, lo cual permite a la tecnología interactuar en cualquier capa de la estructura de pavimento y al tipo de solicitaciones de carga a la que este expuesta la estructura de pavimento estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® en la infraestructura vial de vías de bajo, mediano y alto volúmenes de tránsito, infraestructura portuaria, logística y residencial, para la construcción, mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación de la infraestructura de transporte.

4.2 Ejemplo de comparación con solución tradicional

A modo de ejemplo, se presenta el caso de una solución de pavimento asfáltico o flexible para un camino con una subrasante donde predomina arcilla inorgánica de alta plasticidad con un CBR promedio del orden de 10%. El pavimento se debe diseñar para un tránsito esperado de 1 millón de ejes equivalentes en 10 años de vida útil. En la Figura 4-2 se indica la propuesta con diseño de pavimento tradicional versus la propuesta con la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®, donde se observa la importante reducción de espesor del

material granular a utilizar.



Figura 4 - 2 Ejemplo de diseño tradicional versus la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®.

5 CONCLUSIONES

En función de los estudios de laboratorio y terreno realizados como parte del proyecto INNOVA y la información recopilada en los más de 15 años de experiencia con la Tecnología **PROES®**, las cuales han sido brevemente presentadas en esta sección, se concluye que:

a. Existe consistencia entre la experiencia práctica en terreno, la medición con FWD y los ensayos de laboratorio, lo que respalda el hecho de que los materiales tratado con la Tecnología **PROES®** tienen un comportamiento propio y que difiere del de otros estabilizadores químicos.

b. Los suelos tratados con Tecnología **PROES®** tienen un importante grado de flexibilidad, es decir, la capacidad de deformarse sin fallar, lo cual ha sido observado en laboratorio (ensayo de deformación permanente triaxial) y en terreno.

c. Su comportamiento corresponde a un material semi-ligado, por lo tanto, tiene algunas características de material granular como la tenso-dependencia, pero a la vez un aumento significativo de resistencia y módulo a la compresión. El módulo a la tracción indirecta no tiene un aumento significativo, lo cual confirma que no es un material susceptible al agrietamiento.

d. Su resistencia, medida a través del módulo resiliente, sigue en aumento hasta un año después de la estabilización. En base a los resultados obtenidos, se considera que el módulo a 7 días corresponde al 50% de lo que se podría llegar a alcanzar a largo plazo.

e. La selección del aditivo sólido es importante, ya que se observa en los ensayos que, tanto la resistencia como la estabilidad, varían en función del tipo de suelo y aditivo utilizado (dosis y tipo). En principio se recomienda el uso de cemento portland para suelos de baja a media plasticidad y de cal viva para suelos de media a alta plasticidad.

f. Los suelos tratados con **aditivo liquido iónico PROES®,** con el aditivo y dosis correcta, presentan estabilidad frente al agua, ya que no tienen una significativa disminución en su módulo. Teniendo como premisa que se reconoce como estable a un material que mantiene un 70% de su resistencia (retenida) al estar expuesto con el

agua, cuestión que se cumple con la utilización de la tecnología y la dosificación adecuada.

g. Mediciones en caminos, de hasta 15 años de servicios, muestran que la estructura se mantiene estable, resistente y durable en el tiempo. En promedio las mediciones son del orden de 1.654 MPa, significativamente superiores a una base granular de buena calidad. Del mismo modo, los coeficientes estructurales en la red de caminos estudiada son en promedio de 0.24.

h. Los módulos de los suelos estabilizados con la Tecnología **PROES®** tienen una adecuada correlación con coeficientes estructurales.

ALCALDÍA LOCAL DE KENNEDY

CONTRATO DE OBRA PÚBLICA No. 816-2025

CONTRATAR A MONTO AGOTABLE Y A PRECIOS UNITARIOS, EL DIAGNÓSTICO, MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MOBILIARIO DE LOS PARQUES DE PROXIMIDAD (VECINALES Y DE BOLSILLO) PRIORIZADOS EN LA LOCALIDAD DE KENNEDY

ESTUDIOS Y DISEÑO PARA LA INTERVENCIÓN DE LAS ZONAS DE JUEGO Y SENDEROS PEATONALES EN LOS PARQUES DEL CONTRATO NO. 816-2025

GT03-CPK-V1

CONTRATISTA

PRO K
CONSORCIO

CONSULTOR

GEOINGTRO SAS

BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2025

CONTROL DE CAMBIOS DEL DOCUMENTO

ÍNDICE DE REVISIÓN	CAPITULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN
0		11-11-2025	Versión inicial
1		14-11-2025	Respuesta a observaciones oficio CG009-2005

ÍNDICE DE DISTRIBUCIÓN

No.	Distribuir a	No.	Distribuir a
1		4	
2		5	
3		6	

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Contrato No.	816-2025	**Fecha:**	14 de noviembre de 2025
Título del documento	Estudios y diseño para la intervención de las zonas de juego y senderos peatonales en los parques del contrato No. 816-2025		
Código del documento	GT03-CPK		

Control Interno Consorcio PRO K – Contrato No. 816-2025	
Revisó:	Aprobó:
Ing. Juan Ricardo Troncoso Rivera Especialista en pavimentos	**Luis Alberto Lora Escobar** Representante Legal
Revisión Externa	
	Representante Legal

TABLA DE CONTENIDO

CONTROL DE CAMBIOS DEL DOCUMENTO 2
ÍNDICE DE DISTRIBUCIÓN 2
REVISIÓN Y APROBACIÓN 2
TABLA DE CONTENIDO 3
LISTA DE ILUSTRACIONES 3
LISTA DE GRÁFICAS 4
LISTA DE TABLAS 4
LISTA DE ECUACIONES 4
INTRODUCCIÓN 5
1 GENERALIDADES 6
1.1 Metodología 6
1.2 Normativa consultada 6
1.3 Condiciones climáticas 6
2 ESTRUCTURA EXISTENTE 9
2.1 Estructura de cancha múltiple existente 9
3 ESTUDIO GEOTÉCNICO 10
3.1 Caracterización geotécnica 10
3.2 Cambios de volumen en la subrasante 11
3.2.1 Potencial expansivo de la subrasante 11
3.2.2 Potencial de contracción de arcillas 12
3.2.3 Recomendación frente al fenómeno de expansión y contracción 13
3.3 Ensayos de capacidad de soporte del suelo 13
3.4 Correlación CBR- MR 13
3.5 Cálculo de la capacidad portante equivalente – CPE 14
4 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE CAPAS 16
4.1 Estructura de zona de juegos 16
4.2 Estructura de senderos peatonales 17
4.3 Especificaciones técnicas de materiales de construcción 18
5 RECOMENDACIONES GENERALES 19
6 LIMITACIONES 20
ANEXO 1. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I
ANEXO 2. DOCUMENTOS TÉCNICOS DEL ADITIVO LÍQUIDO IÓNICO II

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Perfil estratigráfico promedio encontrado 9
Ilustración 2. Mejoramiento de plataforma con geocelda 15
Ilustración 3. Estructura de zona de juegos con capas granulares no tratadas 16
Ilustración 4. Estructura de zona de juegos con uso de cemento y aditivo 17
Ilustración 5. Estructura de senderos peatonales con capas granulares no tratadas 17
Ilustración 6. Estructura de senderos peatonales con uso de cemento y aditivo 18

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Histograma de lluvias, estación Aeropuerto El Dorado 7
Gráfica 2. Días de lluvias en el año, estación Aeropuerto El Dorado 7
Gráfica 3. Temperaturas en el año, estación Aeropuerto El Dorado 8

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de ensayo, norma técnica, cantidad..... 10
Tabla 2. Resultados de ensayos de laboratorio 10
Tabla 3. Clasificación de suelos expansivos..... 11
Tabla 4. Potencial Expansivo de la subrasante 11
Tabla 5. Comparación de contenido de agua de equilibrio y natural 12
Tabla 6. Potencial de contracción de arcillas 12
Tabla 7. Clasificación de potencial de contracción 12
Tabla 8. Análisis de resultados de límite de contracción 13
Tabla 9. Resultados de ensayo CBR 13
Tabla 10. Correlaciones entre CBR Vs MR..... 13
Tabla 11. Cálculo de modulo resultante de refuerzo con geocelda 14
Tabla 12. Estructuras recomendadas por el IDRD en función al CBR obtenido.... 16
Tabla 13. Equivalencias de espesores y tipos de material en zona de juegos 17
Tabla 14. Equivalencias de espesores y tipos de material en senderos peatonales 18
Tabla 15. Proporciones recomendadas de cemento y aditivo 18

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Humedad de equilibrio..... 12
Ecuación 2. Incremento del módulo del material granular por MIF 14

INTRODUCCIÓN

El Fondo de Desarrollo Local de Kennedy realiza la intervención y mantenimiento integral y preventivo de los parques de proximidad de la localidad de Kennedy, como meta de mejoramiento de espacios saludables para los habitantes.

Los campos y escenarios deportivos requieren ser intervenidos de manera técnica y económica teniendo en cuenta las normas y especificaciones técnicas vigentes del Instituto Distrital de Recreación y Deporte IDRD.

Teniendo en cuenta esta necesidad, el Consorcio PRO K a través de GEOINGTRO S.A.S. realiza los estudios y diseño para la intervención de la cancha múltiple del parque Urbanización Lago De Timiza II Etapa, código 08-099.

1 GENERALIDADES

A continuación, se presenta la metodología, normativa consultada para la elaboración de los estudios y diseños. Asimismo, se define las condiciones climáticas de la zona y la ubicación del sitio a analizar.

1.1 Metodología

Para realizar el análisis y diseño de espesores de los escenarios deportivos se tendrán en cuenta las siguientes actividades:

- Exploración geotécnica en el área donde se encuentra el área a intervenir.
- Ejecución de ensayos de laboratorio, en los cuales se destaca la clasificación del material de subrasante y su evaluación en potencial de expansión.
- Se realiza el análisis geotécnico con la información recolectada en campo y laboratorio.
- Se define la alternativa de intervención, las especificaciones técnicas de los materiales, y especificaciones particulares si es necesario.

1.2 Normativa consultada

Para realizar una apropiada elaboración del diseño, se tendrá en cuenta:

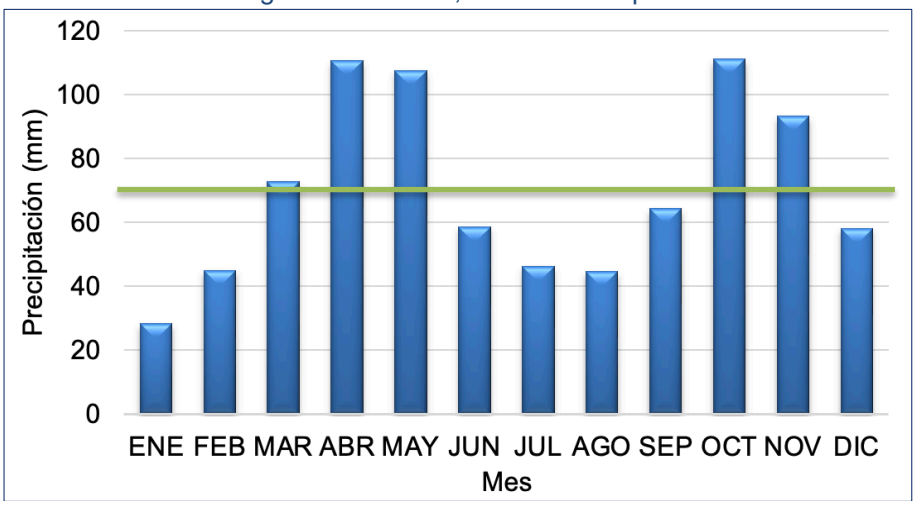
- Manual de especificaciones técnicas de diseño y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá D.C.
- Cartilla de Andenes Bogotá D.C., de la Secretaría Distrital de Planeación, Dirección del Taller del Espacio Público
- Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

1.3 Condiciones climáticas

Las condiciones climatológicas del proyecto se analizan con los datos reportados por la estación Sinóptica Principal (SP) Aeropuerto El Dorado, ubicada en las coordenadas 4°42’20,1”N-74°9’2,4”W y cota de 2.547 m.s.n.m., la cual registra los siguientes parámetros (http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima):

- Precipitación anual: 841,2 mm
- Número de días con lluvia: 189
- Temperatura media: 13,7° C.

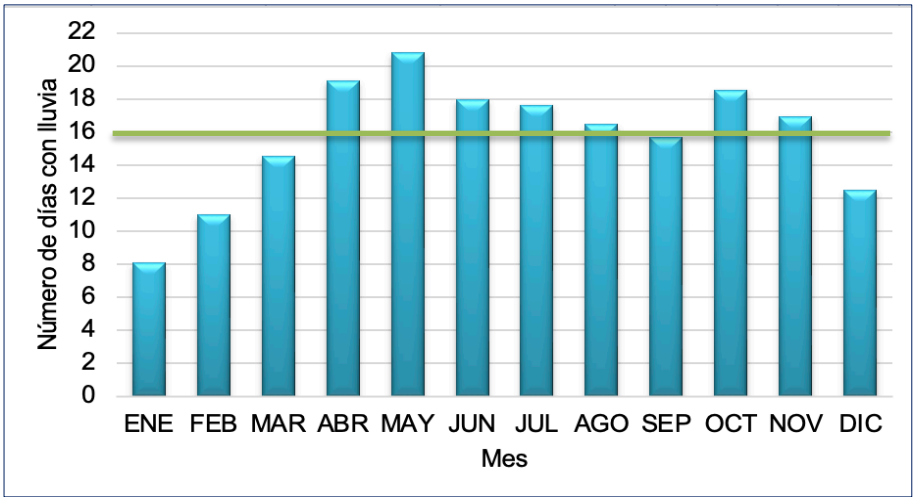
Gráfica 1. Histograma de lluvias, estación Aeropuerto El Dorado



Fuente: Adaptado con datos de www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

Los meses con mayor precipitación son abril, mayo, octubre y noviembre, siendo octubre el que presenta mayor precipitación con 111 mm.

Gráfica 2. Días de lluvias en el año, estación Aeropuerto El Dorado



Fuente: Adaptado con datos de www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

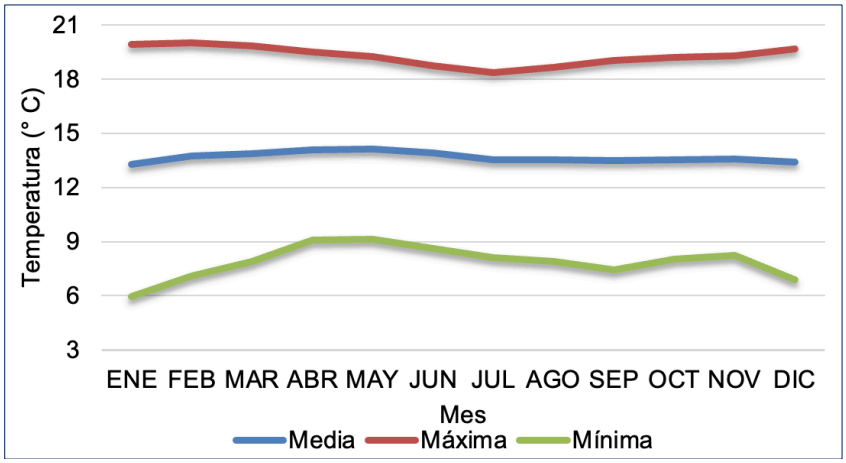
Se determina el porcentaje de tiempo que la estructura estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación en los meses de mayor precipitación, considerando los que presentan valores por encima del promedio.

$$\%tiempo = \frac{días\ de\ máxima\ precipitación}{365} = \frac{19{,}1 + 20{,}8 + 18 + 17{,}6 + 16{,}5 + 18{,}5 + 16{,}9}{365} = 35\%$$

Dadas unas condiciones aceptables de drenaje y teniendo en cuenta este porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad que se acercan a la saturación, el coeficiente de drenaje de los materiales granulares no tratados se define en $m_{SBG-BG} = 0{,}85$ (tabla 2.4 Recommended m_i values for modifying structural layer coefficients of untreated base and subbase materials in flexible pavements. Part II, AASHTO,1993).

Se presenta a continuación, la variación de temperatura durante el año.

Gráfica 3. Temperaturas en el año, estación Aeropuerto El Dorado



Fuente: Adaptado con datos de www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

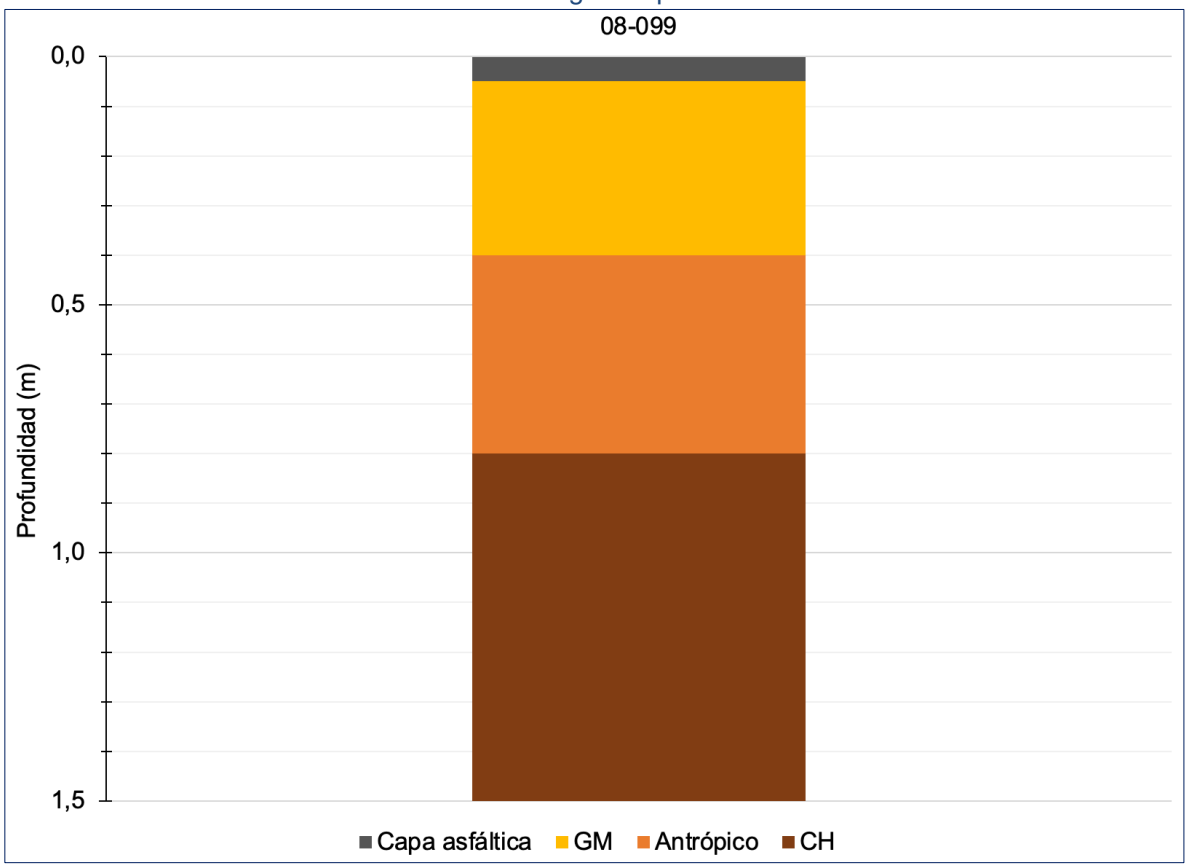
2 ESTRUCTURA EXISTENTE

El área de la zona de juegos y senderos peatonales se tomará como referencia el apique del parque Urbanización Lago De Timiza II Etapa.

2.1 Estructura de cancha múltiple existente

La estructura existente y el espesor promedio de cada capa se obtuvo por medio de la ejecución de apiques. A continuación, se presenta un esquema de la estructura encontrada.

Ilustración 1. Perfil estratigráfico promedio encontrado



Fuente: Adaptado de Pruebas Geotécnicas S.A.S., 2025

Se observa una capa asfáltica de 0,05 metros, posteriormente se evidencia un material granular de 0,35 metros, un material antrópico de 0,40 metros. Finalmente se evidencia una subrasante arcillosa.

3 ESTUDIO GEOTÉCNICO

La caracterización de la subrasante se realizó por medio de un apique en las zona de interés, en los cuales se extrajeron muestras representativas para realizar la caracterización física (granulometría, límites y humedad natural) de los materiales encontrados y expansión de la subrasante. Así mismo se realizó el ensayo CBR a partir de la profundidad del estrato de subrasante.

El estudio geotécnico se centra en dos análisis principalmente:

- Capacidad de soporte del suelo
- Expansión del suelo frente a cambios de humedad

Los dos análisis serán necesarios para evaluar la estructura que se va a construir, generando una solución técnica que satisfaga una adecuada inversión y que provea una suficiente estabilidad.

3.1 Caracterización geotécnica

Con las muestras recuperadas durante el proceso de exploración se ejecutan los ensayos de laboratorio con el propósito de conocer las propiedades físicas. Los ensayos de laboratorio, norma técnica y cantidad se muestran a continuación.

Tabla 1. Tipo de ensayo, norma técnica, cantidad

Ensayo	Norma	Cantidad
Ensayo Lambe	I.N.V. E-120	1
Contenido de Humedad	I.N.V. E-122	2
Granulometría	I.N.V. E-123	2
Limite Líquido	I.N.V. E-125	2
Limite plástico e Índice de plasticidad	I.N.V. E-126	2
Límite de contracción	I.N.V. E-127	1
CBR sobre muestra inalterada	I.N.V. E-148	1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Resultados de ensayos de laboratorio

Apique	Profundidad (m)		USCS	% Grava	% Arena	% Finos	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	LC (%)	Lambe		CBR (%)	
	De	a										Esfuerzo (kg/cm^2)	Cambio potencial	Natural	Inmersión
08-099	0,00	0,05	CARPETA ASFALTICA												
	0,05	0,40	GM	44,4	34	21,6	12,3	N.L.	N.P.	-					
	0,40	0,80	MATERIAL ANTRÓPICO												
	0,80	1,50	CH	0,1	2,9	97,1	32,6	55	18	37	36,7	3,13	7,76	2,5	0,7

Fuente: Adaptado de resultados de laboratorio Pruebas Geotécnicas S.A.S., 2025

Se observa una subrasante que clasifica como arcilla de alta plasticidad con un contenido de agua promedio de 33%, limite liquido promedio de 55%, limite plástico promedio de 18%, e índice de plasticidad promedio de 37%. Con relación al contenido de agua, la subrasante presenta una capacidad de soporte baja, esta condición se puede corroborar con los valores de CBR en estado de humedad sumergida donde se obtienen valores de $CBR \leq 2\%$.

Con estos resultados se analizarán las condiciones de capacidad de soporte y susceptibilidad a cambios volumétricos. Con los resultados obtenidos en el aparato Lambe se determina un potencial muy crítico.

3.2 Cambios de volumen en la subrasante

Los cambios de volumen en la subrasante están asociados a cambios del contenido de agua o estado hídrico de la subrasante.

3.2.1 Potencial expansivo de la subrasante

El fenómeno de expansión en una estructura liviana se representa generalmente con el desarrollo de una o varias grietas longitudinales y grietas en bloque, las cuales se generan con cambios volumétricos positivos o negativos asociados con la presencia de arcillas expansivas, especialmente en zonas blandas de áreas amplias, como son los parques.

El potencial de expansión se evalúa por varios criterios, en función a los límites de consistencia, medición del esfuerzo de expansión, entre otros. A continuación, se presenta el análisis del potencial de expansión por el método de los limites de consistencia.

El análisis cualitativo de expansión se realiza bajo los criterios establecidos en la NSR-10, de acuerdo con los límites de consistencia.

Tabla 3. Clasificación de suelos expansivos

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kg_f/cm^2	Límite Líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de Plasticidad IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 – 30	50 - 63	6 – 12	23 – 45	18 – 37	> 100
Medio	10 – 20	39 - 50	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 - 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: Tabla H.9.1-1, NSR10

En la siguiente tabla se presenta el análisis con base en el criterio anterior.

Tabla 4. Potencial Expansivo de la subrasante

Apique	Profundidad (m)	USCS	LL (%)	IP (%)	Potencial de expansión
08-099	0,80	CH	55	37	Alto

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la evaluación cualitativa se presenta un potencial de expansión alto, sin embargo, no se debe considerar los límites de consistencia como indicadores directos de la expansión.

Para evaluar físicamente si habrá un cambio de volumen, se calcula la humedad de equilibrio para verificar si el material presenta un contenido de agua por debajo de esta, buscará satisfacer la demanda de agua hasta llegar el porcentaje de humedad de equilibrio.

Ecuación 1. Humedad de equilibrio

$$w_{equilibrio} = 0{,}47LL + 3{,}6$$

Fuente: Numeral H.6.1.4.1, NSR 98

Tabla 5. Comparación de contenido de agua de equilibrio y natural

Apique	Profundidad (m)	USCS	LL (%)	W_{eq} (%)	W_n (%)
08-099	0,80	CH	55	29,5	32,6

Fuente: Elaboración propia

El valor de humedad de equilibrio está por debajo del contenido de agua natural, siendo poco probable que, si el contenido de agua en el entorno geotécnico aumenta, se presente una variación de volumen de la subrasante.

Con relación al esfuerzo de expansión se obtuvo un valor de 3,13 kg_f/cm^2 siendo un esfuerzo que la estructura de pavimento no puede disipar con su propio peso.

3.2.2 Potencial de contracción de arcillas

Este comportamiento esta relacionado con los suelos expansivos, los cuales cambian de volumen con relación al cambio del estado hídrico o contenido de agua. Mientras el contenido de agua próximo a la zona donde se encuentra el suelo expansivo sea mayor, este presentará un elevado hinchamiento, y si el suelo tiene poca humedad la contracción del suelo en la superficie será más evidente.

De acuerdo con el artículo “The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clay soils in Britain” de Driscoll (1983), se mencionan que la profundidad a la que se produce la contracción e hinchazón generalmente se limita a la zona activa (superior a 1,5 m) donde es más probable que ocurra un cambio de humedad, a menos que esta zona se extienda por la presencia de raíces de árboles.

Tabla 6. Potencial de contracción de arcillas

IP (%)	Pasa tamiz 200 (%)	Potencial de contracción
>35	>95	Muy alto
22 - 48	60 - 95	Alto
12 - 32	30 - 60	Medio
<18	<30	Bajo

Fuente: Adaptado de Driscoll, (1983)

En la tabla anterior, se observa la clasificación del potencial de contracción en función al índice de plasticidad propuesto por Driscoll.

Tabla 7. Clasificación de potencial de contracción

Apique	Profundidad (m)	USCS	IP (%)	Pasa tamiz 200 (%)	Potencial de contracción
08-099	0,80	CH	37	97,1	Muy alto

Fuente: Elaboración propia

Con relación al límite de contracción es importante entender que este es el contenido máximo de agua, por debajo del cual un secado adicional no causa una disminución de volumen de la muestra de suelo.

Tabla 8. Análisis de resultados de límite de contracción

Apique	Profundidad (m)	USCS	Wn (%)	LC (%)	Presenta contracción
08-099	0,80	CH	32,6	36,7	No

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Recomendación frente al fenómeno de expansión y contracción

De acuerdo a estudios realizados en zonas con presencia de arcillas expansivas y evidencia de grietas longitudinales por cambios volumétricos (Zornberg, Jorge. 2012), se evidenció por medio del método observacional que la inclusión de geomallas en la estructura liviana impide el desarrollo de estas grietas longitudinales.

Se recomienda que la solución para la mitigación de los cambios volumétricos positivos y negativos sea una combinación de geocelda y geomalla triaxial, con el cual se distribuya de manera adecuada los esfuerzos impuestos por un cambio volumétrico en la subrasante, ya que esta se comporta de manera anisotrópica.

3.3 Ensayos de capacidad de soporte del suelo

Con relación a la capacidad de soporte del suelo, se determinó la capacidad de soporte de la subrasante por medio del ensayo CBR.

Tabla 9. Resultados de ensayo CBR

Apique	Profundidad (m)	USCS	CBR (%)	
			Natural	Inmersión
08-099	0,80	CH	2,5	0,7

Fuente: Adaptado de Pruebas Geotécnicas S.A.S., 2025

Esta consultoría define un $CBR = 0{,}7\%$ siendo la capacidad obtenida en la condición saturada.

3.4 Correlación CBR- MR

La guía “DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.” define las correlaciones entre el CBR y el módulo resiliente de la subrasante, a partir de las siguientes ecuaciones:

Tabla 10. Correlaciones entre CBR Vs MR

	Valor de CBR	Módulo Resiliente (MPa)
1	CBR ≤ 4%	7.5 * CBR
2	4% < CBR ≤ 9%	10 * CBR

Fuente: Guía GU-IC-019, 2013

De este modo se obtiene un módulo resiliente $M_R = 5{,}25\ MPa$.

La Guía IDU GU-IC-019, establece que se deben realizar mejoramiento en el suelo de la subrasante si los valores de resistencia del suelo son inferiores a un equivalente en términos de CBR del 4 % o un valor de módulo resiliente de 40 MPa.

3.5 Cálculo de la capacidad portante equivalente – CPE

Teniendo en cuenta que se requiere hacer un mejoramiento de la plataforma de soporte de la estructura de pavimento, se propone un mejoramiento con geocelda y relleno con material granular.

El aporte estructural de la geocelda se determina por medio del Factor de mejoramiento de módulo o MIF por sus siglas en inglés (Modulus Improvement Factor). Para hallar este factor, se requiere:

- Tránsito de diseño
- CBR de la subrasante
- Material de relleno de la geocelda

De acuerdo con los estudios realizados por Tanyu B.F., Aydilek A. H., Lau W., Edil T.B., Benson C.H. (2013), se determinó que el factor de incremento de módulo varía de 1,2 a 1,5. Dadas las condiciones de baja resistencia de la subrasante se define un $MIF = 1{,}20$.

Para determinar el módulo final de la capa de granular sin reforzar y reforzado con geocelda, se toma como referencia la ecuación para la determinación del módulo de un material granular de la Shell y se modifica incluyendo el factor MIF:

Ecuación 2. Incremento del módulo del material granular por MIF

$$E_2 = 0{,}206h^{0{,}45}E_3 * MIF$$

Fuente: Adaptado de Shell, 2019

Donde,
E_2, es el módulo de la capa superior (MPa)
E_3, es el módulo de la capa inferior (MPa)
h, es el espesor de la capa en evaluación (mm)
MIF, es el factor de mejoramiento de módulo

Para llegar al valor de plataforma de soporte mínimo, se procede a realizar el cálculo hasta encontrar el espesor que satisfaga esta condición de plataforma.

Tabla 11. Cálculo de modulo resultante de refuerzo con geocelda

Parámetro	Valor
Espesor de material granular (mm)	50
E_3 actual (MPa)	5,25
$E_{2\text{-}1}$ resultante (MPa)	6,29
Espesor de material reforzado con geocelda (mm)	150
MIF (Tanyu B.F. Et al, 2013)	1,20
$E_{2\text{-}2}$ resultante (MPa)	14,82
Espesor de material sin geocelda (mm)	50
$E_{2\text{-}3}$ resultante (MPa)	17,75

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 2. Mejoramiento de plataforma con geocelda

Capa	Espesor
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

4 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE CAPAS

El diseño de espesores de la zona de juegos y la cancha múltiple se definen de acuerdo con MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARQUES Y ESCENARIOS PÚBLICOS DE BOGOTÁ D.C., el cual tiene en cuenta el valor de CBR como parámetro de entrada.

Se toma como referencia la tabla 4.3 *"Pisos en pavimento asfáltico, canchas, cicloruta y zonas de juegos infantiles"*.

Tabla 12. Estructuras recomendadas por el IDRD en función al CBR obtenido

Tipo de suelo	Descripción	CBR (%)	Estructura recomendada			
			Geotextil	Subbase IDRD	Base IDRD	Rodadura IDRD
Suelos blandos	Poco competente como subrasante	menor a 3	ST 300 o T-2100 Pavco o similar	20 cm	20 cm	5 cm
Suelos medios	Medianamente competente como subrasante	de 3 a 5	T-1700 Pavco o similar	20 cm	15 cm	5 cm
Suelos duros	competente como subrasante	mayor 5	T-1700 Pavco o similar		25 cm	5 cm

Fuente: Adaptado Tabla 4.3 Especificaciones IDRD

Con el mejoramiento de la subrasante se obtiene una plataforma de suelo blando.

4.1 Estructura de zona de juegos

Teniendo en cuenta los análisis de capacidad de soporte del suelo, y las recomendaciones descritas por el IDRD, se define la siguiente estructura de zona de juegos:

Ilustración 3. Estructura de zona de juegos con capas granulares no tratadas

Capa	Espesor
Piso caucho	8 cm
Placa de concreto con malla electrosoldada	10 cm
Base Granular tipo IDRD	40 cm
Geomalla multiaxial, resistencia a fluencia ≥ 300 kN/m	-
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

Para disminuir el espesor de las capas de aporte estructural se propone una capa estabilizada mejorada con cemento portland y aditivo líquido iónico, se realiza la equivalencia de las capas para definir el espesor, por medio del método de diseño AASHTO.

Tabla 13. Equivalencias de espesores y tipos de material en zona de juegos

Estructura	Material	Espesor (in)	Coeficientes		SN_i	SN_{cal}
			a_i	m_i		
Materiales granulares	Base granular	15,75	0,125	0,85	0,94	1,67
Capa estabilizada	Base granular mejorada con cemento portland y aditivo líquido iónico	7,09	0,25	1	1,77	1,77

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4. Estructura de zona de juegos con uso de cemento y aditivo

Capa	Espesor
Piso caucho	8 cm
Placa de concreto con malla electrosoldada	10 cm
Base Granular tipo IDRD mejorada con cemento portland (5%) y aditivo líquido iónico (1,0 l/m^3)	18 cm
Geomalla multiaxial, resistencia a fluencia ≥ 300 kN/m	-
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

4.2 Estructura de senderos peatonales

Teniendo en cuenta los análisis de capacidad de soporte del suelo, y las recomendaciones descritas por el IDRD, se define la siguiente estructura de senderos peatonales:

Ilustración 5. Estructura de senderos peatonales con capas granulares no tratadas

Capa	Espesor
Concreto 3000 PSI estampado	10 cm
Base Granular tipo IDRD	40 cm
Geomalla multiaxial, resistencia a fluencia ≥ 300 kN/m	-
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

Para disminuir el espesor de las capas de aporte estructural se propone una capa estabilizada mejorada con cemento portland y aditivo líquido iónico, se realiza la equivalencia de las capas para definir el espesor, por medio del método de diseño AASHTO.

Tabla 14. Equivalencias de espesores y tipos de material en senderos peatonales

Estructura	Material	Espesor (in)	Coeficientes		SN_i	SN_{cal}
			a_i	m_i		
Materiales granulares	Base granular	15,75	0,125	0,85	0,94	1,67
Capa estabilizada	Base granular mejorada con cemento portland y aditivo líquido iónico	7,09	0,25	1	1,77	1,77

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6. Estructura de senderos peatonales con uso de cemento y aditivo

Capa	**Espesor**
Concreto 3000 PSI estampado	10 cm
Base Granular tipo IDRD mejorada con cemento portland (5%) y aditivo líquido iónico (1,0 l/m^3)	18 cm
Geomalla multiaxial, resistencia a fluencia ≥ 300 kN/m	-
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geocelda h=15 cm, esfuerzo de fluencia mínimo 18 kN/m, rellena en subbase granular reciclada tipo A	15 cm
Subbase granular reciclada tipo A	5 cm
Geotextil tejido, método tira ancha ≥90 kN/m	-

Fuente: Elaboración propia

4.3 Especificaciones técnicas de materiales de construcción

Para efectos de aplicación todos los materiales incluidos en este diseño deberán cumplir lo establecido en el anexo técnico del contrato.

Respecto a la capa de material granular con cemento portland y aditivo líquido iónico, se definen las siguientes proporciones y cantidades:

Tabla 15. Proporciones recomendadas de cemento y aditivo

Material	Proporción o cantidad
Aditivo líquido iónico	1 litro por m^3 suelto
Cemento portland	100 kilogramos por m^3 suelto

Fuente: Elaboración propia

5 RECOMENDACIONES GENERALES

Una vez se realice la excavación y/o retiro hasta el nivel de subrasante se deberá nivelar y compactar la misma para dar una adecuada superficie de trabajo para realizar la construcción de la estructura propuesta.

Si durante la ejecución de los trabajos y llegando a la cota de excavación de la alternativa definida, el ejecutor evidencia que alguna zona evidencia fallos en la subrasante lo cual impide realizar las labores de nivelación y compactación, se deberá realizar una excavación adicional de 0,40 metros de profundidad e instalar rajón en un espesor de 0,50 metros, de los cuales 0,10 metros de rajón se hincaran dentro de la subrasante con el propósito de disminuir vacíos y mejorar la densidad de la subrasante en estos puntos de fallos.

La rasante final de las zonas a intervenir debe estar definida a partir de las condiciones geomorfologías y la adecuada evacuación de las aguas superficiales y subsuperficiales.

Las excavaciones que se efectúen para la construcción se deben realizar de manera rápida y eficiente, evitando el aposamiento continuo de agua, y la disminución de la capacidad estructural.

6 LIMITACIONES

Los resultados aquí presentados se circunscriben al área específica del proyecto. Cualquier cambio en las hipótesis planteadas se debe informar inmediatamente para hacer los ajustes necesarios.

ANEXO 1. Exploración geotécnica

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME DE DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-13
VERSIÓN:	2
FECHA ELABORACIÓN:	2021-01-20

NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 102 - 2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3304-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

APIQUE Nº	1	PROFUNDIDAD (m)	0,05 m - 1,50 m
COORDENADAS	N: 4°36'36.63"W: 74° 9'42.63"	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1185-25 / 1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

PROF (m)	No. MUESTRA	TIPO	CLASIFICACIÓN			SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	W %	LÍMITES ATTERBERG			GRADACIÓN			*gt*	RESISTENCIA			
0,00			USC	ASSHTO	ÍNDICE DE GRUPO				L.L %	L.P %	I.P %	GRAVAS %	ARENAS %	FINOS %	g/cc	SPT GOLPE	P.D.C. (%)	CBR (%) INALT - SUB	CBR I 95%
0,05	1						CARPETA ASFALTICA												
0,40	2		GM	A - 1 - b	0		GRANULAR ARENOSO COLOR AMARILLO	12,33	N.L.	N.P.	-.	44,4	34,0	21,6					
0,80	3						MATERIAL ANTRÓPICO	-											
1,50	4		CH	A - 7 - 6	19		ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	32,56	55,0	18,0	37,0	0,1	2,9	97,1				2,5 - 0,7	

OBSERVACIONES	

P.D.C : *MEDICIÓN DEL CBR CON EL CONO DINÁMICO* ***- C.B.R :*** *INALTERADO.*

gt : *PESO UNITARIO TOTAL*

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
	
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENTE

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELOS, CONTENIDO DE AGUA Y LIMITES DE CONSISTENCIA.

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-15
VERSIÓN:	3
FECHA ELABORACIÓN:	2021-01-20

NORMA DE REFERENCIA	INV E 125:2013-INV E 122:2013-INV E 123:2013-INV E 126:2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3305-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	GRANULAR ARENOSO COLOR AMARILLO	PROFUNDIDAD (m)	0,05 m - 0,40 m
APIQUE No	1	MUESTRA No	2
CANTERA	TOMADO DE OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1185-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - LL

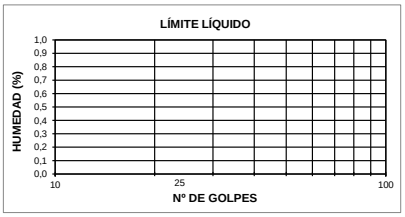
Determinación Nº	1	2	3
Nº de Golpes	-	-	-
Recipiente Nº	-	-	-
M_1	-	-	-
M_2	-	-	-
M_3	NL	NL	NL
M_W	-	-	-
M_S	-	-	-
W%	-	-	-
Método	A		

LÍMITE PLÁSTICO - LP			W% DE LA MUESTRA
Recipiente Nº	-	-	110-D
M_1	-	-	598,6
M_2	-	-	537,4
M_3	NP	NP	41,00
M_W	-	-	61,20
M_S	-	-	496,40
W%	-	-	12,33
Método	Manual		

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DE SUELOS

Masa inicial total seca (g):	1975,0
Masa inicial L-T 200 (g):	1550,6
Masa final: L-T 200 (g):	1548,6

Tamiz	Tamiz (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	% Pasa unificado
3"	75,00	0,0	-	-	100,0%	100,0%
2"	50,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
1 ½"	37,50	226,0	11,4%	11,4%	88,6%	88,6%
1"	25,00	231,0	11,7%	23,1%	76,9%	76,9%
3/4"	19,00	98,4	5,0%	28,1%	71,9%	71,9%
3/8"	9,50	195,6	9,9%	38,0%	62,0%	62,0%
Nº 4	4,75	125,0	6,3%	44,4%	55,6%	55,6%
Nº 10	2,00	88,0	4,5%	48,8%	51,2%	51,2%
Nº40	0,425	191,0	9,7%	58,5%	41,5%	41,5%
Nº200	0,075	393,2	19,9%	78,4%	21,6%	21,6%
FONDO	-	0,40	-	-	-	-



RESULTADOS	
Límite Líquido	N.L.
Límite Plástico	N.P.
Índice Plástico	-.
Gravas	44,4%
Arenas	34,0%
Finos	21,6%
A.A.S.H.T.O.	A - 1 - b
Índice de Grupo	0
U.S.C	GM

M_1 = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g

M_2 = Masa Recipiente + Suelo Seco , en g

M_3 = Masa Recipiente, en g

M_W = Masa del Agua , en g

M_S = Masa Suelo Seco, en g

W = Contenido de agua, en %

L-T2mm: Lavado sobre tamiz Nº 10

L-T0.074mm : Lavado sobre tamiz Nº 200

$M_W = M_1 - M_2$

$M_S = M_2 - M_3$

$w = (M_W / M_S) \times 100$

CONDICIONES AMBIENTALES	
TEMPERATURA AMBIENTE (° C)	23

EQUIPOS UTILIZADOS	No. INV.
SERIE DE TAMICES	0039
CAZUELA CASAGRANDE	-
BALANZA	0001 / 0001
HORNO	0013

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELOS, CONTENIDO DE AGUA Y LIMITES DE CONSISTENCIA.

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-15
VERSIÓN:	3
FECHA ELABORACIÓN:	2021-01-20

NORMA DE REFERENCIA	INV E 125:2013-INV E 122:2013-INV E 123:2013-INV E 126:2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3306-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	PROFUNDIDAD (m)	0,80 m - 1,50 m
APIQUE No	1	MUESTRA No	4
CANTERA	TOMADO DE OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - LL

Determinación Nº	1	2	3
Nº de Golpes	35	25	16
Recipiente Nº	9	17	4
M_1	43,46	43,71	41,71
M_2	36,68	36,65	34,36
M_3	23,71	23,84	21,71
M_W	6,78	7,06	7,35
M_S	12,97	12,81	12,65
W%	52,27	55,11	58,10
Método	A		

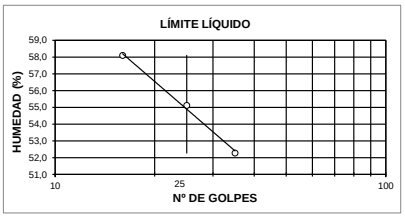
LÍMITE PLÁSTICO - LP

Recipiente Nº	28	44	64-D
M_1	33,38	34,07	509,0
M_2	32,14	32,32	394,0
M_3	23,95	24,03	40,80
M_W	1,24	1,75	115,00
M_S	8,19	8,29	353,20
W%	15,14	21,11	32,56
Método	Manual		

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DE SUELOS

Masa inicial total seca (g):	325,6
Masa inicial L-T 200 (g):	9,8
Masa final: L-T 200 (g):	9,6

Tamiz	Tamiz (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	% Pasa unificado
3"	75,00	0,0	-	-	100,0%	100,0%
2"	50,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
1 ½"	37,50	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
1"	25,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
3/4"	19,00	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
3/8"	9,50	0,0	-	0,0%	100,0%	100,0%
Nº 4	4,75	0,2	0,1%	0,1%	99,9%	99,9%
Nº 10	2,00	0,2	0,1%	0,1%	99,9%	99,9%
Nº40	0,425	0,6	0,2%	0,3%	99,7%	99,7%
Nº200	0,075	8,6	2,6%	2,9%	97,1%	97,1%
FONDO	-	0,00	-	-	-	-



RESULTADOS

Límite Líquido	55,0
Límite Plástico	18,0
Índice Plástico	37,0
Gravas	0,1%
Arenas	2,9%
Finos	97,1%
A.A.S.H.T.O.	A - 7 - 6
Índice de Grupo	19
U.S.C	CH

M_1 = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g

M_2 = Masa Recipiente + Suelo Seco , en g

M_3 = Masa Recipiente, en g

M_W = Masa del Agua , en g

M_S = Masa Suelo Seco, en g

W = Contenido de agua, en %

L-T2mm: Lavado sobre tamiz Nº 10

L-T0.074mm : Lavado sobre tamiz Nº 200

$M_W = M_1 - M_2$

$M_S = M_2 - M_3$

$w = (M_W / M_S) \times 100$

CONDICIONES AMBIENTALES	
TEMPERATURA AMBIENTE (° C)	23

EQUIPOS UTILIZADOS	No. INV.
SERIE DE TAMICES	0039
CAZUELA CASAGRANDE	0156
BALANZA	0002 / 0001
HORNO	0013

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME DE DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DEL SUELO

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-52
VERSIÓN:	2
FECHA ELABORACIÓN:	2022-03-02

NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 127:2013

CODIGO CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
OBRA	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	CONTACTO	CR 6 A # 64 A - 58
DIRECCIÓN	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3307-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	APIQUE Nº	1
CANTERA	TOMADO DE OBRA	PROFUNDIDAD (m)	0,80 m - 1,50 m
MUESTRA Nº	4	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

HUMEDAD	
RECIPIENTE	14
W_1 = Peso recipiente A + suelo húmedo, en g	32,7
W_2 = Peso recipiente + suelo seco, en g	23,0
W_3 = Peso recipiente, en g	5,1
W = Peso húmedo de la muestra de suelo, en g	27,7
W_0 = Peso de la muestra seca, en g	18,0
w = Contenido de agua, en %	54,0
FACTORES DE CONTRACCIÓN	
Masa del Mercurio utilizada para llenar el recipiente A, g	278,4
Densidad del Mercurio g/cm^3	13,5
V = Volumen suelo húmedo, en cm^3	20,6
Masa del Mercurio utilizada para llenar el recipiente B, g	278,4
Masa de Mercurio en el recipiente B después de sumergir la pastilla de suelo seco, g	42,0
Vo = Volumen suelo seco, en cm^3	17,5
Pa = Peso unitario del agua, en g/cm^3	1,0
LC = Límite de contracción %	36,7
R = Relación de contracción	1,0
Vs = Cambio volumétrico	17,8
CL = Contracción lineal	5,0

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
	
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE.

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME DEL POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMÉTRICO DE UN SUELO EMPLEANDO EL APARATO LAMBE

CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-66
VERSIÓN:	1
FECHA ELABORACIÓN:	2022-05-02

NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 120:2013

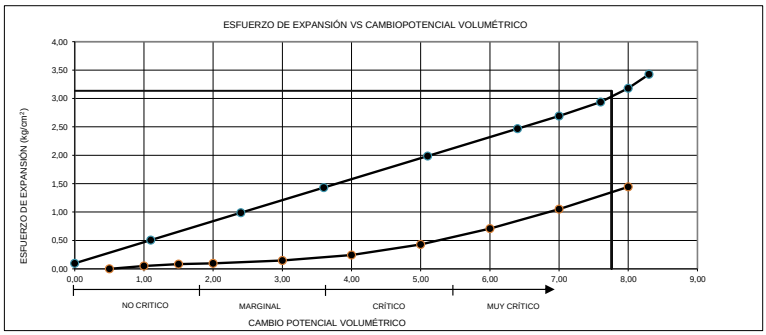
CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	INFORME PG Nº	3308-25
LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	PROFUNDIDAD (m)	0,80 m - 1,50 m
APIQUE Nº	1	MUESTRA Nº	4
CANTERA	TOMADO EN OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

Celda número	A		Peso de la celda + muestra inicial	233,0	g
Diámetro de la muestra	5,10	cm	Peso de la celda + muestra final	242,8	g
Altura de la muestra	2,68	cm	Peso de la celda	138,0	g
Area de la muestra	20,4	cm^2	Peso unitario total	1,733	g/cm^3
Volumen de la muestra	54,8	cm^3	Peso unitario seco	1,679	g/cm^3

CONTENIDO DE HUMEDAD		
HUMEDAD	INICIAL	FINAL
Recipiente	07-Y	14-J
P_1 (g)	213,4	223,6
P_2 (g)	207,8	192,2
P_3 (g)	31,8	30,4
% W	3,2%	19,4%

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL (Kn)	ESFUERZO (kgf/cm^2)
2025-10-27	10:00	0	0,052	0,000
2025-10-27	10:01	1'00'	0,105	0,261
2025-10-27	10:02	2'00'	0,157	0,784
2025-10-27	10:03	3'00'	0,209	1,045
2025-10-27	10:04	4'00"	0,262	1,306
2025-10-27	10:05	5'00"	0,314	1,567
2025-10-27	10:10	10'00"	0,366	1,829
2025-10-27	10:15	15'00"	0,419	2,090
2025-10-27	10:30	30'00"	0,471	2,351
2025-10-27	11:00	60'00"	0,523	2,612
2025-10-27	11:30	90'00"	0,576	2,874
2025-10-27	12:00	120'00"	0,628	3,135



Esfuerzo de expansión: 3,13 kg/cm^2

Cambio potencial volumétrico: 7,76

Régimen de la muestra: Muy Critico

OBSERVACIONES	

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.
EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTÉCNICAS S.A.S. Y EL CLIENTE.

PRUEBAS GEOTECNICAS

INFORME CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA

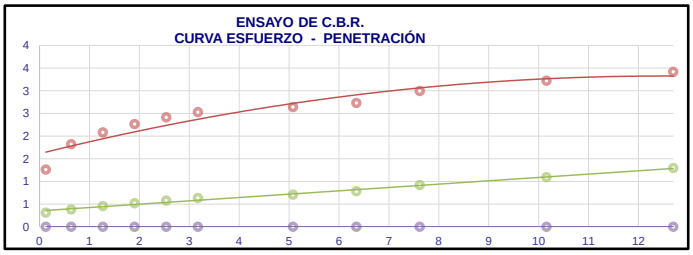
CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-21.
VERSIÓN:	5
FECHA ELABORACIÓN:	2024-02-26

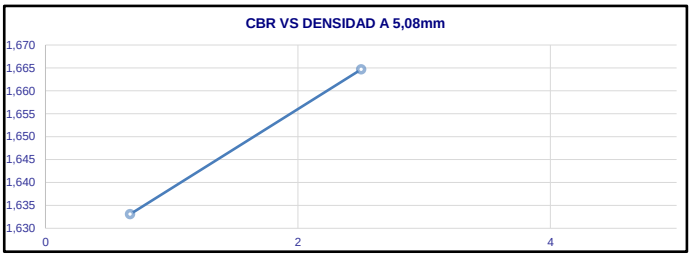
NORMA DE REFERENCIA	NORMA INV E 148:2013

CODIGO DE CLIENTE	2054	COMPAÑÍA	CONSORCIO PRO K
CONTACTO	LORA ESCOBAR LUIS ALBERTO	DIRECCIÓN	CR 6 A # 64 A - 58
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	LOCALIZACIÓN	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA
INFORME PG Nº	3309-25	FECHA INFORME	2025-11-04

DESCRIPCIÓN	ARCILLA COLOR GRIS OSCURO	PROFUNDIDAD (m)	0,80 m - 1,50 m
APIQUE No	1	MUESTRA No	4
CANTERA	TOMADO EN OBRA	FECHA DE TOMA	2025-10-27
OT No.	1186-25	FECHA ENSAYO	2025-10-31

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	CBR MUESTRA INALTERADA	SOBRECARGA DE SATURACIÓN (Kg)	4,5	% RETENIDO EN TAMIZ 3/4	-
CLASIFICACIÓN AASHTO	A - 7 - 6	CLASIFICACIÓN SUCS	CH	DÍAS DE CURADO	4





PRUEBA Nº	1	2	3
No. DE MOLDE	3	3	
No. DE GOLPES	-	-	
EXPANSIÓN INICIAL	0	0	
EXPANSIÓN 24 HORAS	0	6	
EXPANSIÓN 48 HORAS	0	17	
EXPANSIÓN 72 HORAS	0	19	
EXPANSIÓN 96 HORAS	0	25	
PESO MOLDE + MUESTRA	10697	10849	
PESO MOLDE	6019	6019	
MASA DE LA MUESTRA g	4678	4830	
HUM. DE COMPACTACION %	32,49	39,44	
VOLÚMEN MOLDE cm3	2121	2121	
DENSIDAD HUMEDA g/cm^3	2,206	2,277	
DENSIDAD SECA g/cm^3	1,665	1,633	
EXPANSIÓN TOTAL %	0,0	54,7	

PENETRACIÓN mm	CARGA DIAL	ESFUERZO Kg/cm2	CARGA DIAL	ESFUERZO Kg/cm2	CARGA DIAL	ESFUERZO Kg/cm2
0,127	251	1,3	62	0,3		
0,635	363	1,8	76	0,4		
1,270	415	2,1	91	0,5		
1,905	451	2,3	103	0,5		
2,540	481	2,4	115	0,6		
3,175	504	2,5	126	0,6		
5,080	526	2,6	141	0,7		
6,350	544	2,7	156	0,8		
7,620	597	3,0	183	0,9		
10,160	642	3,2	218	1,1		
12,700	681	3,4	258	1,3		
HUM. PENETRACIÓN %	32,5		39,4			
CBR Corregido a 2,54 mm	3,4		0,8			
CBR Corregido a 5,08 mm	2,5		0,7			
CUMPLE	SI	☑ NO	SI	NO	SI	☐ NO

OBSERVACIONES	

ALTURA MUESTRA DENTRO DEL MOLDE(inch):	4,58

REALIZADO POR	APROBADO POR
FIRMA	FIRMA
NOMBRE COMPLETO	NOMBRE COMPLETO
JOHN MARK MARTINEZ	JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
CARGO	CARGO
LABORATORISTA	GERENCIA

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.

EL PRESENTE INFORME NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DIGITAL ORIGINAL

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DE PRUEBAS GEOTECNICAS S.A.S.

---------- FIN DEL INFORME DE ENSAYO ----------

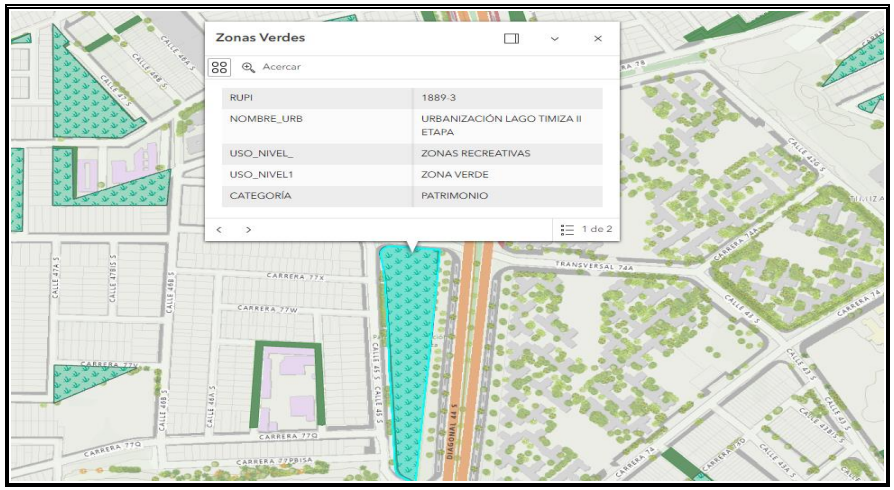
PRUEBAS GEOTECNICAS	REGISTRO FOTOGRÁFICO	CÓDIGO:	LB-PR-01-FT-09
		VERSIÓN:	8
		FECHA ELABORACIÓN:	2023-08-18

CODIGO DE CLIENTE	2054	CLIENTE	CONSORCIO PRO K		
OBRA	CONTRATO COP-816-2025	PK-id	N/A	FECHA DE EJECUCIÓN	2025-10-27
EQUIPO	MANUAL	CIV	CANCHA LAGO TIMIZA II ETAPA	PERFORADOR	JHON MARK









ANEXO 2. Documentos técnicos del aditivo líquido iónico

PROESTECH

DESDE 1999 ESTABILIZANDO CAMINOS

FUNDAMENTOS DE TECNOLOGIA PROES® - ADITIVO LIQUIDO IONICO PROES®

Julio 2024

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 4
1.1 Estabilización química de suelos para caminos 4
1.2 Diseño de Estructuras de Pavimento. 4
1.3 Fundamentos de la Tecnología PROES® 6
2 ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL 9
2.1 Campaña de Medición en Terreno 9
2.1.1 Deflectómetro de Impacto FWD 9
2.1.2 Programa de mediciones con FWD 10
2.2 Ensayos de Laboratorio 16
2.2.1 Objetivos 16
2.2.2 Materiales 16
2.2.3 Resultados laboratorio 17
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 25
3.1 Resistencia 25
3.2 Estabilidad 28
3.3 Durabilidad 29
3.4 Flexibilidad 31
3.5 Parámetros de Diseño Estructural de Pavimentos 32
4 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA PROES® 34
4.1 Usos de la tecnología de la infraestructura vial 35
4.2 Ejemplo de comparación con solución tradicional 35
5 CONCLUSIONES 37

FIGURAS

Figura 2 - 1 Izquierda: Deflectómetro de impacto. Derecha: Principio de funcionamiento del deflectómetro 10
Figura 2 - 2 Promedio de precipitaciones y temperaturas mensuales en la zona de Concepción 10
Figura 2 - 3 Ubicación de los sectores donde se efectuó deflectometría de impacto FWD 12
Figura 2 - 4 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil . 14
Figura 2 - 5 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil . 15
Figura 2 - 6 Resultados de módulos en condiciones secas y húmedas 15
Figura 2 - 7 Resultados ensayos CBR (P=Cemento Portland, C=Ceniza) 18
Figura 2 - 8 Resultados de resistencia a la compresión no confinada, UCS (P=Cemento Portland, C=Ceniza Volante) 20
Figura 2 - 9 Resistencia retenida en ensayos CNC, tiempo de reacción 7 días. 21
Figura 2 - 10 Resultados de ensayos de resistencia a tracción indirecta (ITS) a 7, 14 y 60 días de edad 22
Figura 2 - 11 Resultados de ensayos de módulo triaxial a 7, 14, 28 y 365 días 23
Figura 2 - 12 Resultados de ensayos de Módulo Resiliente Triaxial (MrTx) en condición natural y saturada a los 365 días de confección para una mezcla arcilla/arena..... 24

Figura 3 - 1 Frecuencia de coeficientes estructurales 26
Figura 3 - 2 Relación entre el módulo resiliente de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® y su coeficiente estructural 26
Figura 3 - 3 Comparación coeficientes en época seca y húmeda 29
Figura 3 - 4 Esquema de evolución del módulo de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® en el tiempo 30
Figura 3 - 5 Módulo resiliente en función del desviador de tensiones 32

Figura 4 - 1 Aplicaciones de la tecnología 35
Figura 4 - 2 Ejemplo de diseño tradicional versus base estabilizada PROES. 36

TABLAS

Tabla 2 - 1 Listado de los caminos PROES® estudiados..... 11
Tabla 2 - 2 Resumen de módulos promedios retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® 13
Tabla 2 - 3 Caracterización de suelos utilizados 17
Tabla 3 - 1 Determinación coeficientes estructurales según ensayo CBR y UCS…..33

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Estabilización química de suelos para caminos

La estabilización de suelos es una técnica de construcción comúnmente utilizada para ampliar las posibilidades de utilización en la obra de los suelos disponibles en terreno y tiene por objetivo mejorar las propiedades mecánicas, trabajabilidad y estabilidad de tales materiales.

La estabilización de suelos para caminos tiene ventajas técnicas, medioambientales, económicas y sociales frente a la construcción tradicional. Desde el punto de vista medioambiental, la utilización de los materiales existentes en terreno hace que se reduzca el consumo de áridos, reduciendo la explotación de pozos de áridos y cauces de ríos, y el transporte de materiales desde y hacia la obra, con un menor consumo de combustibles fósiles y emisión de gases a la atmósfera. Desde el punto de vista económico, la estabilización tiene un menor costo que utilizar técnicas tradicionales de construcción si no existen materiales granulares en las cercanías de la construcción que cumplan con las especificaciones técnicas, o existan restricciones de explotación en los yacimientos cercanos. Por último, la estabilización también tiene asociados beneficios a la comunidad, dado que en general es una técnica constructiva más rápida que la tradicional lo que implica menores tiempos de intervención de los caminos, menor presencia de maquinaria en el entorno y una percepción positiva de la tecnología.

1.2 Diseño de Estructuras de Pavimento.

Existen una gran variedad de tipos de estructuras de pavimento empleadas en la actualidad las cuales van dependiendo del tipo de vehículo que transitan, del volumen, de la condición climática, de los suelos existentes en las zonas del proyecto, propiedades mecánicas de los materiales, factores de seguridad costo, mantenimiento y estética.

Los tipos de estructuras de pavimento mas comunes y empleados son:



Figura 1-1. Tipos de Estructura de pavimento

Para el diseño estructural de pavimentos existen dos grandes grupos de metodologías: las puramente empíricas y las empírico-mecanicistas. La metodología empírica más conocida corresponde a la AASHTO 93 la cual tiene como parámetro más importante de caracterización estructural el Número Estructural, un parámetro empírico que representa la resistencia del pavimento al tránsito. La metodología empírico-mecanicista en cambio utiliza parámetros provenientes de modelos numéricos mecánicos del pavimento como la tensión y la deformación, asignándole unos parámetros empíricos de resistencia a los materiales (coeficientes y/o módulos de reacción) como el método PCA (PORTLAND CEMENT ASOCIATION). Por lo tanto, el parámetro más importante de caracterización es el módulo elástico de las capas que componen el pavimento.

Sin embargo, tratándose de vías con bajos volúmenes de tránsito que generalmente se construirán para trabajar sin carpeta de rodado existen metodologías de diseño más adecuadas y simples que generan estructuras confiables y eficientes. En estos casos podremos recurrir al Manual De Diseño De Pavimentos Asfálticos Para Vías Con Bajos Volúmenes De Tránsito del INVIAS y metodologías empíricas de diseño como MORÍN TODOR y metodologías mecanicistas como NAASRA (Nacional Asociation of Australian State Road Athorities).

1.3 Fundamentos de la Tecnología PROES®

El sistema de pavimentación con aditivo liquido iónico PROES® consiste en la estabilización química de suelos que presentan características de baja capacidad de soporte y que son inestables (arcillas), que luego formarán parte de la estructura de un pavimento. La Tecnología PROES® nace de un desarrollo conjunto con la empresa de ingeniería PROFUND en el año 1996, con apoyo y reconocimiento de la Corporación de Fomento de Chile, y que se encuentra patentada en Chile, Perú, Colombia, México y otros países en curso.

Luego de un desarrollo y expansión exitosa en diversos mercados, como parte de la innovación y mejora de la Tecnología, la empresa PROES SpA participó durante los años 2013 al 2016 en el proyecto INNOVA titulado *Caracterización Estructural Detallada e Investigación del Proceso de Deterioro de Materiales Tratados con la Tecnología de Estabilización de Suelos a Través de Pruebas de Laboratorio y Mediciones en Terreno*, financiado por la Corporación de Fomento de la Producción de Chile (www.corfo.cl) y ejecutado por la Universidad del Desarrollo (www.udd.cl), bajo el liderazgo del profesor Ing. PhD Álvaro González[1].

El objetivo principal del proyecto fue caracterizar las propiedades mecánicas y estructurales de los suelos tratados con la Tecnología PROES®, mediante un extenso programa de laboratorio donde se llevaron a cabo varios tipos de ensayos (Triaxial, CBR, ITS y UCS, entre otros) y varias campañas de terreno donde se midieron las propiedades estructurales de una red de caminos tratados con la tecnología utilizando deflectometría pesada y liviana (FWD y LWD) y donde además se construyeron dos tramos de prueba.

Del estudio se obtuvieron importantes resultados que permiten verificar y sustentar las propiedades y en este documento se resumen los argumentos técnicos que sustentan la capacidad estructural de los suelos estabilizados con la Tecnología PROES®.

[1] Ingeniero Civil, MSc, PhD in Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand. Profesor Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad del Desarrollo, Chile. Cuenta con más de 50 publicaciones y presentaciones en congresos sobre investigaciones relacionadas con estabilización de suelos e ingeniería de caminos.

La Tecnología PROES®, tiene su fundamento en la interacción de los aditivos químicos y las arcillas presentes en el suelo, creando una reacción que, junto con aumentar su resistencia, mejora su estabilidad frente al agua y mejora su comportamiento frente a las cargas del tránsito. La reacción generada, se basa en la ionización, ordenamiento y aglomeración de partículas. Una de las principales características es la incorporación de minerales afines al suelo, a través de dos aditivos: un aditivo líquido y otro sólido (como la cal, cemento y cenizas); los cuales son clave para el proceso de estabilización química. El proceso se logra mediante el intercambio iónico y reacciones puzolánicas entre estos aditivos y las arcillas. El intercambio iónico ocurre rápidamente, en general dentro de unas pocas horas. El resultado inmediato es un incremento en la resistencia al corte del suelo (producto de un aumento en la cohesión de las partículas) y una disminución en la capacidad de absorber aguas de las arcillas, en un ambiente que propicia el intercambio y reacción sin la formación de grietas por retracción.

En el mediano y largo plazo, se desarrollan reacciones puzolánicas que aumentan en forma significativa la resistencia del suelo. Todos estos cambios en las propiedades físicas y mecánicas mejoran el desempeño del suelo, y, por lo tanto, transforman un material de baja calidad en uno apto para su uso en capas estructurales de pavimentos.

Los resultados obtenidos y la experiencia de más de 20 años de uso de la Tecnología PROES®, tanto en laboratorio como en terreno (más de 1.500 kms de pavimentos), permiten señalar que los suelos estabilizados con PROES® son:

- Resistentes
- Estables frente al agua y cambios de humedad
- Durables
- Flexibles (no rígidos)

Además de las evaluaciones y experiencias de terreno que sustentan las características presentadas, se hace necesario entregar herramientas de diseño para nuevos proyectos, razón por la cual se desarrolla un set amplio de ensayos, que haga posible relacionar resultados de laboratorio con desempeño pasado y futuro en terreno.

Este documento presenta parte de los resultados del proyecto INNOVA de CORFO: "*Caracterización Estructural Detallada e Investigación del Proceso de Deterioro de Materiales Tratados con la Tecnología de Estabilización de Suelos a Través de Pruebas de Laboratorio y Mediciones en Terreno"*. En dicho estudio se realizaron más de 300 ensayos de laboratorio y midieron sobre 400 puntos con deflectometria de impacto (FWD) en terreno.

2 ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

2.1 Campaña de Medición en Terreno

El objetivo del estudio de la red de caminos PROES® existente en la región del Biobío y Araucanía, es obtener la caracterización mecánica de pavimentos que han estado en servicio entre 5 y 15 años, con el fin de estimar la condición de la base estabilizada en el largo plazo. Para esto se realizó un programa de ensayos consistente en aplicar deflectometría de impacto (FWD) sobre los caminos seleccionados que han sido tratados con la tecnología PROES®.

2.1.1 Deflectómetro de Impacto FWD

El deflectómetro de impacto FWD (*Falling Weight Deflectometer*) es un instrumento ampliamente utilizado para estimar la capacidad estructural de pavimentos y que ha sido incorporado al Manual de Carreteras de Chile (numeral 8.502.5). Este aparato es un sistema de ensayo montado en un carro de arrastre capaz de aplicar cargas tipo impulso que simulan el paso de una rueda sobre el pavimento. Contiene una configuración de masas que combinada con la altura de caída permiten aplicar mediante impacto cargas máximas de entre 30 y 240 kN con un sistema de buffers o cojines que mantienen la duración del pulso de carga entre 20 y 30 milisegundos. La operación del FWD se controla desde un computador en la cabina del vehículo que arrastra el sistema. Durante el ensayo se hace bajar el plato de carga y una barra con sensores hasta la superficie del pavimento, y automáticamente se levantan y dejan caer las cargas de ensayo mediante un sistema electro-hidráulico. Un total típico de 7 o 9 sensores (máximo 15) capturan los valores de deflexión. Estos sensores, llamados geófonos, están ubicados a distancias crecientes desde el centro de plato de carga, con el primero de ellos en el centro del plato y el más alejado típicamente a unos 2m. Esta serie de sensores permite obtener un cuenco de deflexiones. La precisión de estos sensores es mejor a 2% +/- 2 micrones.

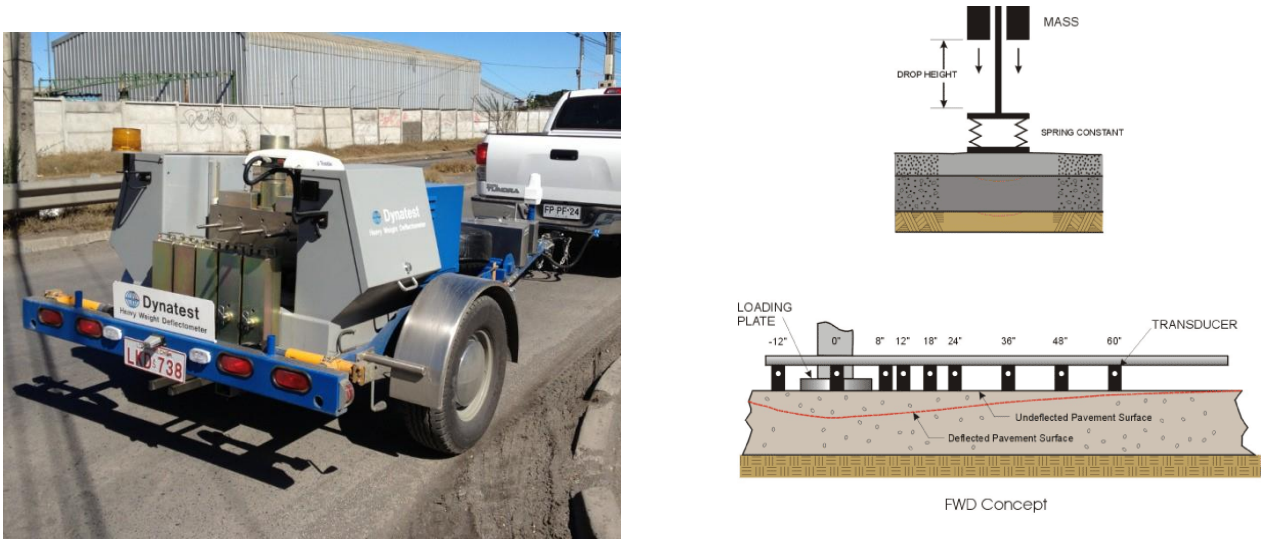


Figura 2 - 1 Izquierda: Deflectómetro de impacto. Derecha: Principio de funcionamiento del deflectómetro

El equipo incluye un sistema GPS para georreferenciación de las mediciones, además de un sistema medidor de distancia para referencia por kilometraje. El sistema mide automáticamente la temperatura del aire y de la superficie del pavimento para su utilización como referencia en el análisis de módulos elásticos de pavimentos bituminosos. El equipo incluye accesorios para la medición de la transferencia de carga en juntas y grietas de pavimentos rígidos. En este proyecto se utilizó un deflectómetro pesado, Heavy Weight Deflectometer, modelo Dynatest HWD 80811 y un Primax 2500.

2.1.2 Programa de mediciones con FWD

Temporada Estival e Invernal

La condición de un camino puede verse afectado considerablemente por las condiciones ambientales. En particular, una parte importante de caminos construidos con la tecnología PROES se encuentran ubicados en la zona sur del país, particularmente en las zonas forestales. Las condiciones ambientales de la zona son de una relativa alta precipitación media anual (sobre 1.000 mm anuales) concentrada entre los meses de mayo a agosto. Luego, entre

los meses de noviembre y marzo las precipitaciones son en promedio menores a 50 mm mensuales (Figura 2-2).

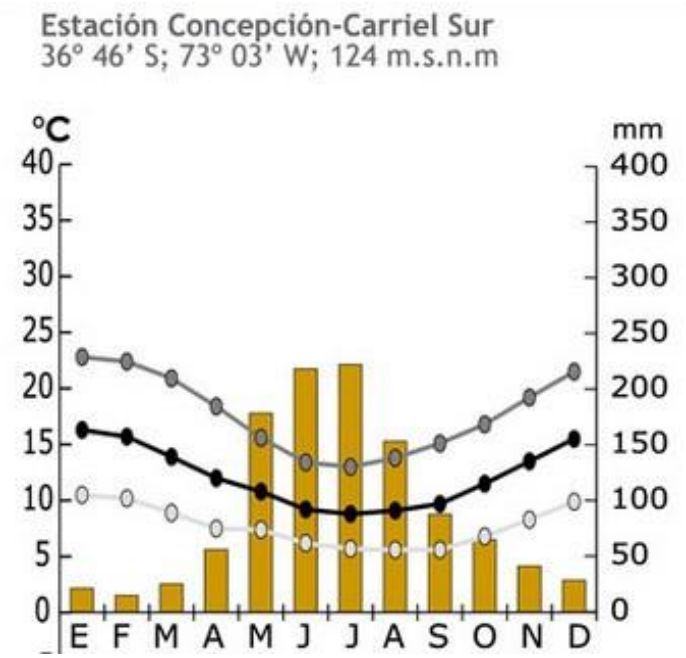


Figura 2 - 2 Promedio de precipitaciones y temperaturas mensuales en la zona de Concepción

Es esperable entonces que esta condición climática con una estación de invierno fuertemente marcada con precipitaciones de gran intensidad por sobre los 200 mm mensuales afecte la respuesta de los pavimentos tratados con PROES®. Por lo tanto, se realizó una campaña de deflectometría de impacto a fin del verano o la temporada seca y una campaña a fin del invierno o temporada lluviosa. De esta manera se pudo medir la condición del pavimento en condiciones 'favorables' y 'más desfavorables' con el FWD.

Ubicación de las Secciones a Estudiar

En ambas campañas de FWD se estudiaron secciones de caminos construidos con tecnología PROES en la región del Biobío y de la Araucanía. Las características de estos caminos son diversas: sectores urbanos, rurales e industriales. **El factor común más relevante de todos estos tramos es que ya habían cumplido con su vida útil de diseño,** con edades entre los

5 y 11 años respecto a la fecha de medición (2013-2014). Los sectores fueron identificados en forma correlativa según su orden de medición (desde el 01 hasta el 12) y además por el nombre típicamente asignado en la práctica.

La Tabla 2-1 resume las características generales de los caminos y calles PROES® donde se realizó las mediciones con FWD, y la Figura 2-3 indica la ubicación de los sectores donde se llevaron a cabo los ensayos.

Tabla 2 - 1 Listado de los caminos PROES® estudiados

ID	Descripción	Tipo	Año constr.	Espesor Carpeta Asfáltica (cm)	Espesor PROES (cm)	CBR[1]
01	Algarrobo	Industrial	2009	4	25	18%
02	Alto Horno	Urbano	2005	4	25	22%
04	Escuadrón Calle Principal	Industrial	2006	4	35	18%
06a	Escuadrón Calle F	Industrial	2013	-	30	18%
06b	Escuadrón Calle D	Industrial	2013	4	30	18%
07	Las Corrientes	Forestal	2008	3	22	7%
08	Ramadillas	Forestal	2008	3	22	7%
09	San José de Colico	Forestal	2002	5	17	6%
10	El Colorado - Herrera	Forestal	2008	3	15	5%
11	Capitán Pastene	Forestal	2002	-	23	6%
12	Masonite	Industrial	2003	4	25	22%

(1) Corresponde al CBR representativo de la subrasante (2) En la carpeta asfáltica "-" significa tratamiento superficial o slurry



Figura 2 - 3 Ubicación de los sectores donde se efectuó deflectometría de impacto FWD

Resultado de la medición de módulos

Una de las características de los caminos Proes visitados es que la mayoría ya ha cumplido su vida útil. A pesar de ello, los módulos obtenidos en la deflectometría varían entre 1.241 MPa y 17.000 MPa (Tabla 2-2), si se dejan fuera los dos tramos de prueba. La variabilidad obtenida es alta, lo cual es esperable considerando las diversas características de los caminos medidos (cambian la subrasante, los materiales estabilizados, el clima y el tránsito).

Tabla 2 - 2 Resumen de módulos promedios retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES®

ID	Descripción	Tipo	Año constr.	E PROES (MPa)
01	Algarrobo	Industrial	2009	3.121
02	Alto Horno	Urbano	2005	6.046
04	Escuadrón Calle Principal	Industrial	2006	6.155
06a	Escuadrón Calle F (1)	Industrial	2013	273
06b	Escuadrón Calle D (1)	Industrial	2013	386
07	Las Corrientes	Forestal	2008	517
08	Ramadillas	Forestal	2008	2.391
09	San José de Colico	Forestal	2002	17.028
10	El Colorado - Herrera	Forestal	2008	9.433
11	Capitán Pastene	Forestal	2002	3.974
12	Masonite	Industrial	2003	1.241

(1) Tramos de prueba construidos y operados para verificar rangos de falla.

Además de estudiar los resultados promedio por tramo, se realizó un análisis de todos los resultados de deflectometría. La frecuencia de los módulos retrocalculados de la capa estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®, expresada entre 0 y 1, siendo 1 la totalidad de las mediciones se presenta en la Figura 2-4, los cuales se agruparon en rangos de 2.000 MPa. Esto quiere decir, que se presenta la frecuencia o número de ocurrencias sobre el total entre 0 y 2.000 MPa; 2.000 y 4.000 MPa;
4.000 y 6.000 MPa, etc. La Figura 2-4 indica que más de la mitad (55%) de los módulos medidos es mayor a 2.000 MPa.

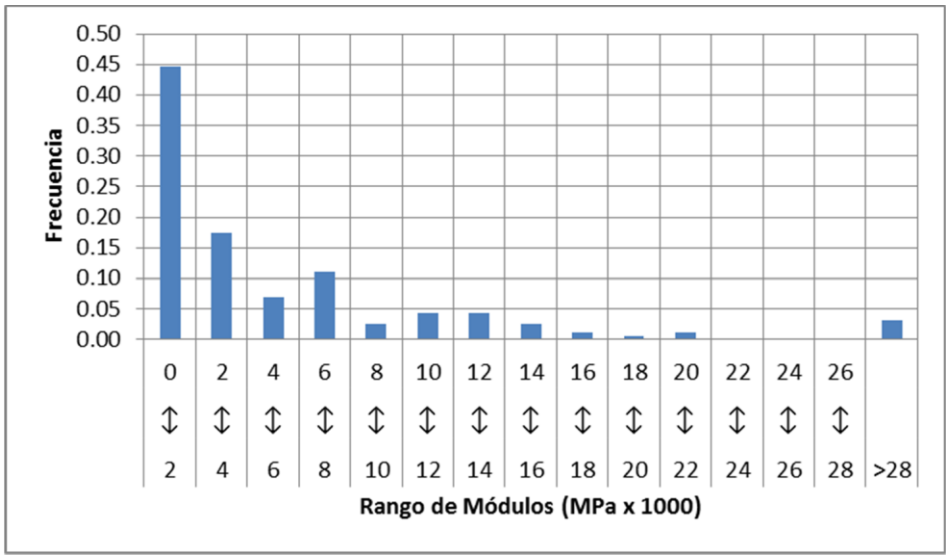


Figura 2 - 4 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil

Si el tramo de estudio más interesante por la cantidad y relevancia en el diseño, se genera un detalle de las frecuencias de los módulos retroanalizados de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®, entre 0 y 2.000 MPa, el cual se presenta en la Figura 2-5. Se observa que el valor mínimo es de 200 MPa (que se concentran en los tramos de prueba que se construyeron para fallar en el periodo de estudio), mientras que los valores más frecuentes en ese rango se encuentran entre 400 MPa y 1.200 MPa.

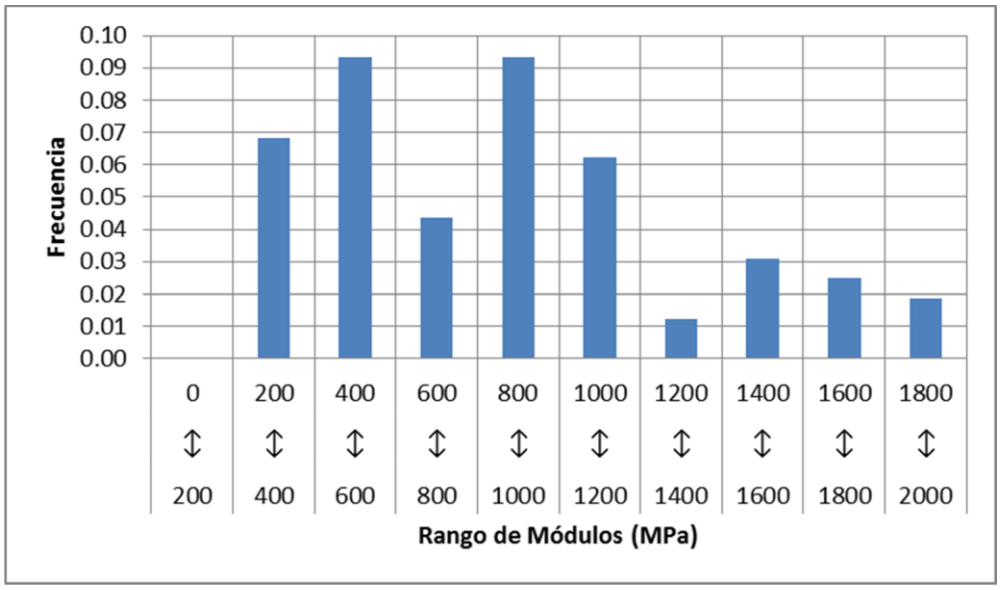


Figura 2 - 5 Resumen de módulos retroanalizados para las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® (sectores fuera de rango fueron eliminados) que ya han cumplido su vida útil

Adicionalmente se compararon los resultados de mediciones en temporada seca y húmeda. En la Figura 2-6 se observa que, junto con presentar módulos considerables, se tiene un módulo retenido del 70% en condiciones de alta humedad, lo que es considerado adecuado para este tipo de soluciones.

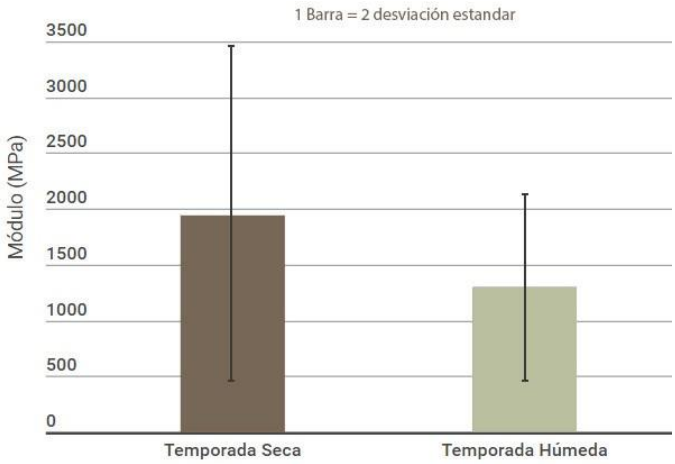


Figura 2 - 6 Resultados de módulos en condiciones secas y húmedas

2.2 Ensayos de Laboratorio

2.2.1 Objetivos

El objetivo del trabajo experimental del laboratorio es caracterizar mecánicamente un conjunto de materiales de suelo estabilizados con aditivo liquido iónico PROES®. Para lograr el objetivo, se llevó a cabo una serie de ensayos de laboratorio comúnmente utilizados en ingeniería de caminos, donde se aplica un amplio rango de tensiones y deformaciones esperadas en el pavimento producto de la carga aplicada por los vehículos. Las mediciones obtenidas en estos ensayos permiten comparar el aditivo liquido iónico PROES® con otros materiales para pavimentos. Por otro lado, las propiedades mecánicas obtenidas a partir de estas mediciones permiten modelar estructuralmente el comportamiento del material y asociarlo a su desempeño en terreno.

Los principales ensayos realizados son:

- CBR (Razón de Soporte California o California Bearing Ratio)
- UCS (Resistencia a la Compresión no Confinada o Unconfined Compressive Strength)
- CNC (Compresión No Confinada)
- ITS (Resistencia a la Tracción Indirecta o Indirect Tensile Strength)
- MrTx (Módulo Resiliente Triaxial)

2.2.2 Materiales

Para el estudio de laboratorio se utilizaron suelos 2 de baja capacidad de soporte e inestables, justamente enfocados en generar soluciones de pavimentos con materiales abundantes, pero que no sean factibles de utilizar en su estado natural para el diseño y construcción de caminos. Uno de los suelos corresponde a una arcilla de alta plasticidad (CH), mientras que el segundo material es esta misma arcilla mezclada con una arena. Las características de cada suelo se presentan en la Tabla 2-3. El CH se eligió justamente por tratarse de un suelo de mala calidad, (alto porcentaje finos, límite líquido alto y bajo CBR). Los suelos con límites líquidos e índices de plasticidad más bajos (SC, CL, SM, GC) sistemáticamente presentan mejores resultados de estabilización con aditivo liquido iónico PROES® que los materiales estudiados.

Tabla 2 - 3 Caracterización de suelos utilizados

Norma	Característica o Propiedad	Arcillla (CH)	Arena: Arcilla 1:1
Granulometría MC 8.102.1-LNV 105	Pasante malla 4 (%)	100	99.3
	Pasante malla 40 (%)	65.1	34.7
	Pasante malla 200 (%)	**54.5**	**21.8**
Límites de Atterberg MC 8.102.3-LNV 89 MC 8.102.4-LNV 90	Límite líquido o LL (%)	**50.9**	**36.7**
	Límite plástico o LP (%)	**24.1**	**19.3**
	Índice de plasticidad o IP (%)	26.8	17.4
Proctor Modificado MC 8.102.3-LNV 89	Densidad máxima compactada húmeda (t/m^3)	2.093	2.190
	Humedad óptima de compactación (%)	13.5	9.5
	Densidad máxima compactada seca (t/m^3)	1.844	2.000
MC 8.102.11-LNV 92	CBR al 95% de la DMCS (%)	7	28

Los estabilizadores utilizados en el estudio fueron el aditivo líquido Iónico PROES® y los aditivos sólidos P+C (Portland más Cenizas), y Cal. Este tipo de aditivos sólidos, en particular la cal, se utiliza cuando se tienen suelos arcillosos de alta plasticidad como la arcilla CH incluida en el estudio.

2.2.3 Resultados laboratorio

Razón de Soporte California (CBR)

Los CBR se dejaron 7 días al aire permitiendo la reacción química de los aditivos y posteriormente fueron saturados por 4 días bajo el agua siguiendo el procedimiento de un ensayo tradicional. Los resultados de CBR para suelos estabilizados se presentan en la Figura 2-7 y además se incluyen los resultados de los suelos sin tratar como punto de referencia.

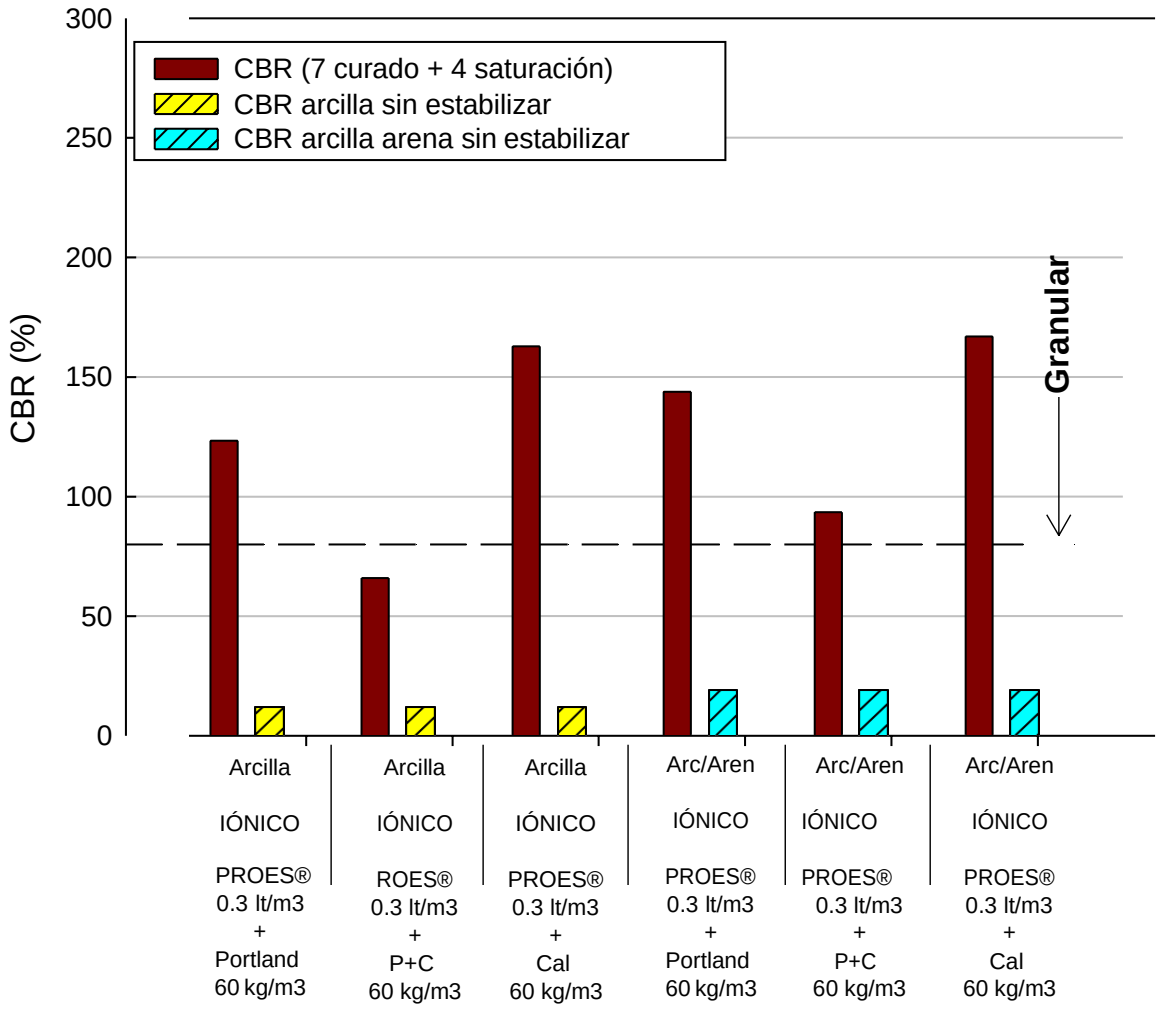


Figura 2 - 7 Resultados ensayos CBR (P=Cemento Portland, C=Ceniza)

Se observa un desempeño superior con el uso de Cal, lo que es esperable en función de las características de la arcilla utilizada.

Ensayos de Resistencia a la Compresión y Compresión No Confinada (UCS y CNC)

Tal como en el caso del CBR, los resultados de las Figura 2-8 muestran un incremento importante en la resistencia a la compresión de los materiales estabilizados, así como también un aumento de la resistencia en función del tiempo de reacción (cercana al 50%).

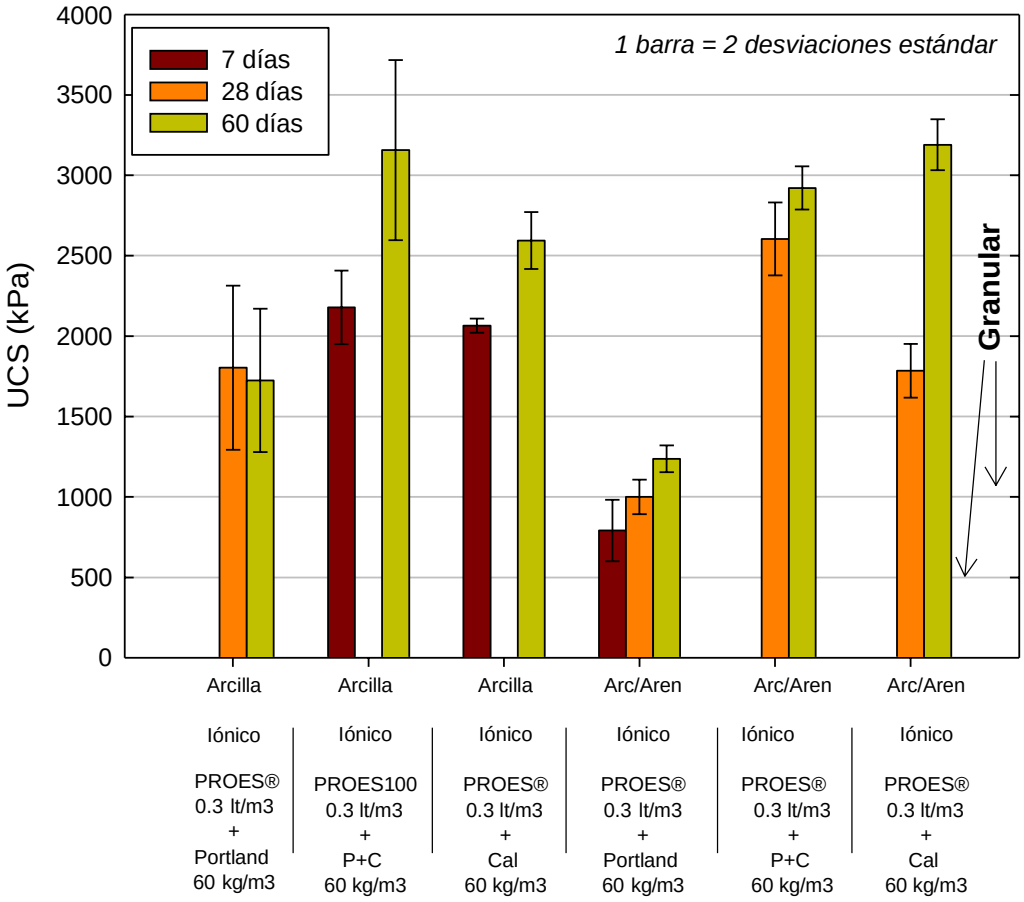


Figura 2 - 8 Resultados de resistencia a la compresión no confinada, UCS (P=Cemento Portland, C=Ceniza Volante)

Además del ensayo UCS tradicional se realizó el ensayo CNC, similar al ensayo UCS ya que es un ensayo de compresión, pero se confeccionan probetas de menor tamaño para que al llevarlas a saturación por 4 horas se genere una condición más desfavorable.

Los resultados presentados en la Figura 2-9 corresponden a la *resistencia retenida* del suelo arcilla (CH) tratada sin el aditivo líquido y con el aditivo líquido Iónico PROES®. La resistencia retenida se define en este caso como la razón o cociente entre la resistencia saturada y la resistencia a humedad natural.

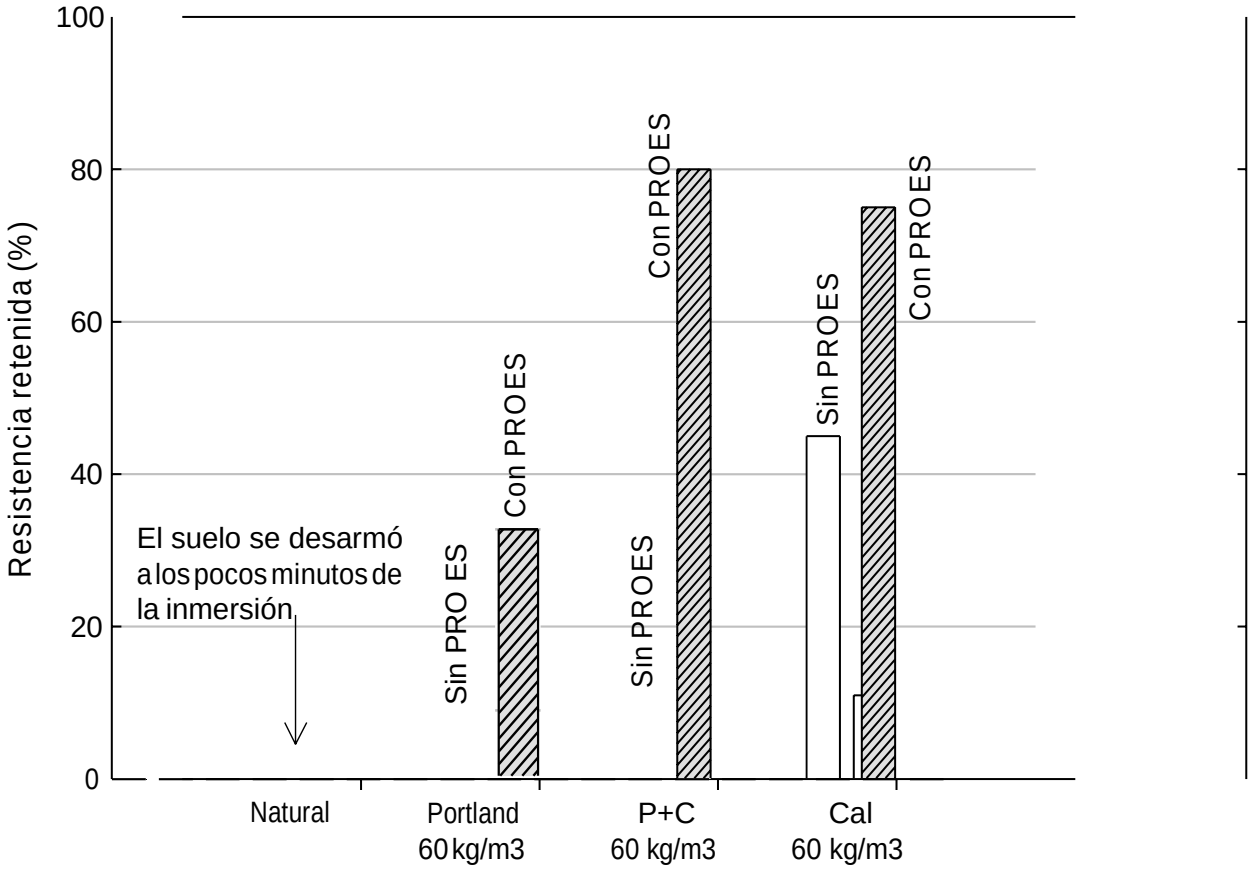


Figura 2 - 9 Resistencia retenida en ensayos CNC, tiempo de reacción 7 días.

Resistencia a la Tracción Indirecta (ITS)

Los resultados para los ensayos en tracción indirecta ITS se presentan en la Figura 2-10. En este caso se ensayaron todas las mezclas a 7, 14 y 60 días de edad. Se observa que todas las mezclas tienen una resistencia a la tracción indirecta sobre los 100 kPa para los 7 días de edad y en general presentan una tendencia creciente en el tiempo, particularmente las que usan cal como aditivo sólido (el más apropiado para el suelo CH).

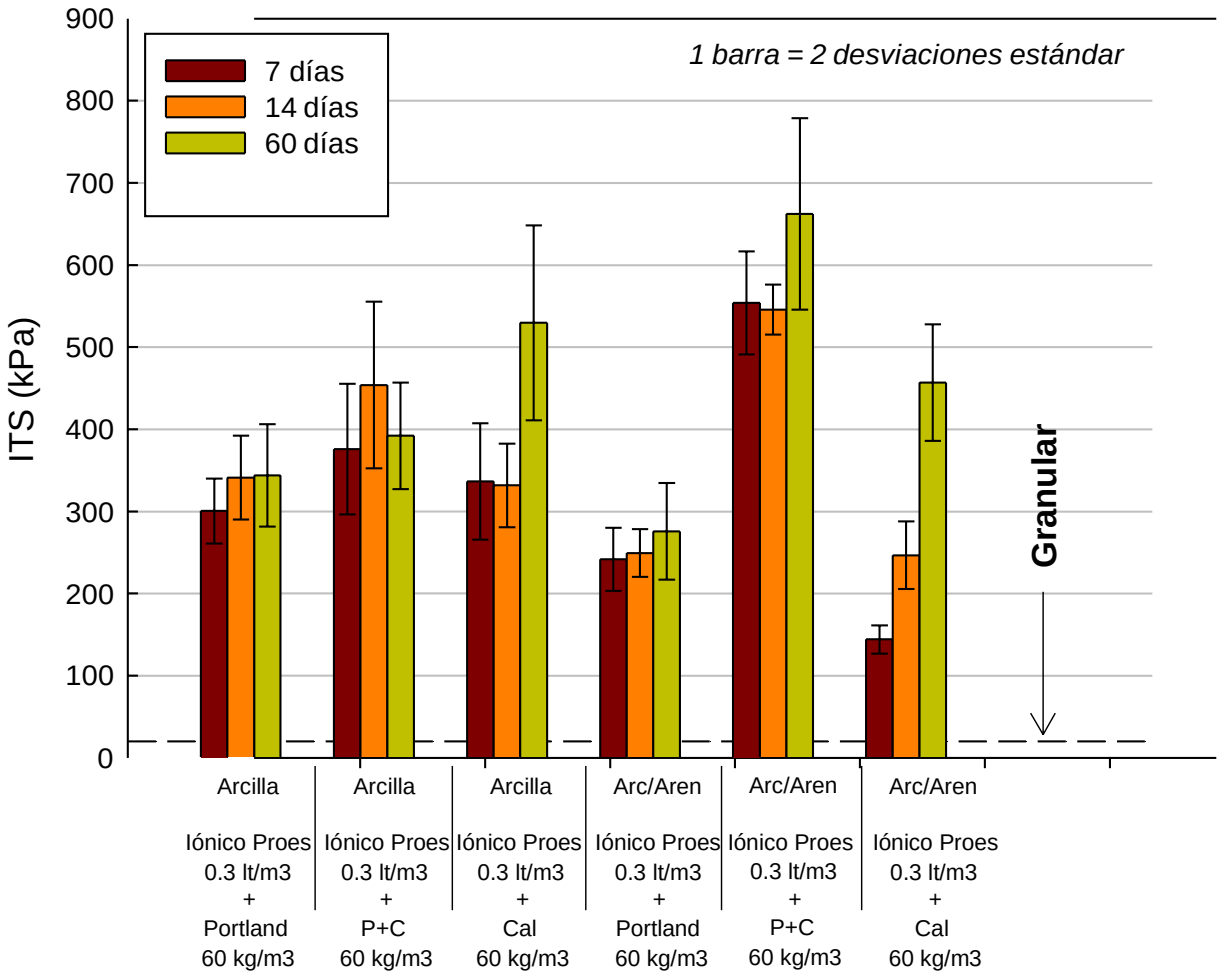


Figura 2 - 10 Resultados de ensayos de resistencia a tracción indirecta (ITS) a 7, 14 y 60 días de edad

Módulo de Resiliente Triaxial (MrTx)

El módulo resiliente se define como el cociente entre el esfuerzo desviador aplicado y la deformación unitaria elástica en cada ciclo de carga. El ensayo para medir el módulo resiliente consiste en someter una probeta a un estado de tensiones compuesto por una presión de confinamiento y un esfuerzo desviador dinámico. Se dispone de resultados de módulo resiliente triaxial a 7, 14, 28 y 365 días de edad. Los resultados entregados en la Figura **2-11** representan sólo el módulo *promedio* de los 15 ciclos de carga que se deben realizar, mientras que la Figura 2-12 entrega los resultados en condiciones de saturación para evaluar la estabilidad de la solución.

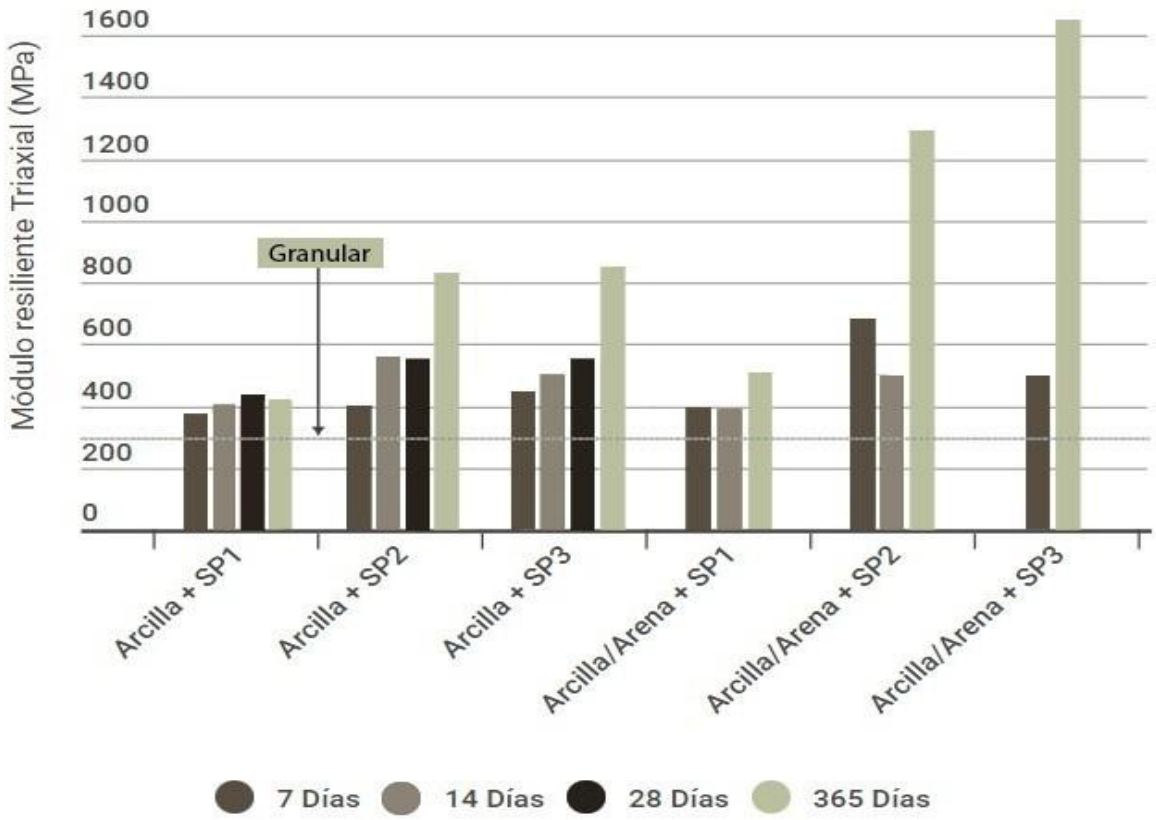


Figura 2 - 11 Resultados de ensayos de módulo triaxial a 7, 14, 28 y 365 días

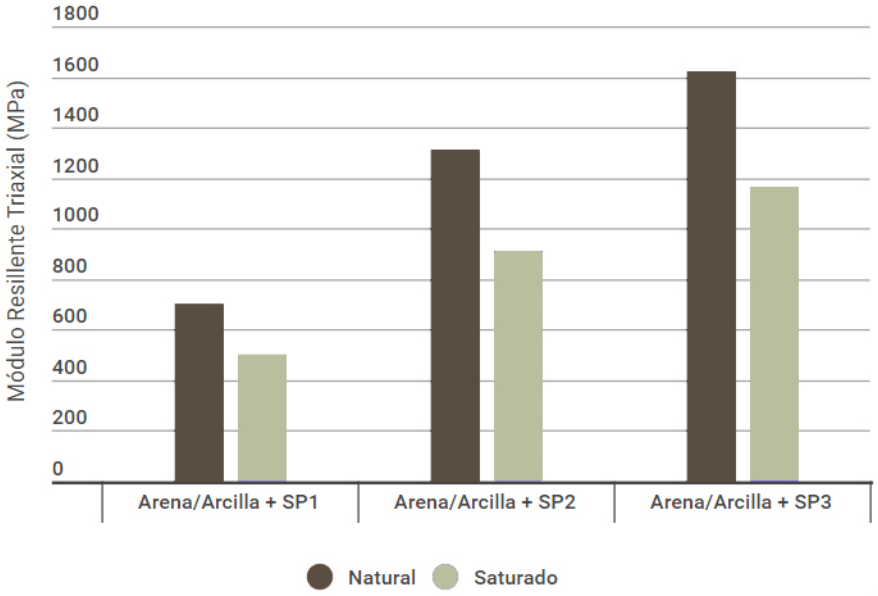


Figura 2 - 12 Resultados de ensayos de Módulo Resiliente Triaxial (MrTx) en condición natural y saturada a los 365 días de confección para una mezcla arcilla/arena

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el primer capítulo de este documento se realiza una breve descripción de la estabilización química y los fundamentos de la Tecnología PROES® con aditivo liquido iónico PROES®, mientras en el segundo capítulo se entrega el resultado de la evaluación en terreno y laboratorio, de manera que se permita conocer el desempeño y comportamiento mecánico de suelos estabilizados con la tecnología. En este tercer capítulo, se analizarán los resultados, con el fin de entregar herramientas de diseño para pavimentos que utilicen la Tecnología PROES® con aditivo liquido iónico PROES®, ordenado los argumentos a partir las características distintivas de los suelos tratados con la tecnología:

3.1 Resistencia

La característica básica de diseño para los pavimentos es la resistencia de sus capas, la cual puede ser evaluada tanto por los ensayos de terreno como laboratorio y representada, según corresponda, con coeficientes estructurales, módulos elásticos, CBR, UCS e ITS.

El método AASHTO 93 asigna un coeficiente estructural a cada una de sus capas como representación de aporte, siendo valores característicos el 0,13 para bases granulares, 0,17 para bases estabilizadas con cemento y 0,43 para carpetas asfálticas. De acuerdo a la medición de FWD, que permite estimar el coeficiente estructural de una capa de pavimento, las capas estructurales estabilizadas con aditivo liquido iónico PROES® estudiadas tienen un rango amplio debido a la diferencia de materiales y edades de los caminos, pero que permiten señalar que más del 75% de las mediciones entregan un coeficiente mayor a 0,15 y cerca del 50% son iguales o mayores a 0,17, tal como se refleja en el histograma de la Figura 3-1.

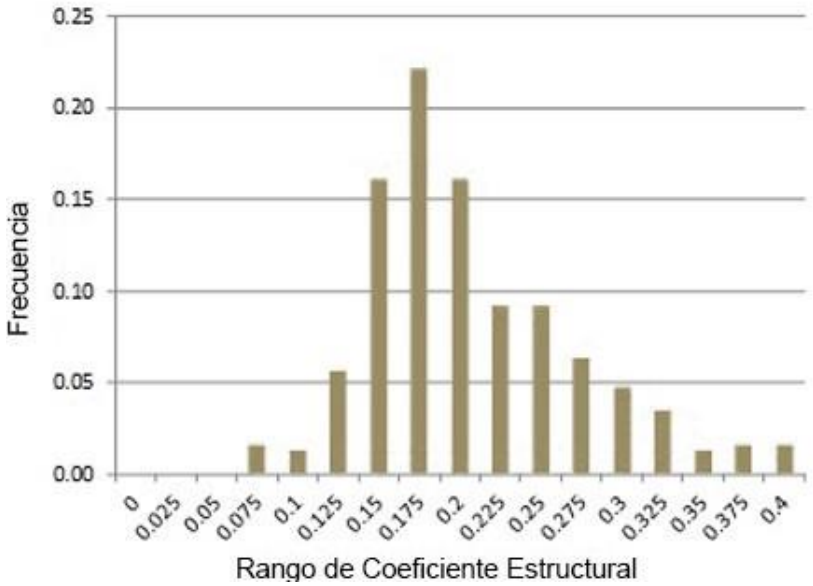


Figura 3 - 1 Frecuencia de coeficientes estructurales

Sumado a lo anterior, con la información recopilada fue posible generar una relación altamente consistente entre el módulo resiliente de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® y su coeficiente estructural, tal como se observa en la Figura 3-2, lo que entrega una excelente herramienta de diseño y control.

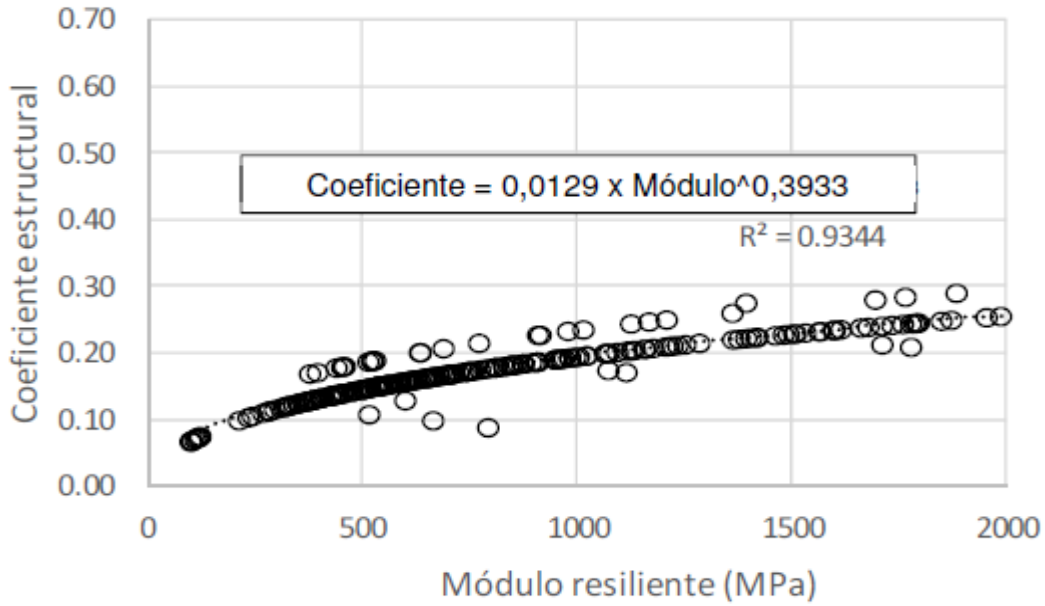


Figura 3 - 2 Relación entre el módulo resiliente de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® y su coeficiente estructural

A partir de los ensayos de laboratorio, (CBR, UCS, módulo resiliente e ITS) se concluye lo siguiente:

- CBR (Figura 2-7): El efecto de la estabilización a los 7 días es evidente, generando aumentos significativos de CBR en todos los casos, dependiendo la magnitud del aumento del tipo de aditivo sólido incorporado junto al aditivo líquido Iónico PROES®. Si bien los ensayos CBR se hicieron sólo a 7 días de edad y aún no alcanzan su resistencia máxima, la mayoría de los valores superan el equivalente de una base granular de buena calidad. Se observa además el importante aumento de resistencia que tiene la arcilla o suelo CH, el cual pese a ser un suelo con baja resistencia, al estabilizarlo con el aditivo líquido Iónico PROES® y cal como aditivo sólido, su resistencia aumenta por sobre 150% CBR, confirmando la buena reacción que tienen este tipo de suelos con la unión de ambos aditivos.

- UCS (Figura 2-8): Los resultados indican que las resistencias promedio fluctúan entre 791 kPa y 3.157 kPa según el tipo de aditivo sólido y tiempo de curado, presentando una variabilidad baja (coeficientes de variación menores a un 30%), y rangos de resistencia superiores a lo que se puede alcanzar con un buen material granular, que tiene una resistencia a la compresión no confinada del orden de 500-1000 kPa.

- ITS (Figura 2-10): Se observa que en general la resistencia ITS va aumentando con la edad (60 días) y alcanza valores promedio entre 276 kPa para la arcilla más cemento Portland y 662 kPa para el caso de la arcilla con arena más Portland y Ceniza Volante. En general para proyectos de pavimentos que incluyen estabilización de asfalto espumado, el ITS esta en torno a 600-800 kPa, por lo que los valores alcanzados son satisfactorios considerando que la estabilización con aditivo liquido iónico PROES® no utiliza un ligante como lo es el asfalto. Se observa un aumento de resistencia promedio de aproximadamente un 20% entre 7 y 60 días.

- Módulo (Figura 2-11): El módulo resiliente promedio a los 7 días de edad para todas las mezclas estudiadas es de 470 MPa, superior al de una base granular de buena calidad que fluctúa entre 250-350 MPa. Adicionalmente su resistencia sigue en aumento hasta un año después de la estabilización. En base a los resultados obtenidos, se considera que el módulo a 7 días corresponde al 50% de lo que se llega después de un año y que corresponde al módulo representativo de diseño.

Como resumen, las bases y suelos tratados con la Tecnología Proes® con aditivo liquido iónico PROES® tienen características estructurales muy superiores a los de una base granular de buena calidad. No es posible hacer una comparación directa con los suelos estabilizados con cemento o asfalto utilizando los ensayos de UCS e ITS, pero en base a los módulos y coeficientes estructurales obtenidos, se desprende que es una solución (al menos) equivalente en términos de resistencia.

3.2 Estabilidad

Otra característica fundamental de materiales estabilizados es que el comportamiento de resistencia sea similar tanto en condiciones secas o naturales y en saturación. Se entiende como “estable” aquel material que mantiene al menos el 70% de sus características mecánicas bajo condiciones de saturación.

Con el fin de verificar el cumplimiento de este parámetro, se evaluó dicha característica en los ensayos presentados en el capítulo 2, encontrando que

- En la Figura 2-6 se observa que los módulos medidos en invierno y verano tienen una variación menor al 30%, confirmando la estabilidad del material frente a los cambios de humedad. Ese mismo análisis, si lo realizamos considerando los coeficientes estructurales también presenta buen comportamiento en la época húmeda, incluso en aquellos caminos con su vida útil cumplida (Figura 3-3).

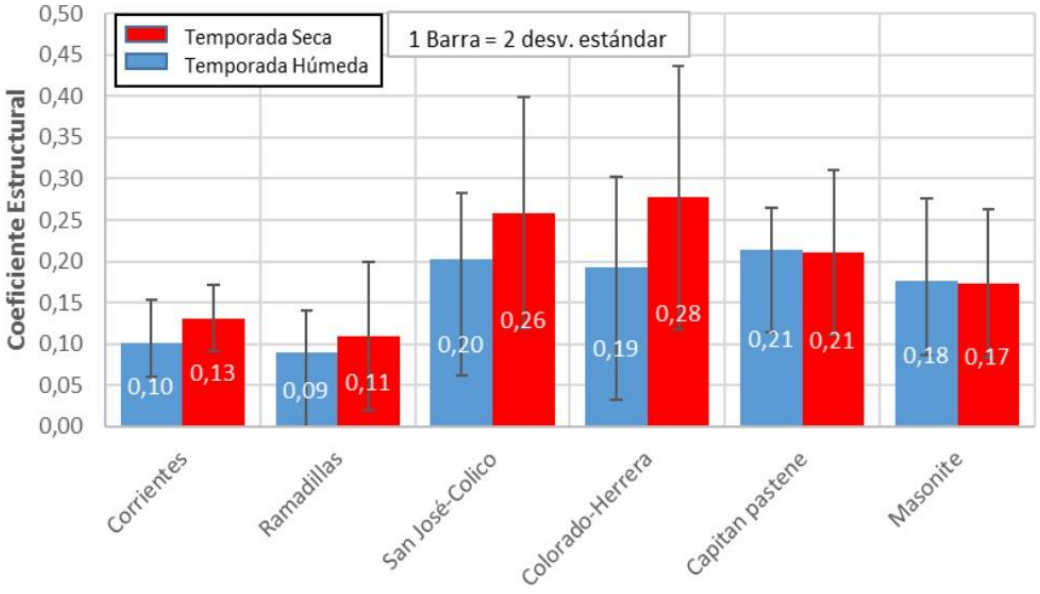


Figura 3 - 3 Comparación coeficientes en época seca y húmeda

- En términos de módulo en laboratorio, se realizaron ensayos sobre las muestras estabilizadas, obteniendo valores sobre el 70% en el módulo retenido (Figura 2-12), lo que es consistente con lo medido en terreno.

- En un ensayo más ácido (CNC), como se aprecia en la Figura 2-9, es importante notar que los suelos tratados con aditivo sólido más aditivo líquido tienen una resistencia retenida considerablemente mayor el mismo suelo con aditivo sólido sin la adición de aditivo líquido, mientras que los suelos sin estabilización o naturales no resisten la saturación en agua y se desarman a los pocos minutos. En otras palabras, se observa que el efecto del aditivo líquido lónico PROES® sobre el suelo estudiado es el aumento de estabilidad del suelo tratado.

3.3 Durabilidad

Una condición relevante para la evaluación y uso de una tecnología de estabilización es determinar si las mejoras incorporadas al suelo tienen una condición de término distinta a la

que corresponde a la fatiga de los materiales, por lo que como parte del estudio en terreno se estudió la evolución de la resistencia y su permanencia en el tiempo.

La deflectometría de impacto se realizó sobre una gran extensión de caminos donde se ha aplicado la tecnología PROES®. Los caminos estudiados son representativos de diversas estructuras, tránsito y suelo de subrasante. De los análisis efectuados se deriva que el módulo de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® normalmente varía entre 500 MPa en su condición 'terminal' hasta un rango de 2.000-10.000 MPa, que resulta ser el módulo de trabajo del material. Como se explicará más adelante, una vez construida la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® se observa un aumento de módulo producto de la reacción de los aditivos químicos, de la evaporación del agua y de la densificación de la capa producto del tráfico. A partir estas observaciones se infiere que la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® tiene un comportamiento en tres fases, como los materiales semi-ligados (Figura 3-4):

- Fase I: Desde el inicio de la construcción hasta que el módulo se estabiliza.
- Fase II: Fase estable, que corresponde a la mayor parte de la vida del pavimento.
- Fase III: Fase terminal, correspondiente a cuando el pavimento ha cumplido su vida útil.

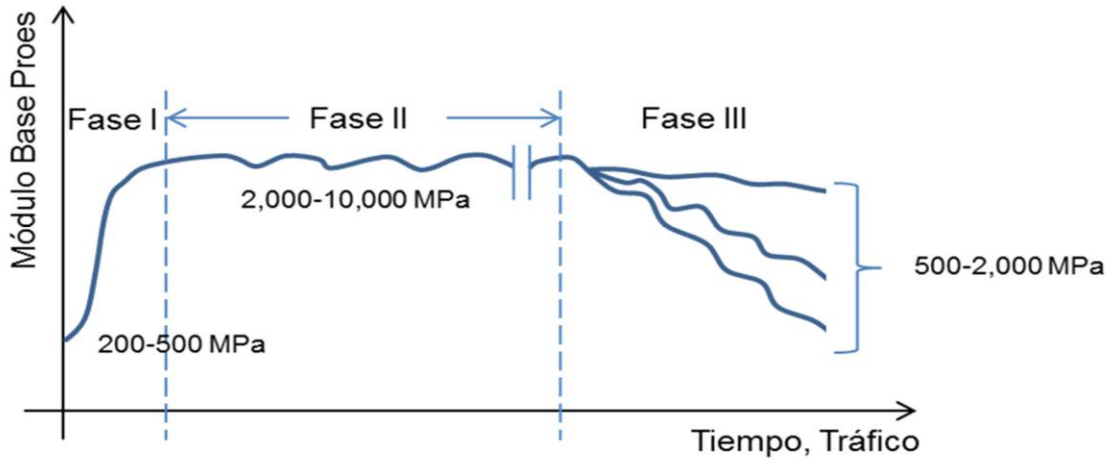


Figura 3 - 4 Esquema de evolución del módulo de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® en el tiempo

3.4 Flexibilidad

Tal como ha sido mencionado en el presente documento, la Tecnología PROES® considera el uso de un aditivo sólido y un aditivo líquido iónico. Este último es elaborado por PROES®, mientras que el aditivo sólido puede ser cemento, cal, cenizas u otro filler mineral.

La cuarta característica deseable es la flexibilidad, en el sentido de evitar condiciones de fragilidad y rigidez, tal como ocurre con frecuencia en las bases tratadas sólo con cemento. La experiencia y evaluación funcional de los caminos en operación confirma que el uso de la tecnología no genera fisuras o reflejo de grietas, tema que sería particularmente visible al usar recubrimientos asfálticos de bajo espesor. Mientras en laboratorio, junto con lo ya analizado del ensayo ITS (Figura 2-10), las mezclas tratadas tienen un comportamiento asociado a un material semi-ligado. El comportamiento semi-ligado corresponde a un rango intermedio entre un material ligado (las mezclas asfálticas) y no ligado (los materiales granulares o suelos). Estos materiales que tienen un aumento significativo de resistencia en el tiempo, pero siguen presentando características similares a los materiales granulares, es decir, una dependencia de la tensión de trabajo y una relativa baja resistencia a la tracción indirecta. El hecho de no tener una alta resistencia a la tracción indirecta no es algo necesariamente negativo, ya que materiales con esta característica son normalmente más frágiles y concentran mayores tensiones, las que se asocian a la generación de grietas.

Por otro lado, la determinación de la flexibilidad está asociado al concepto de semiligado y éste a la condición de tensodependencia que debe tener el suelo estabilizado. Para evaluar esta característica, durante el ensayo triaxial se obtuvo el comportamiento (módulo) en cada uno de los 15 ciclos, obteniendo los datos de la Figura 3-5.

En los ensayos se registró una tenso-dependencia del módulo, es decir, para distintas condiciones de carga se obtuvieron distintos módulos. Por lo tanto, las mezclas estudiadas también presentan características similares a las de un material granular y no así a materiales cementados, en otras palabras, no son rígidos.

Los datos entregados en la Figura **2-11** representan sólo el módulo *promedio*, sin embargo, el módulo resiliente observado en los ensayos triaxiales realmente depende del estado de tensiones, donde se pueden obtener valores hasta el doble del módulo promedio.

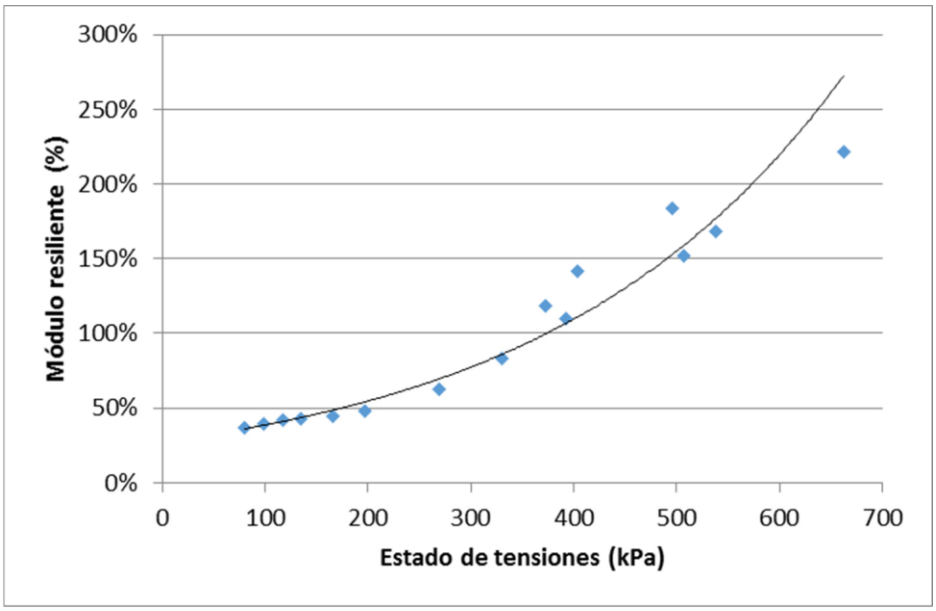


Figura 3 - 5 Módulo resiliente en función del desviador de tensiones

3.5 Parámetros de Diseño Estructural de Pavimentos

A continuación, se presentan recomendaciones para el diseño con Tecnología PROES® la con aditivo liquido iónico PROES®, en función de caracterización mecánica de la estabilización presentada en el capítulo anterior.

a. Para el caso de metodologías o métodos empírico-mecanicistas para el diseño de pavimentos, el parámetro básico es el módulo elástico, el cual permite caracterizar la respuesta de elasticidad de los materiales que componen el pavimento. De acuerdo resultados expuestos anteriormente, para bases de pavimentos flexibles, la capa estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® se caracteriza por módulos entre 500 y 1.000 MPa, dependiendo de los aditivos, dosis y tipo de suelo tratado.

b. Para el caso de método AASHTO 93 el coeficiente estructural estará sustentado por su módulo elástico y la relación presentada en la Figura 3-2 presentada anteriormente:

Coeficiente estructural = 0,0129 * (Módulo PROES®) ^ 0,3933

Para determinar el Módulo Proes®, se debe realizar el ensayo de módulo triaxial dinámico (7 días), multiplicarlo por 2 (por efecto de la reacción al plazo de un año) y utilizar la fórmula anterior. Por ejemplo, con un módulo de laboratorio de 500 MPa a 7 días, se obtiene un módulo de diseño para la base Proes de 1.000 MPa. Aplicado este último sobre la fórmula, se obtiene un coeficiente de 0,20.

En caso de no contar con la información de módulo, el coeficiente estructural de una base Proes® se determina en función de los ensayos de CBR y Resistencia a la compresión (UCS), cuyas relaciones quedan resumidas en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 3 - 1 Determinación coeficientes estructurales según ensayo CBR y UCS

CBR 7 días [%]	Resistencia 28 días [MPa]	Modulo PROES® [MPa]	Coeficiente Estructural
≥ 100 %	1.2	500	0.15
≥ 100 %	1.5	700	0.17
≥ 100 %	1.8	1000	0.20
≥ 100 %	2.5	1300	0.22

Para los casos que lo suelos tratados tengan CBR < 100% (subbases, terraplenes y mejoramientos de subrasante), se recomienda usar las recomendaciones AASHTO de acuerdo con el CBR.

4 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA PROES®

El principio fundamental de la Tecnología PROES® con aditivo liquido iónico PROES® es la reacción química de los aditivos con suelos que tienen algún grado de plasticidad, mejorando considerablemente el comportamiento del suelo frente al agua y las cargas de tránsito. Luego del análisis de los suelos a estabilizar y de la determinación de la dosificación, la estabilización se realiza agregando al material o suelo natural las dosis estudiadas del aditivo sólido y el aditivo líquido iónico, logrando una mezcla homogénea, y compactando hasta alcanzar compactación de diseño (al menos el 95% de la Densidad Máxima Compactada Seca, DMCS). El espesor de la base y la dosificación de los aditivos quedan definidos por el diseño de ingeniería, en función de los resultados de laboratorio, y es parte de la tecnología.

La estabilización con Tecnología PROES® permite generar estructuras con una capacidad de soporte y durabilidad equivalente a las estructuras de pavimento tradicionales, pero de menor espesor, en general aprovechando los materiales naturales disponibles en el lugar de la construcción. La capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® se considera como semi-ligada, impermeable, cohesiva, flexible y con un módulo elástico que puede variar entre 500 y 10.000 MPa según la dosificación utilizada y las características naturales del suelo a tratar, lo que se traduce en que el material tratado tiene al menos una capacidad estructural equivalente a una base granular de capacidad de soporte CBR ≥ 100%. Estas propiedades mecánicas de la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® permiten que, en la mayor parte de los proyectos, la carpeta de rodado o capa de protección sea diseñada exclusivamente para resolver el tema de la abrasión y no para agregar capacidad estructural al pavimento.

El tipo de estructura de pavimento donde se utiliza la base estabilizada con Tecnología PROES, o va a depender del tránsito, clima, estándar requerido y otras condiciones de operatividad e incluyen:

- Superficie asfáltica delgada (tratamiento asfáltico simple o doble, lechada, etc).
- Carpeta asfáltica delgada en caliente
- Losas de hormigón con geometría optimizada

- Adocretos
- Base descubierta



Figura 4 - 1 Aplicaciones de la tecnología

4.1 Usos de la tecnología de la infraestructura vial

La tecnología PROES® se fundamenta en la mejora de las propiedades geomecánicas de los materiales existentes en el proyecto mediante la adición de aditivo, y de acuerdo con el desempeño funcional que se le desea dar a la capa estabilizada dentro de la estructura de pavimento, con el fin de obtener su adecuado comportamiento mecánico, lo cual permite a la tecnología interactuar en cualquier capa de la estructura de pavimento y al tipo de solicitaciones de carga a la que este expuesta la estructura de pavimento estabilizada con aditivo liquido iónico PROES® en la infraestructura vial de vías de bajo, mediano y alto volúmenes de tránsito, infraestructura portuaria, logística y residencial, para la construcción, mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación de la infraestructura de transporte.

4.2 Ejemplo de comparación con solución tradicional

A modo de ejemplo, se presenta el caso de una solución de pavimento asfáltico o flexible para un camino con una subrasante donde predomina arcilla inorgánica de alta plasticidad con un CBR promedio del orden de 10%. El pavimento se debe diseñar para un tránsito esperado de 1 millón de ejes equivalentes en 10 años de vida útil. En la Figura 4-2 se indica la propuesta con diseño de pavimento tradicional versus la propuesta con la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®, donde se observa la importante reducción de espesor del

material granular a utilizar.



Figura 4 - 2 Ejemplo de diseño tradicional versus la capa estructural estabilizada con aditivo liquido iónico PROES®.

5 CONCLUSIONES

En función de los estudios de laboratorio y terreno realizados como parte del proyecto INNOVA y la información recopilada en los más de 15 años de experiencia con la Tecnología **PROES®**, las cuales han sido brevemente presentadas en esta sección, se concluye que:

a. Existe consistencia entre la experiencia práctica en terreno, la medición con FWD y los ensayos de laboratorio, lo que respalda el hecho de que los materiales tratado con la Tecnología **PROES®** tienen un comportamiento propio y que difiere del de otros estabilizadores químicos.

b. Los suelos tratados con Tecnología **PROES®** tienen un importante grado de flexibilidad, es decir, la capacidad de deformarse sin fallar, lo cual ha sido observado en laboratorio (ensayo de deformación permanente triaxial) y en terreno.

c. Su comportamiento corresponde a un material semi-ligado, por lo tanto, tiene algunas características de material granular como la tenso-dependencia, pero a la vez un aumento significativo de resistencia y módulo a la compresión. El módulo a la tracción indirecta no tiene un aumento significativo, lo cual confirma que no es un material susceptible al agrietamiento.

d. Su resistencia, medida a través del módulo resiliente, sigue en aumento hasta un año después de la estabilización. En base a los resultados obtenidos, se considera que el módulo a 7 días corresponde al 50% de lo que se podría llegar a alcanzar a largo plazo.

e. La selección del aditivo sólido es importante, ya que se observa en los ensayos que, tanto la resistencia como la estabilidad, varían en función del tipo de suelo y aditivo utilizado (dosis y tipo). En principio se recomienda el uso de cemento portland para suelos de baja a media plasticidad y de cal viva para suelos de media a alta plasticidad.

f. Los suelos tratados con **aditivo liquido iónico PROES®,** con el aditivo y dosis correcta, presentan estabilidad frente al agua, ya que no tienen una significativa disminución en su módulo. Teniendo como premisa que se reconoce como estable a un material que mantiene un 70% de su resistencia (retenida) al estar expuesto con el

agua, cuestión que se cumple con la utilización de la tecnología y la dosificación adecuada.

g. Mediciones en caminos, de hasta 15 años de servicios, muestran que la estructura se mantiene estable, resistente y durable en el tiempo. En promedio las mediciones son del orden de 1.654 MPa, significativamente superiores a una base granular de buena calidad. Del mismo modo, los coeficientes estructurales en la red de caminos estudiada son en promedio de 0.24.

h. Los módulos de los suelos estabilizados con la Tecnología **PROES®** tienen una adecuada correlación con coeficientes estructurales.

FERNEY DAVID MARTINEZ PENAGOS
ESP. EN RECURSOS HIDRICOS – INGENIERO CIVIL

BOGOTA, NOVIEMBRE 15 DE 2025.

Señores:
Consorcio Pro K
Bogotá D.C.

Referencia: Contratar a monto agotable y a precios unitarios, el diagnostico, mantenimiento correctivo y preventivo, suministro e instalación de mobiliario de los parques de proximidad (vecinales y de bolsillo) priorizados en la localidad de Kennedy.

Respetados señores:

Por medio del presente se realiza el análisis y diseño de los desagües para la cancha de microfutbol, ubicada en la calle 1 bis con carrera 87ª Ubicada en el barrio patio bonito – Localidad de Kennedy.

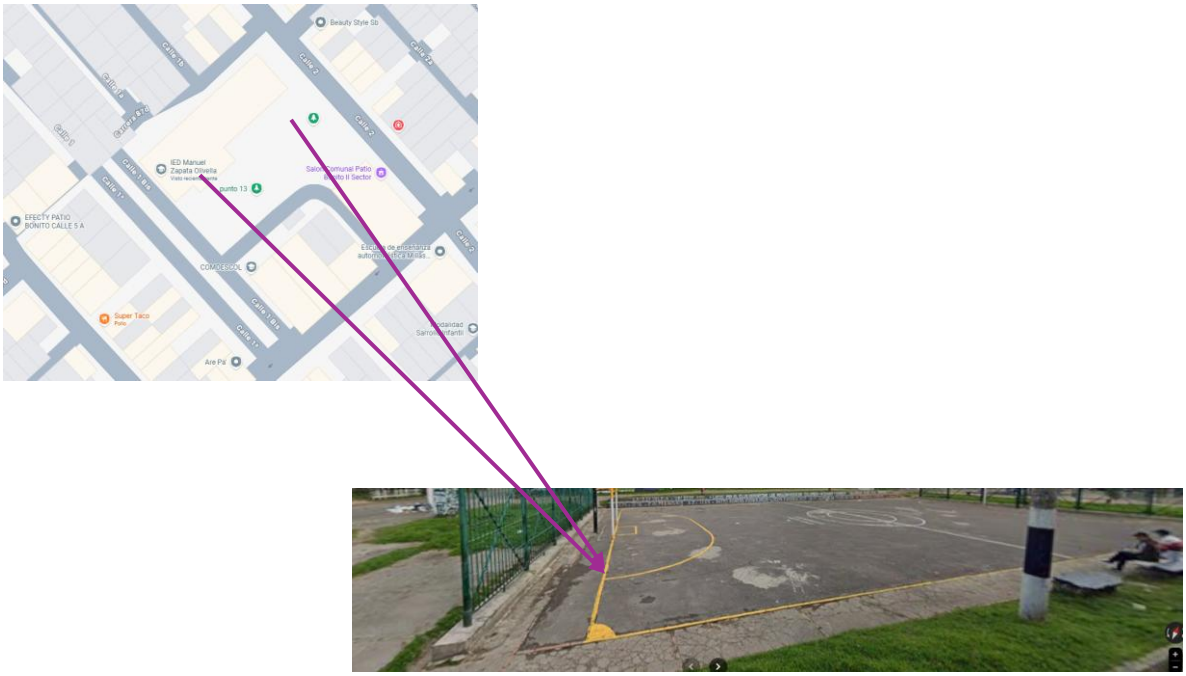
1. INVENTARIO:

   - Cancha de Microfutbol – Ubicación: IED Manuel Zapata Olivella
   - Domicilio: Carrera 87ª # Calle 1 Bis
   - Localidad: Kennedy
   - Barrio: Patio Bonito

2. DIMENSIONES Y NECESIDAD:



Img 1. Plano levantamiento 08-007



Img 2 – 3: Google maps ubicación – Google Street view

PROBLEMATICA:

Como se evidencia en la imagen la cancha presenta deterioro por mantenimiento y aparte de eso la cancha se encuentra por debajo de la cota de la vía en este caso la carrera 87ª. Por tal motivo se hace necesario implementar un sistema de evacuación para aguas lluvia.

Lo primero que hacemos es un análisis de lluvia para calcular el caudal.

Area Cancha (m2)	561,000
Area Total (m2)	561,000

CANCHA		
C		0,9
I	(mm/h)	97,23
A	ha	0,056
Q	m3/s	0,0136
Q	l/s	13,647

Tabla 1. Calculo de caudal por método racional CxIxA

ESTE	99514,25
NORTE	100545,86

I= C1*(Duraciòn + Xo)^C2

TR Años (NS-166)	10
Duracion (NS-166)	10
Intensidad (mm/h)	97,23
C	0,9

Tr (Años)	C1	Xo	C2
3	2164,24012	21,4	-0,97836
5	2205,94373	19,6	-0,96328
10	2467,52229	19,2	-0,95843
25	2986,72532	19,6	-0,96508
50	3412,44625	21,4	-0,97013
100	3909,80043	21,4	-0,9794

Duracion	TR					
(min)	3 Años	5 Años	10 Años	25 Años	50 Años	100 Años
5	88,00	100,86	116,40	135,78	142,54	158,43
10	74,26	84,40	97,23	113,57	120,46	133,68
15	64,27	72,62	83,56	97,69	104,37	115,67
20	56,66	63,76	73,32	85,76	92,12	101,97
25	50,68	56,86	65,35	76,46	82,48	91,19
30	45,85	51,33	58,97	69,01	74,68	82,50
35	41,87	46,79	53,75	62,90	68,25	75,33
40	38,53	43,01	49,39	57,80	62,85	69,31
45	35,69	39,80	45,69	53,48	58,25	64,20
50	33,24	37,04	42,53	49,77	54,29	59,79
55	31,11	34,64	39,77	46,54	50,84	55,96
60	29,24	32,54	37,37	43,72	47,81	52,59
65	27,59	30,69	35,24	41,22	45,12	49,61
70	26,11	29,04	33,34	39,00	42,73	46,95
75	24,78	27,56	31,64	37,01	40,57	44,56
80	23,59	26,22	30,11	35,21	38,63	42,41
85	22,50	25,02	28,73	33,59	36,87	40,45
90	21,51	23,92	27,46	32,11	35,26	38,68

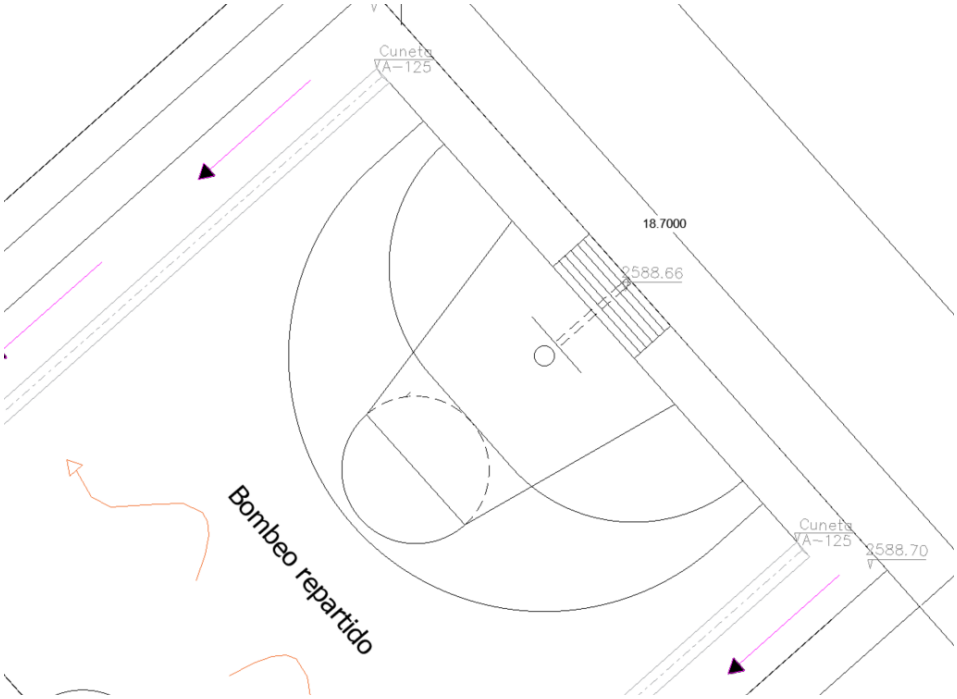
Tabla 2. Calculo de Intensidad por formula EAAB

De acuerdo con lo anterior se calcula las intensidades de lluvia para la zona y luego se realiza el calculo teniendo en cuenta lo siguiente:

El mínimo periodo de vida de la cancha será de 10 años por eso se calcula un periodo de retorno para un evento máximo de 10 años y un torrencial de 10 min llevando a un momento máximo.

El caudal calculado es de: **13.65 l/s** para esa área.

FERNEY DAVID MARTINEZ PENAGOS
ESP. EN RECURSOS HIDRICOS – INGENIERO CIVIL



Lo primero a realizar es la instalación de cunetas prefabricadas A-125 en los extremos laterales y el extremo sur de la cancha que es donde se concentra la evacuación de las aguas lluvia.

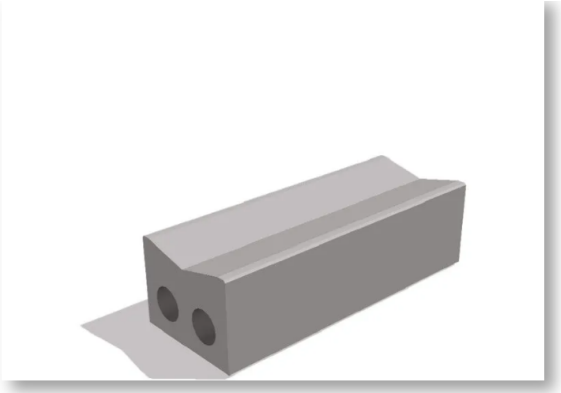
Cañuela Prefabricada A-125

Pieza aligerada prefabricada en concreto de 4 Mpa de módulo de rotura a 28 días, con acabado liso.

Se instala sobre una capa de mortero de nivelación, con juntas de 1 cm de espesor en mortero 1:4, adosada al sardinel prefabricado, en la calzada vehicular, conduciendo las escorrentías que se presentan sobre la superficie adyacente.

CARACTERÍSTICAS

- **Dimensiones nominales: 800 X 400 X 225 mm.**
- **Dimensiones estándar: 790 X 400 X 2255 mm**
- **Junta estándar: 10 mm**
- **Mantenimiento reinstalar si la base falla, reemplazar en caso de rotura.**
- **Peso: Aprox 131,52 kg.**
- **Características físicas norma NTC 4109.**



DESCARGAR FICHA TÉCNICA

Las cunetas deberán tener un sardinel para que la cancha no se inunde en la parte oriental.

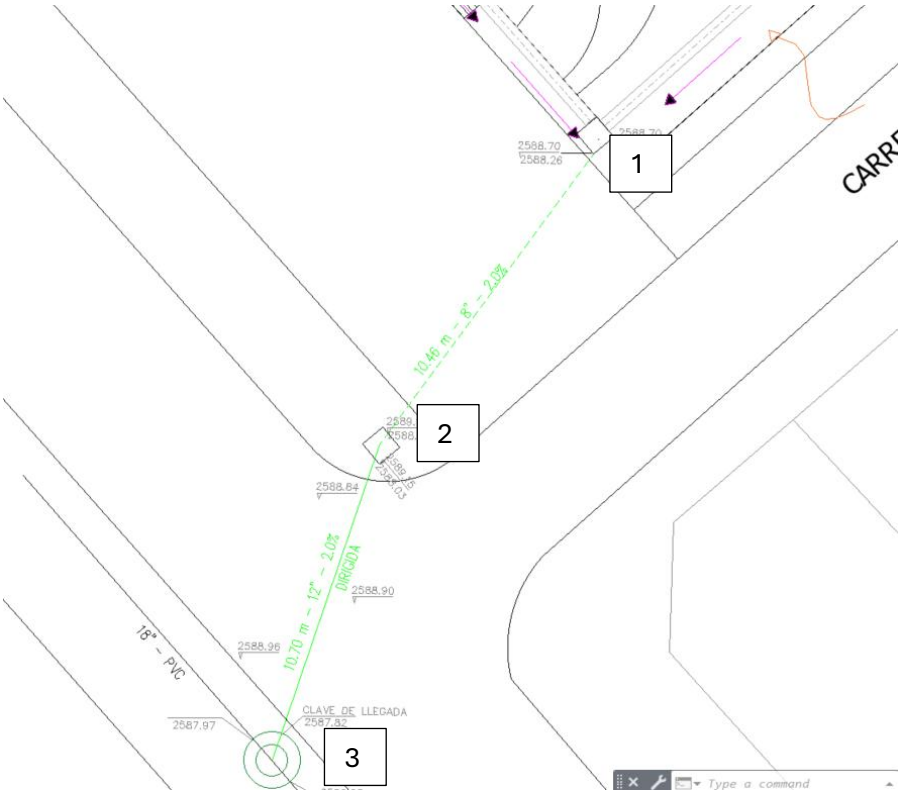
FERNEY DAVID MARTINEZ PENAGOS
ESP. EN RECURSOS HIDRICOS – INGENIERO CIVIL

Llegaran a una caja de 0.8 x 0.8 denominada una caja 1, luego se evacuará en una tubería de 8”

Tabla 3.11 Ecuación de Manning (8”-16”) n = 0.009

$K = \frac{R^{2/3}}{n}$ $K_1 = \frac{A * R^{2/3}}{n}$ $V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$ $Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$ $n = 0.009$

S	Diámetros en metros y pulgadas														
	0.20 = 8”			0.25 = 10”			0.30 = 12”			0.35 = 14”			0.40 = 16”		
	K√S	$K_1\sqrt{S}$	250ØS	K√S	$K_1\sqrt{S}$	250ØS	K√S	$K_1\sqrt{S}$	250ØS	K√S	$K_1\sqrt{S}$	250ØS	K√S	$K_1\sqrt{S}$	250ØS
	V	Q	F_t	V	Q	F_t	V	Q	F_t	V	Q	F_t	V	Q	F_t
%	m/s	l/s	Kg/m²	m/s	l/s	Kg/m²	m/s	l/s	Kg/m²	m/s	l/s	Kg/m²	m/s	l/s	Kg/m²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,3	0,83	25,95	0,15	0,96	47,05	0,19	1,08	76,51	0,23	1,20	115,40	0,26	1,31	164,76	0,30
0,4	0,95	29,96	0,20	1,11	54,33	0,25	1,25	88,34	0,30	1,39	133,26	0,35	1,51	190,25	0,40
0,5	1,07	33,50	0,25	1,24	60,74	0,31	1,40	98,77	0,38	1,55	148,98	0,44	1,69	212,71	0,50
0,6	1,17	36,70	0,30	1,36	66,54	0,38	1,53	108,20	0,45	1,70	163,20	0,53	1,85	233,01	0,60
0,7	1,26	39,64	0,35	1,46	71,87	0,44	1,65	116,86	0,53	1,83	176,28	0,61	2,00	251,68	0,70
0,8	1,35	42,37	0,40	1,57	76,83	0,50	1,77	124,93	0,60	1,96	188,45	0,70	2,14	269,06	0,80
0,9	1,43	44,94	0,45	1,66	81,49	0,56	1,87	132,51	0,68	2,08	199,88	0,79	2,27	285,38	0,90
1,0	1,51	47,38	0,50	1,75	85,90	0,63	1,98	139,68	0,75	2,19	210,70	0,88	2,39	300,82	1,00
1,1	1,58	49,69	0,55	1,84	90,09	0,69	2,07	146,50	0,83	2,30	220,98	0,96	2,51	315,50	1,10
1,2	1,65	51,90	0,60	1,92	94,10	0,75	2,16	153,01	0,90	2,40	230,81	1,05	2,62	329,53	1,20
1,3	1,72	54,02	0,65	2,00	97,94	0,81	2,25	159,26	0,98	2,50	240,23	1,14	2,73	342,98	1,30
1,4	1,78	56,06	0,70	2,07	101,64	0,88	2,34	165,27	1,05	2,59	249,30	1,23	2,83	355,93	1,40
1,5	1,85	58,02	0,75	2,14	105,20	0,94	2,42	171,07	1,13	2,68	258,05	1,31	2,93	368,42	1,50
1,6	1,91	59,93	0,80	2,21	108,65	1,00	2,50	176,68	1,20	2,77	266,51	1,40	3,03	380,51	1,60
1,7	1,97	61,77	0,85	2,28	112,00	1,06	2,58	182,12	1,28	2,86	274,71	1,49	3,12	392,22	1,70
1,8	2,02	63,56	0,90	2,35	115,24	1,13	2,65	187,40	1,35	2,94	282,68	1,58	3,21	403,59	1,80
1,9	2,08	65,30	0,95	2,41	118,40	1,19	2,72	192,53	1,43	3,02	290,42	1,66	3,30	414,65	1,90
2,0	2,13	67,00	1,00	2,47	121,48	1,25	2,79	197,54	1,50	3,10	297,97	1,75	3,39	425,42	2,00



La salida será por norma de acueducto en una tubería dirigía de 12" y será un tramo de 11 metros lineales con una pendiente del 3.0%

CONCLUSIONES:

1. Se instalarán cunetas prefabricadas A-125.
2. Se evacuarán las cunetas a la caja 1 en una tubería de 8" en una caja de 0.80 x 0.80 m. La cual puede evacuar hasta 67 l/s.
3. Para evacuar desde la caja 2 hasta el pozo se hará con un misil dirigido, el cual instalará una tubería de 12" – Tubería de Alcantarillado - Novafort.
4. Se adjuntan planos y carpeta completa de diseño.

Gracias, atentamente.



FERNEY DAVID MARTÍNEZ PENAGOS
Ing Civil – Especialista en Recursos hidricos
315 612 3657
(1) 3412637
representante.cas2014@gmail.com

BOGOTÁ | SECRETARÍA DE GOBIERNO

EVIDENCIA DE REUNIÓN

Código: GDI-GPD-F029
Versión: 07
Vigencia: 25 de septiembre de 2025
Caso HOLA: 188520

Objeto de la reunión:	Comite de obra
Fecha:	12 Noviembre 2025
Lugar:	
Dependencia:	

Hora de inicio: _____
Hora de finalización: _____
Nombre del Responsable:

Modalidad: ___ Presencial ___ Virtual ___ Telefónica ___ Mixta

TIPO DE DOCUMENTO	NÚMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN	NOMBRES Y APELLIDOS (Jurídico o legal)	NOMBRE IDENTITARIO	ENTIDAD	DEPENDENCIA	CARGO: ASESOR	CARGO: DIRECTIVO	CARGO: PROFESIONAL	CARGO: TECNICO/ TECNÓLOGO	CARGO: AUXILIAR	TIPO DE VINCULACIÓN: CARRERA	TIPO DE VINCULACIÓN: PROVISIONAL	TIPO DE VINCULACIÓN: LIBRE NOMB.	TIPO DE VINCULACIÓN: CONTRATISTA	CORREO ELECTRÓNICO - TELÉFONO DE CONTACTO	FIRMA
	52457400	Sandra Caldura		Contratista			X									
	9245045	José C. Salaimon		Contratista												José C. Salaimon.
CC	52475739	Jenny Cañon	—	FDLK				X						X	3013746588	
	1233696120	Oscar Forero		Interventoria				X							3008760571	Oscar Forero.

CONSENTIMIENTO: Quien registra sus datos, conforme a la Ley 1581 de 2012 y demás normas reglamentarias aplicables, declara que conoce y acepta la Política de Tratamiento y Protección de Datos Personales de la Secretaría Distrital de Gobierno, y que la información proporcionada es veraz, completa, exacta, actualizada y verificable. Reconoce y acepta que cualquier consulta o reclamación relacionada con el tratamiento de sus datos personales podrá ser elevada verbalmente o por escrito ante la Secretaría Distrital de Gobierno – Oficina de Atención al Ciudadano, como responsable del tratamiento; cuya página web es www.gobiernobogota.gov.co y su teléfono de atención es 3587000. Manifiesta que con los datos proporcionados tiene el derecho de conocer, actualizar y rectificar los datos personales, a solicitar prueba de este consentimiento, a solicitar información sobre el uso que se le ha dado a los datos personales, a presentar quejas ante la Superintendencia de Industria y Comercio por el uso indebido de los datos personales, a revocar esta autorización o solicitar la supresión de los datos personales suministrados y a acceder de forma gratuita a los mismos. De igual manera entiende que los datos aquí consignados serán usados para temas estadísticos, de caracterización poblacional y en determinados casos para el acceso a la oferta institucional de la Secretaría Distrital de Gobierno.

* Ver SAC-M002 Manual de Atención Diferencial y Preferencial para personas con discapacidad, disponible en https://gaia.gobiernobogota.gov.co/content/sistema-integrado-de-gestion-sdg

DESARROLLO Y CONCLUSIONES DE LA REUNIÓN:

LA INTERVENTORÍA REVISÓ LOS DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS de cunetas, Senderos peatonales y ZONAS DUROS de juegos
UNA VEZ REVISADAS LAS ESTRUCTURAS por interventoría: APROBÓ QUE UNIFICARAN DE ESTA FORMA LAS ESPESORES EL CUAL APLICA PARA LOS Senderos, Cunetas y ZONAS DUROS de juegos.

0,35 cm (Base Granular tipo IDRD) + Geomalla multiaxial + 0,05 subbase granular reciclada tipo A
0,15 cm Geomalla + Relleno de subbase granular reciclada tipo A + 0,05 subbase granular reciclada tipo A + Geotextil tipo cuneta ≥ 90KN/m

Los terminados de las cunetas es con MDC-3 espesor 5cm
Los terminados de Senderos peatonales 10 cm de concreto Estampado 3000 PSI
Los terminados de Zona de juegos 10cm de placa de concreto con malla electrosoldada y 8 cm de piso caucho.

A PARTIR DE ESTA APROBACIÓN de los espesores de interventoría el contratista procede a realizar el pato estipulado del contrato.

COMPROMISOS DE LA REUNIÓN:

No.	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	FECHA DE ENTREGA

NOTA 1: En caso de ser una reunión virtual se puede anexar el reporte de asistencia generado por las plataformas de reuniones o plataformas que generen formularios.
NOTA 2: Agregue o elimine las filas que sean necesarias para registrar los asistentes y los compromisos de la reunión.