

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE REACCIONES MECANICAS A TEMPRANAS EDADES DE
UN SUELO COHESIVO TRATADO CON CAL

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería

POR

BERNARDO ELIAS GARRIDO

Al conferírsele el Título de

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE 1997



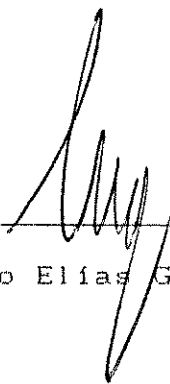
70
T(4144)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

ANALISIS DE REACCIONES MECANICAS A TEMPRANAS EDADES DE
UN SUELO COHESIVO TRATADO CON CAL

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 14 de Octubre de 1997.

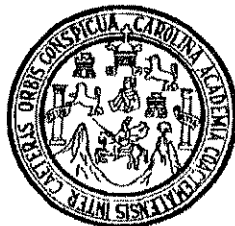


Bernardo Elías Garrido

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Bibli

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA



MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO : Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL PRIMERO : Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL SEGUNDO : Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL TERCERO : Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL CUARTO : Br. Victor Rafaél Lobos Aldana
VOCAL QUINTO : Br. Wagner Gustavo López Caceres
SECRETARIO : Ing. Gilda Marina Castellanos B. de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO : Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR : Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR : Ing. Edgar Fernando Valenzuela Villanueva
EXAMINADOR : Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
SECRETARIO : Ing. Gilda Marina Castellanos B. de Illescas

Guatemala, 27 de Octubre de 1997

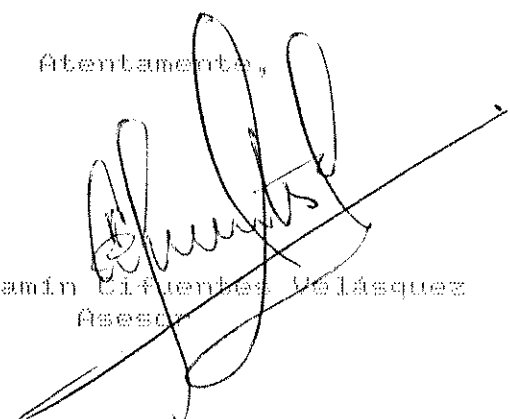
Ing. Javier Quiñonez de la Cruz
Jefe del Area de Materiales
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Ingeniero Quiñonez:

Tengo el agrado de informar a usted que he concluido la revisión del trabajo de tesis **ANALISIS DE REACCIONES MECANICAS A TEMPRANAS EDADES DE UN SUELO COHESIVO TRATADO CON CAL**, del estudiante Bernardo Elias Garrido para quién fui nombrado asesor.

Encontre que la investigación realizada proporciona resultados valiosos sobre el comportamiento del suelo cohesivo al tratarlo con cal y someterlo a distintos requerimientos, por lo que me permito recomendar su aprobación, siendo corresponsable con el autor por los resultados y conclusiones logradas.

Atentamente,



Ing. Benjamin Cifuentes Velásquez
Asesor



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala,
5 de noviembre de 1.997

Ingeniero Jack Douglas Ibarra,
Director de la Escuela
de Ingeniería Civil.
Facultad de Ingeniería.

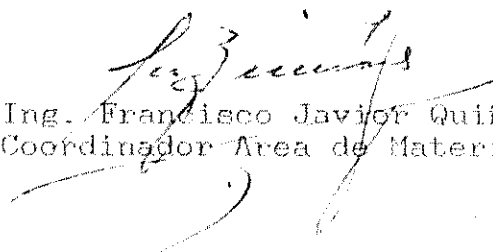
Señor Director:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis ANALISIS DE REACCIONES MECANICAS A TEMPRANAS EDADES DE UN SUELO COHESIVO TRATADO CON CAL, desarrollado por el estudiante universitario Bernardo Elías Garrido, quien contó con la asesoría del Ingeniero Benjamin Cifuentes Velásquez.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos para los cuales fué planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Francisco Javier Quiñones
Coordinador Area de Materiales

FJQ/lpc



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Benjamín Cifuentes Velásquez y del Jefe del Coordinador del Area de Materiales Ing. Francisco Javier Quiñónez, del trabajo de tesis del estudiante Bernardo Elías Garrido, titulado ANALISIS DE REACCIONES MECANICAS A TEMPRANAS EDADES DE UN SUELO COHESIVO TRATADO CON CAL, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, noviembre de 1,997.

JDIS/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis ANALISIS DE RACCIONES MECANICAS A TEMPRANAS EDADES DE UN SUELO COHESIVO TRATADO CON CAL, del estudiante Bernardo Elias Garrido, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
DECANO EN FUNCIONES

Guatemala, noviembre de 1,997

/bbdeb.

Al Señor mi Dios, fortaleza y guía
de mi vida

A mi abuelita Margó, por la
inmortalidad que da el recuerdo de
su amor y valentía

A mis padres Ovidio y Lizbeth, y a
mi hermano Tono.

INDICE

Introducción	1
Objetivos	2
CAPITULO I	
MARCO TEORICO	3
1.1 El suelo y sus propiedades	4
1.1.1 Proceso físico en la formación del suelo	
1.1.2 Proceso químico en la formación del suelo	
1.1.3 Granulometría de los suelos	
1.1.4 Clasificación granulométrica de los suelos	
1.1.5 Características de la naturaleza de los suelos	
1.2 Generalidades sobre la cal	9
1.2.1 Calcinación	
1.2.2 Endurecimiento de la cal	
1.2.3 La cal viva	
1.2.4 Las cales hidratadas	
1.2.5 Granza de cal	
1.3 Reacciones de la estructura superior de una carretera en la subrasante	12
1.3.1 Pavimento	
1.3.2 Capas de un pavimento	
1.3.3 Módulo de reacción de la subrasante	
1.3.4 Estabilización con cal en la subrasante	
1.4 Influencia de la plasticidad en subrasante	18
1.4.1 Índice de plasticidad	
1.4.2 Índice de liquidez	

CAPITULO II	
MARCO EXPERIMENTAL	20
2.1 RELACION ENTRE PLASTICIDAD Y CAPACIDAD DE SOPORTAR CARGAS COMPRESIVAS	21
2.1.1 Procedimiento de ensayos de plasticidad	
2.1.2 Resultados de ensayos de laboratorio	
2.2 EL SUELO SOMETIDO A DISTINTAS CONDICIONES Y SU CAPACIDAD DE SOPORTAR CARGAS COMPRESIVAS	24
2.2.1 Relación de carga última Vrs. tiempo comparando porcentaje de cal	25
2.2.2 Comparación de ambientes de curado	26
2.2.3 Comparación de humedad de compactación	31
2.2.4 Comparación de energía de compactación	32
2.2.5 Comparación tipo de cal utilizada	33
 CAPITULO III	
Conclusiones	35
 CAPITULO IV	
Recomendaciones	37
 Referencias	38
 Bibliografía	39
 Anexos	40

INTRODUCCION

En la construcción de carreteras debe siempre tomarse en consideración las características del suelo que se encuentra en el lugar con el que se va a trabajar.

El suelo del sitio se trata de utilizar en la misma carretera cuanto sea posible, debido al impacto ambiental que significa su traslado y depositación en otro lugar y por razones económicas.

En muchas ocasiones el suelo no cumple con los requerimientos dispuestos por lo que hay que mejorarle sus características, mediante la estabilización del mismo con otro componente.

Esta investigación presenta la modificación de características de plasticidad y capacidad de soportar cargas compresivas de un suelo limo-arcilloso tratado con cal, sometiendolo a distintas condiciones semejantes a las del campo; todo esto en tempranas edades pues es en éstas cuando sufre grandes cargas por la construcción de las capas superiores de la carretera.

Sirviendo este, como una guía de las características que se pueden esperar de un suelo similar en condiciones semejantes.

OBJETIVOS

- Presentar una guía del comportamiento de los suelos cohesivos al tener que trabajar con ellos en el desarrollo de proyectos de infraestructura vial.
- Concretizar sobre el cuidado de las capas inferiores de una carretera en construcción.

CAPITULO I
MARCO TEORICO

1.1 EL SUELO Y SUS PROPIEDADES

Suelo es cualquier acumulación de partículas minerales, cementadas debilmente o no cementadas, formadas por la pulverización de rocas por la interperie, y con espacios entre partículas ocupados por agua y/o aire.

Si los productos de la interperie permanecen en su ubicación original constituyen un suelo residual. De tratarse de productos transportados y depositados en sitios diferentes, constituyen un suelo transportado, siendo los agentes de transporte la gravedad, el viento, el agua y los glaciares. Durante el transporte el tamaño de las partículas puede sufrir modificaciones y las partículas caer en clasificación según el rango de tamaños.

el proceso destructivo en la formación del suelo a partir de las rocas puede ser físico o químico.

1.1.1 Proceso Físico en la Formación del Suelo:

Este puede ser la erosión por la acción del viento, agua o glaciares, o la desintegración causada por la congelación y deshielo alternativos de grietas en la roca.

Las partículas del suelo resultantes tienen la misma composición de la que tenía la roca originaria. Las partículas de este tipo tienden a ser equidimensionales y su forma puede ser angular, subangular o redondeada. Los tamaños de las partículas varia desde piedras hasta polvo formado por la acción de molienda de los glaciares.

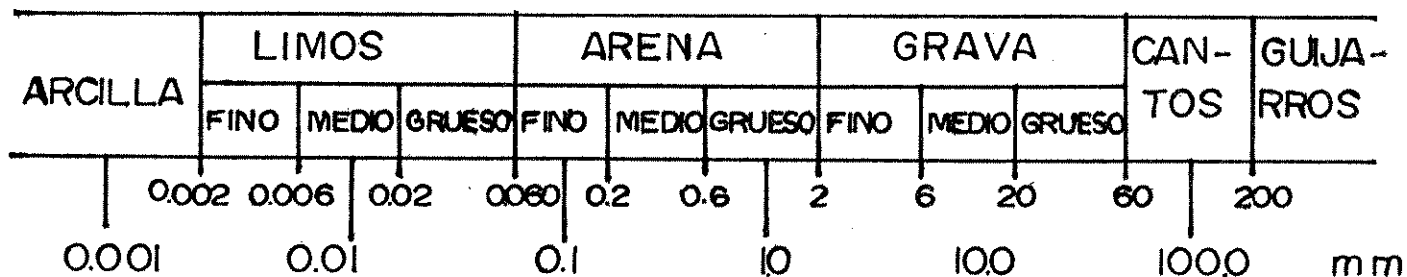


1.1.2 Proceso Químico en la Formación del Suelo:

Este resulta de modificaciones en la forma mineral de la roca originaria, debido a la acción del agua (especialmente si contiene Trazas de ácido o álcali), oxígeno y dióxido de carbono. La acción química por la interperie produce la formación de partículas cristalinas de tamaño coloidal menores que 0.002 mm de diámetro, conocida como minerales de arcilla. La mayor parte de partículas de mineral de arcilla son de forma de placas, con una gran superficie específica, es decir, gran area superficial en relación con su masa, con el resultado que sus propiedades son significativamente influenciadas por fuerzas superficiales.

1.1.3 Granulometría de los Suelos:

Los tamaños de las partículas pueden variar desde mas de 100 mm hasta menos de 0.001 mm. (Referencia 1).



A los suelos que consisten principalmente en partículas medidas en los rangos de grava y arena se les conoce como de grano grueso. Los que se encuentran mayormente en dimensiones en los rangos de sedimentos y arcilla se les conoce como suelos de grano fino.

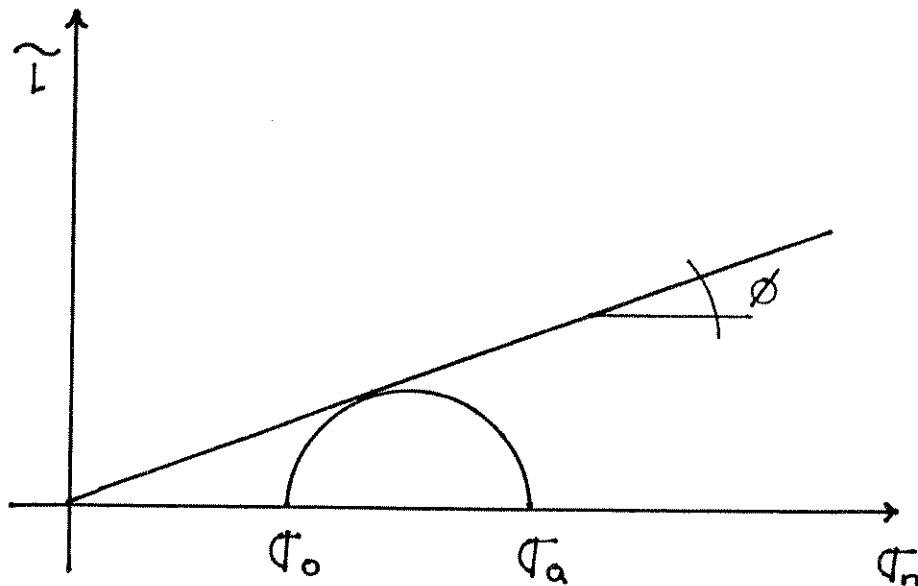
1.1.4 Clasificación Granulométrica de los Suelos:

El análisis de dimensiones de partículas de una muestra de suelo involucra determinación del porcentaje por peso de partículas dentro de diversos rangos de tamaños, se puede determinar la distribución de tamaños de partículas de un suelo de grano grueso por el método del tamizado. Si involucra el suelo una cantidad considerable de granulometría fina (menor que 0.075 mm de diámetro) la muestra debe ser tratada con un agente antifloculante, y lavada al pasar por los tamices. Para determinar la distribución de partículas de la porción de suelo de grano fino se recurre al método de la sedimentación basado en la ley de Stokes que gobierna la velocidad a la que asientan las partículas esféricas en suspensión: cuanto más grande la partícula mayor es la velocidad de asentamiento. Esta ley no es válida para partículas menores a 0.0002 mm cuyo asentamiento queda influenciado por el movimiento Browniano. (Referencia 1).

1.1.5 Características de la Naturaleza de los Suelos:

Ángulo de Fricción Interna (ϕ)

Es la característica de los suelos que hace que sus partículas permanezcan unidas sin ningún tipo de fuerza atractiva entre ellas; En los suelos de composición granular es el principal factor para la resistencia a cargas compresivas y cortantes. (Referencia 2).



El ángulo de fricción interna relaciona los esfuerzos verticales (σ_v) con los esfuerzos horizontales (σ_h) por medio de una constante k .

$$h = k\sigma_v$$

$$k_a = \tan^2(45 - \phi/2)$$

$$k_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$

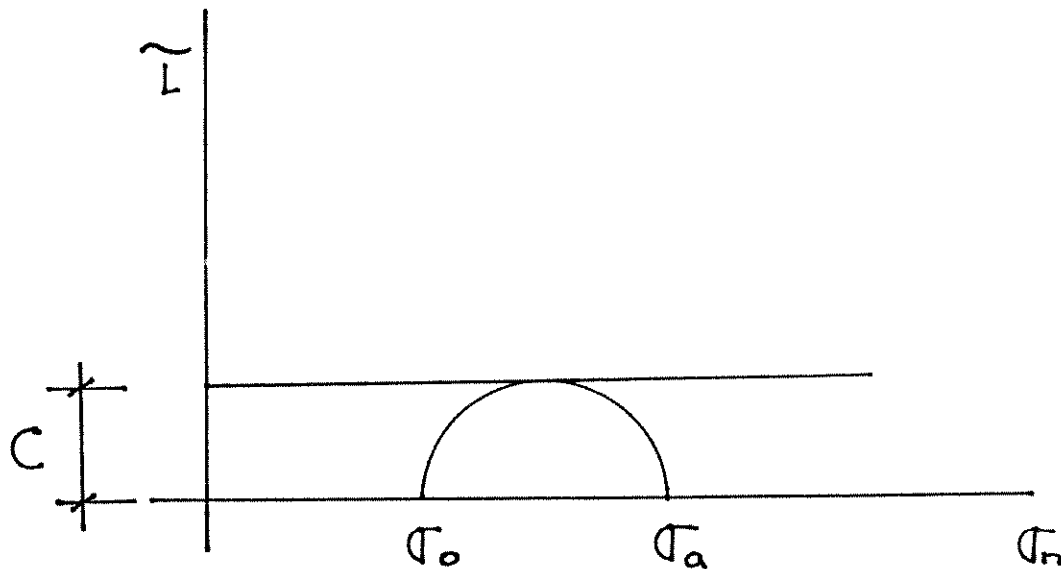
k_a = constante a un esfuerzo activo

k_p = constante a un esfuerzo pasivo o reactivo.

Cohesión:

Se define como la propiedad de permanecer unido el suelo en estado seco, debido a la atracción producida por las fuerzas de Van Der Waals de corto alcance, estas fuerzas disminuyen rápidamente al aumentar la distancia entre partículas.

La cohesión es el principal factor en acción cuando se soportan cargas aplicadas por suelos de granulometría fina.



Ángulo de Fricción Interna y Cohesión en Suelos Reales:

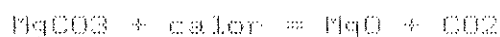
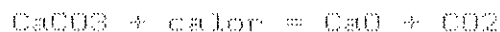
Los suelos reales (suelos encontrados comúnmente en la naturaleza) contienen ángulo de fricción interna y cohesión, una de estas características domina, por ello se obvia la otra como un factor de seguridad. (Referencia 2).

1.2 GENERALIDADES SOBRE LA CAL

La piedra caliza (CaCO_3) que contiene cantidades variables de carbonato de magnesio (MgCO_3) de hasta 30% aproximadamente, es la materia prima para la producción de la cal. Con frecuencia contiene otros compuestos como el óxido de hierro, la alumina, el carbonato de magnesio que se considera beneficioso ya que reacciona paralelamente al carbonato de calcio y ayuda a disminuir la temperatura de calcificación, el dióxido de silicio es una impureza perjudicial ya que reacciona con la cal (CaO) para formar silicatos.

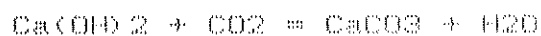
1.2.1 Calcinación:

Después que la piedra caliza se machaca, hasta obtener un tamaño bastante uniforme, se calienta en hornos giratorios a temperaturas cercanas a los 1100 c. La temperatura particular que se selecciona depende de la pureza de la piedra caliza. El calentamiento produce una reacción conocida como calcinación, que puede expresarse por medio de las ecuaciones (Referencia 3):



1.2.2 Endurecimiento de la Cal:

Este proceso se realiza por la reacción de partículas de Ca(OH)_2 con el CO_2 del aire, esta reacción se produce con mayor rapidez cuando se halla presente una cantidad excesiva de agua de tal manera que los compuestos se disuelvan en ella. En esta forma se produce una reacción de fase líquida. La reacción puede escribirse (Referencia 3) :



1.2.3 Cal Viva:

El óxido de calcio (CaO) resultante de la calcinación de la piedra caliza es la cal viva, compuesto que tiene gran avidéz, es decir propensión a la ebullición.

1.2.4 Las Cales Hidratadas:

Se preparan a partir de la cal viva añadiendo una cantidad limitada de agua durante el proceso de fabricación. La cal hidratada se desarrolló a fin de poder ejercer mayor control sobre la temperatura de apagado de la cal.

1.2.5 Granza de Cal:

es el producto de desecho de la calcinación, contiene partículas de CaCO_3 que no alcanzaron las temperaturas necesarias para la calcinación, además de impurezas de la piedra caliza; sus partículas son de un volumen poco homogéneo.

1.3 REACCIONES DE LA ESTRUCTURA SUPERIOR DE UNA CARRETERA EN LA SUBRASANTE Y SU ESTABILIZACION CON CAL

1.3.1 Pavimento:

Es la estructura de una vía terrestre, encargada de transmitir y distribuir las cargas aplicadas al suelo natural con el fin de evitar que este falle.

1.3.2 Capas de un Pavimento:

El pavimento de asfalto típico tiene 4 capas generalmente, estas de superior a inferior son: carpeta de rodadura, base, sub-base y sub-rasante.

Carpeta de Rodadura:

Esta es la encargada de recibir las cargas aplicadas por el tráfico, de proveerle impermeabilidad a la estructura y evacuar rápidamente el agua de la lluvia, además cuando es carpeta tendida absorbe carga (en tratamiento superficial o doble tratamiento no las absorbe).

Base:

Es la capa constituyente de la estructura del pavimento, destinada a distribuir y transmitir las cargas

originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

El material de base debe consistir en piedra o grava de buena calidad, trituradas y mezcladas con material de relleno a fin de tener una distribución granulométrica que oscila entre 0.002 y 60 mm.

Sub Bases:

Es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas del tránsito, de tal manera que el suelo de subrasante las pueda soportar; absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que pueda afectar la base.

La sub-base tiene un espesor de 10 a 70 cm y su material debe estar constituido por suelos de tipo granular en su estado natural o mezclados.

Sub Rasante:

Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecta la carga de diseño que le corresponde al tránsito previsto.

Los suelos que se utilicen en la subrasante deben tener

menos del 3% de hinchamiento en ensayo AASHTO T 193, que no sea orgánico.

1.3.3 Módulo de Reacción de la Subrasante:

Se relaciona presión vs desplazamiento, ya que la estructura de la carretera no se considera rígida pues es antieconómico, por tal razón, en este caso específico, se considera la rigidez del suelo.

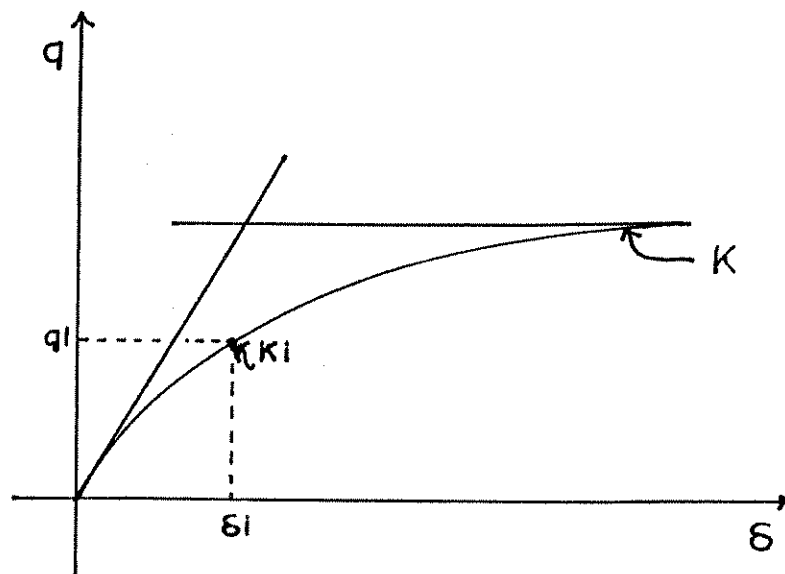
Se asume que el suelo es un medio infinito elástico y se necesita el módulo de reacción de la sub-rasante

$$k=q/\delta$$

k = módulo de reacción de la subrasante

q = presión aplicada

δ = desplazamiento o deformación del suelo



para encontrar la carga se utilizan placas de 30 cm de diámetro (Referencia 4)

$$q=V/A$$

q = presión

V = carga aplicada

A = area

MODULOS K TIPICOS

	RANGO K	VALOR PROPUESTO K
 ARENA SECA O HUMEDA		
Suelta	30 - 90	60
Medio Compacta	90 - 450	195
Densa	450 - 1500	750
 ARENA SATURADA		
Suelta		30
Medio Densa		120
Densa		450
 ARCILLAS		
Firme	75 - 150	113
Muy Firme	150 - 300	225
Dura	mayor a 300	450

Los valores de k están dados en kg/m (Referencia 4).

1.3.4 Estabilización con Cal de la Subrasante:

La razón de estabilizar con cal la subrasante de una carretera es aumentarle su rigidez, esto conlleva el aumento de la capacidad de esta a soportar cargas compresivas y a disminuir las deformaciones que pueda sufrir.

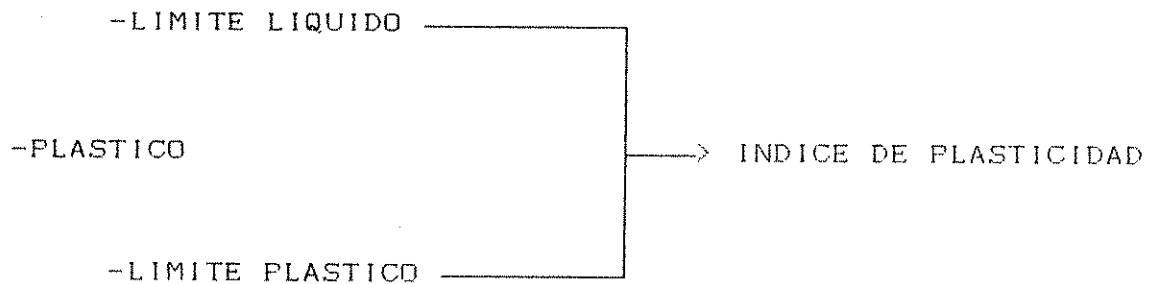
1.4 INFLUENCIA DE LA PLASTICIDAD EN LA SUBRASANTE

Este término describe la propiedad de un suelo de sufrir una deformación irreversible a volúmen constante sin quebrarse o disgregarse. La plasticidad es debida a la presencia de mineral de arcilla en el suelo.

Se conoce con el nombre de consistencia el estado físico de un suelo de grano fino con un determinado contenido de agua, el cual se define como la relación entre masa de agua en el suelo y la masa de partículas sólidas.

Según su contenido de agua, un suelo puede presentarse en estado líquido, plástico, semi-sólido y sólido.

-LIQUIDO



-SEMI-SOLIDO

-SOLIDO

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

1.4.1 Índice de Plasticidad (IP):

El rango de contenido de agua de un suelo en el que se comporta con características plásticas se llama índice de plasticidad; el cual se encuentra entre los límites líquido y plástico.

$$IP = WL - WP$$

IP = Índice de Plasticidad

WL = Peso en estado líquido

WP = Peso en estado plástico

Sin embargo, las transiciones entre los diferentes estados es gradual, lo cual hace definir los límites a líquido y plástico arbitrariamente.

1.4.2 Índice de Liquidez:

Se puede representar el contenido de agua natural (W) de un suelo, con relación a los límites plástico y líquido por medio del índice de liquidez.

$$IL = (W - WP) / IP$$

IL = Índice de liquidez

W = Peso del suelo con contenido natural de agua

WP = Peso del suelo en estado plástico

IP = Índice de plasticidad

CAPITULO II

MARCO EXPERIMENTAL

2.1 RELACION ENTRE PLASTICIDAD Y CAPACIDAD DE SOPORTAR CARGAS COMPRESIVAS

2.1.1 Procedimiento de ensayos de plasticidad

El procedimiento que se utilizó fue hacer ensayos de los límites líquido y plástico con el procedimiento experimental propuesto por Atterberg, además se sometieron pastillas de laboratorio a compresión.

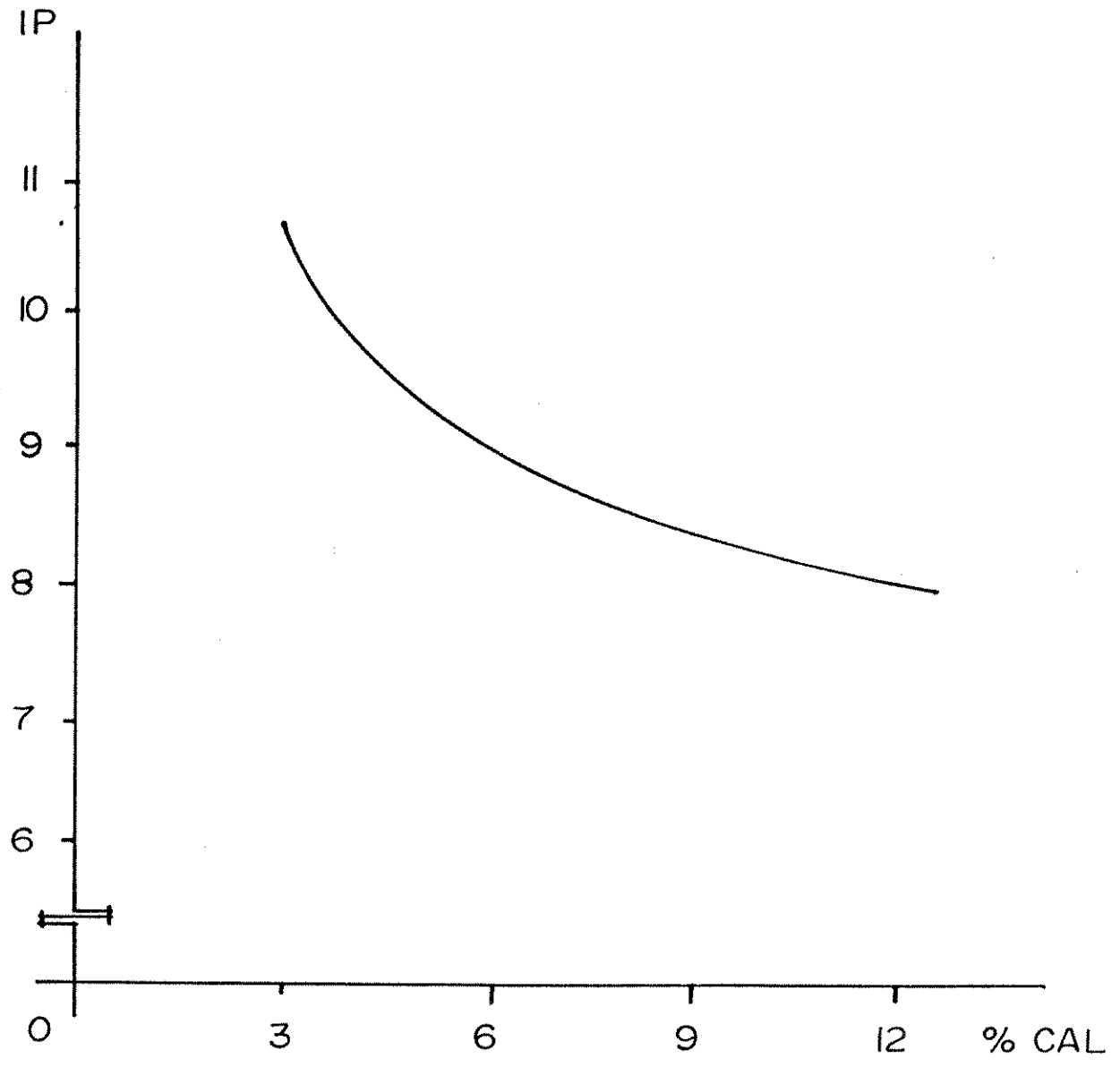
2.1.2 Resultados de ensayos de laboratorio

Los resultados de laboratorio para encontrar el Índice de plasticidad se citan a continuación, para encontrar la capacidad de carga se sometieron pastillas de 57.15 lb.pie de energía de compactación, compactadas con humedad óptima, curadas en sombra durante siete días a compresión no confinada.

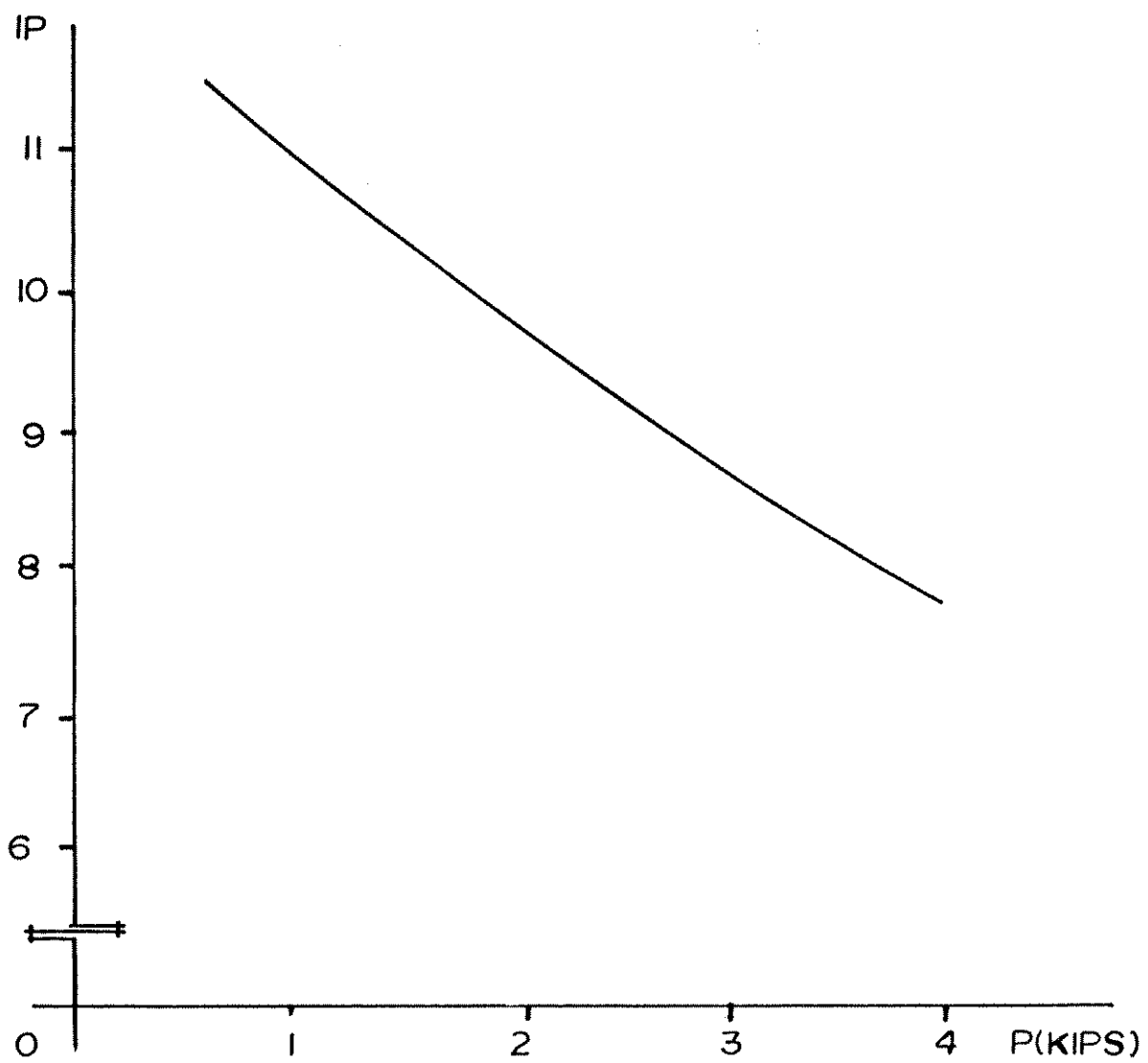
Las dimensiones de las pastillas fueron de 10.16 cm de diámetro, 11.43 cm de altura y 926.67 cm³ de volumen.

Debido a las dimensiones de las pastillas las lecturas a compresión tienen una relación directa con el esfuerzo de 1 kip de lectura equivale a un esfuerzo de 5.41 kg/cm².

Los resultados cuantitativos se encuentran en la sección de anexos.



RELACION DE INDICE DE PLASTICIDAD Y % DE CAL



RELACION DE INDICE DE PLASTICIDAD Y CARGA ULTIMA

2.2 EL SUELO SOMETIDO A DISTINTAS CONDICIONES Y SU CAPACIDAD DE SOPORTAR CARGAS COMPRESIVAS

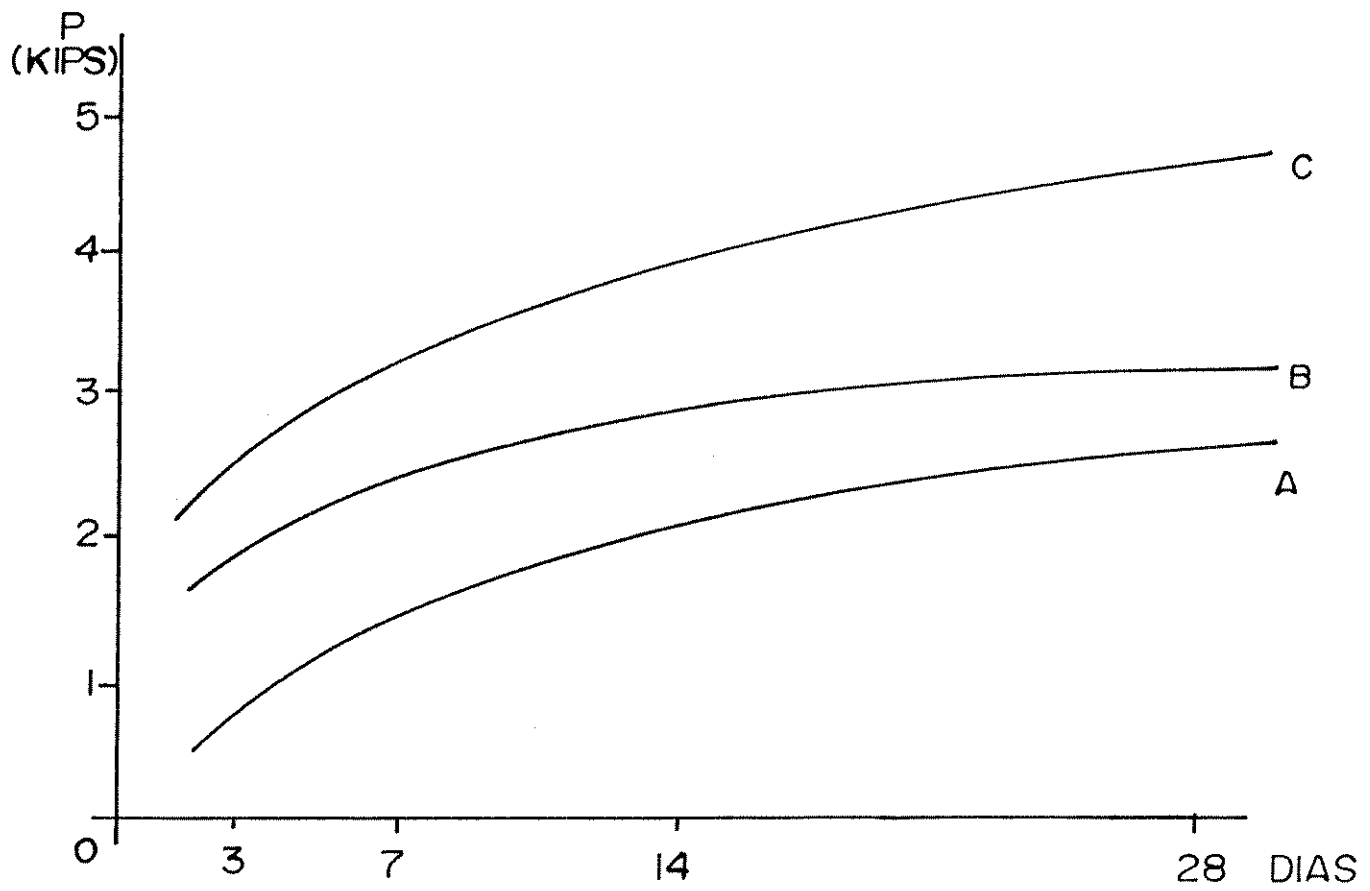
El procedimiento que se utilizó fué someter pastillas de laboratorio a compresión no confinada, variando una de sus características y manteniendo iguales las otras, y los resultados de este cambio compararlos por medio de graficas; 1 kip= 438.60 kg. y 1 lb.pie= 0.134 joules.

Las dimensiones de las pastillas son 10.16 cm de diámetro, 11.43 cm de altura y un volumen de 926.67 cm³

Debido a las dimensiones de las pastillas existe una relación directa entre lectura y esfuerzo unitario a compresion de 1 kip de lectura equivale a 5.41 cm² de esfuerzo.

La humedad óptima en ensayo de proctor standard es de 20% de contenido de agua.

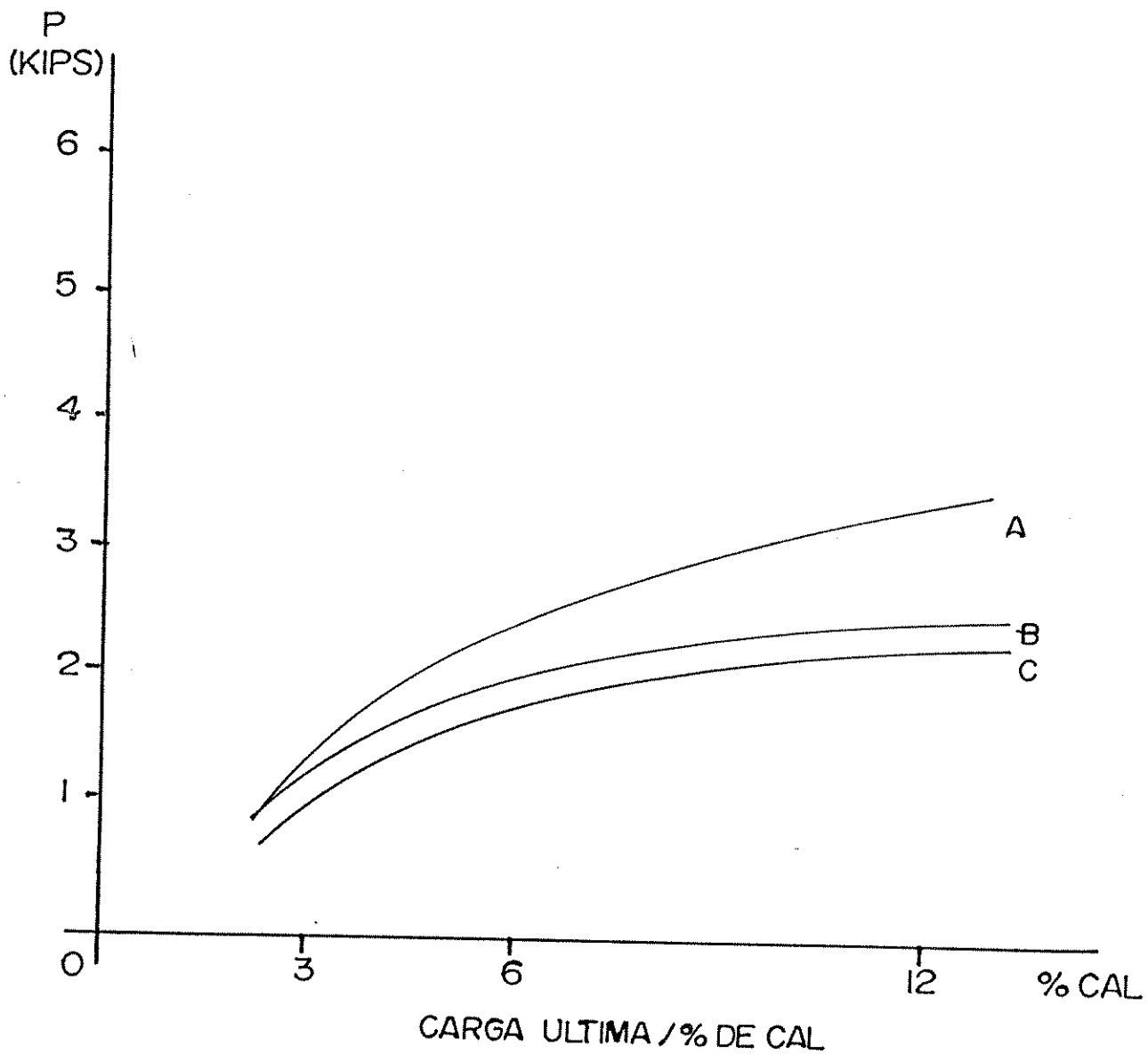
Los resultados cuantitativos se encuentran en la sección de anexos.



CARGA ULTIMA / TIEMPO

COMPARACION DE DISTINTOS PORCENTAJES DE CAL

CURVA	PORCENTAJE DE CAL (%)
A	3
B	6
C	12

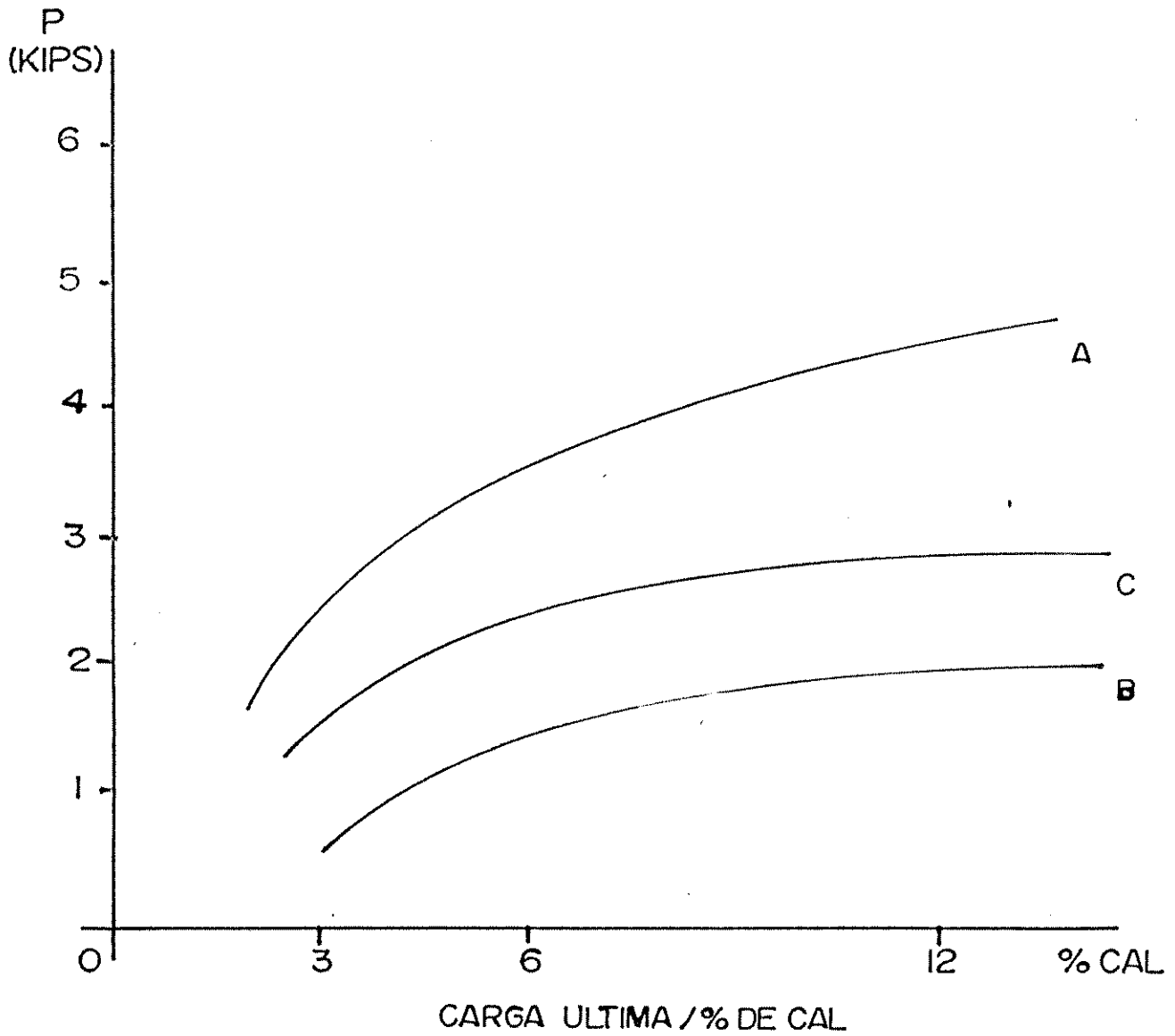


COMPARACION DE DISTINTOS AMBIENTES DE CURADO

EDAD 7 DIAS

CURVA	AMBIENTE
A	SOMBRA
B	INTERPERIE
C	CAMARA HUMEDA

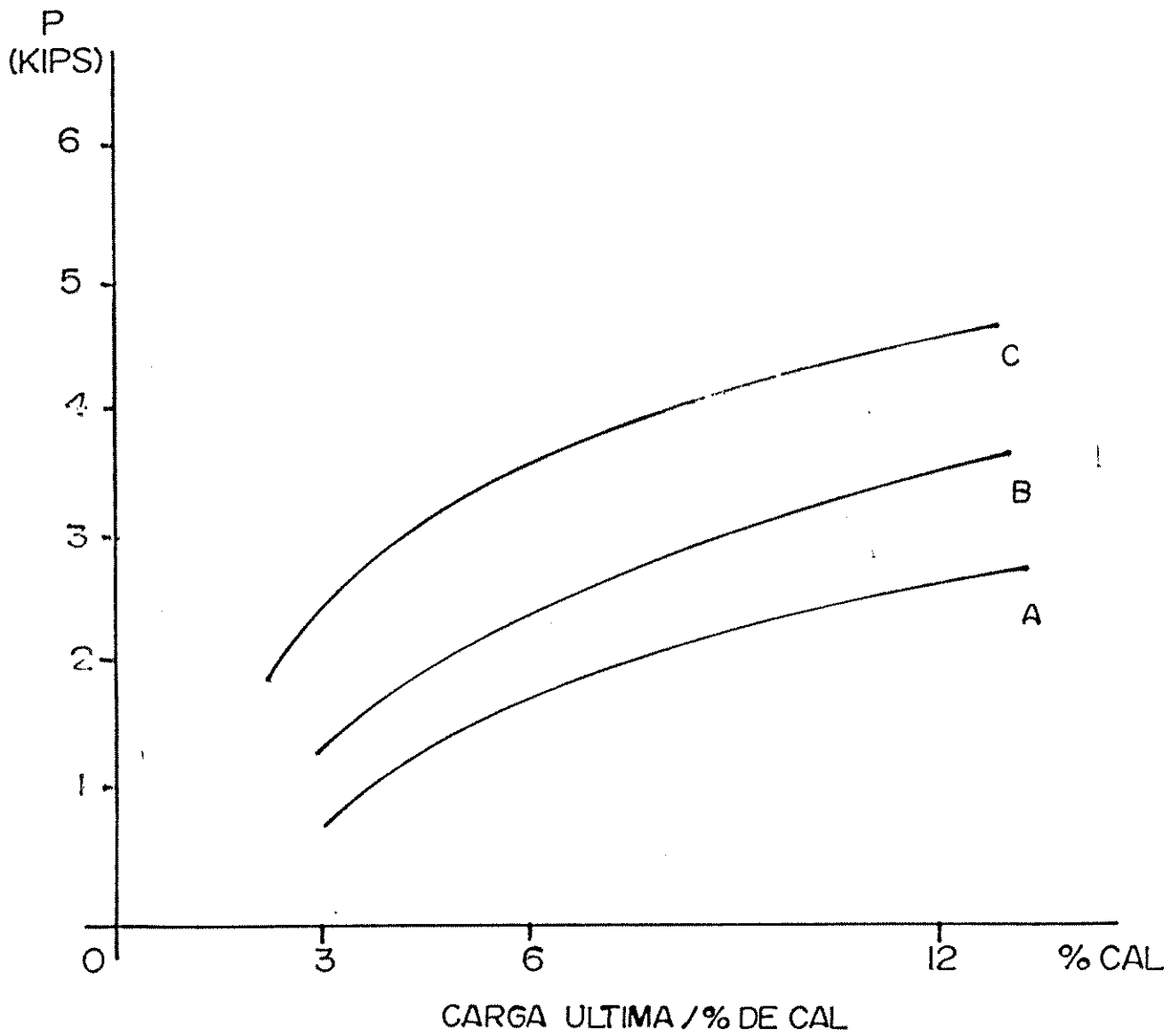
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



COMPARACION DE DISTINTOS AMBIENTES DE CURADO

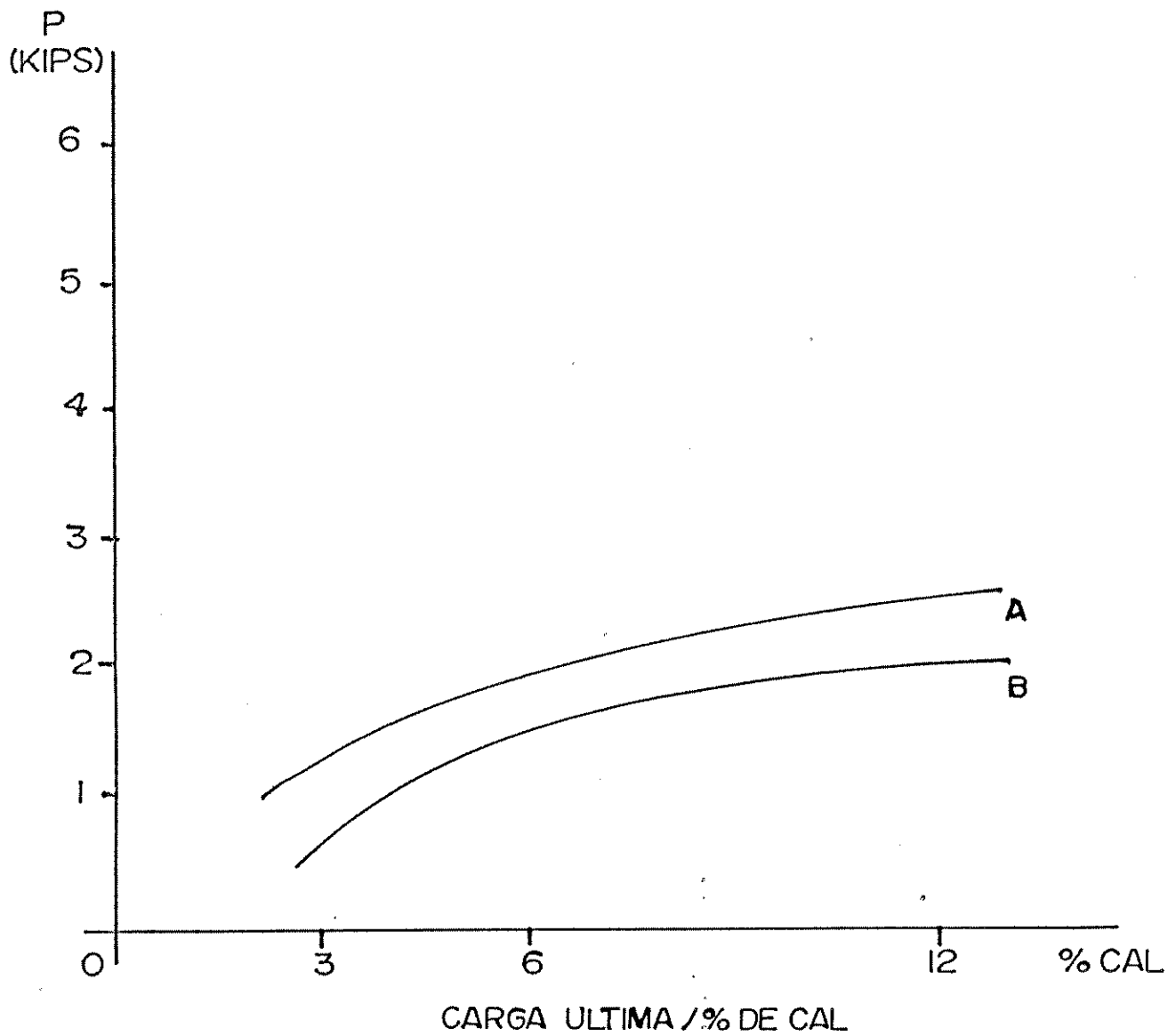
EDAD 28 DIAS

CURVA	AMBIENTE
A	SOMBRA
B	INTEMPERIE
C	CAMARA HUMEDA



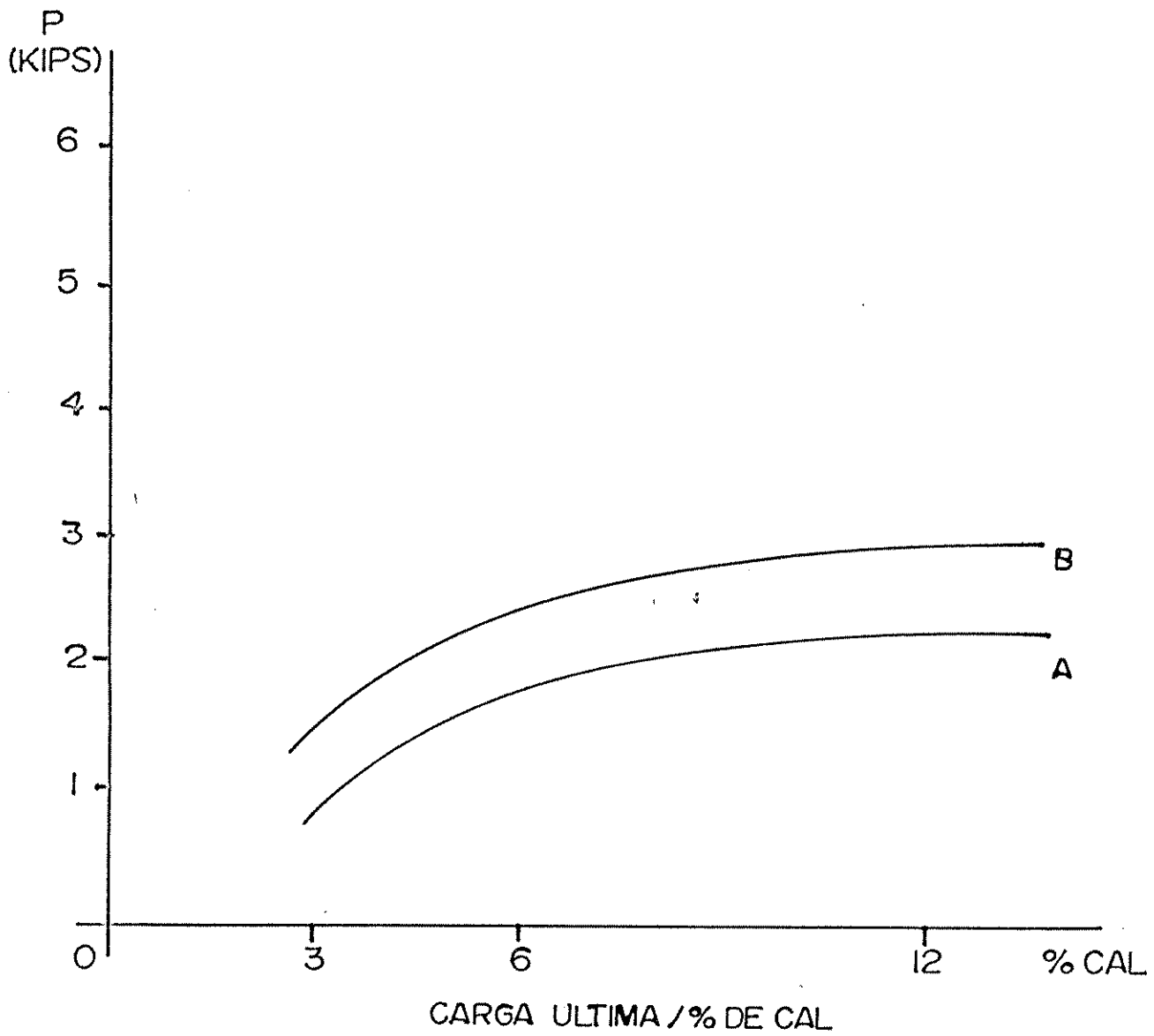
COMPARACION DE EDADES DE CURADO EN SOMBRA

CURVA	EDAD (días)
A	3
B	7
C	28



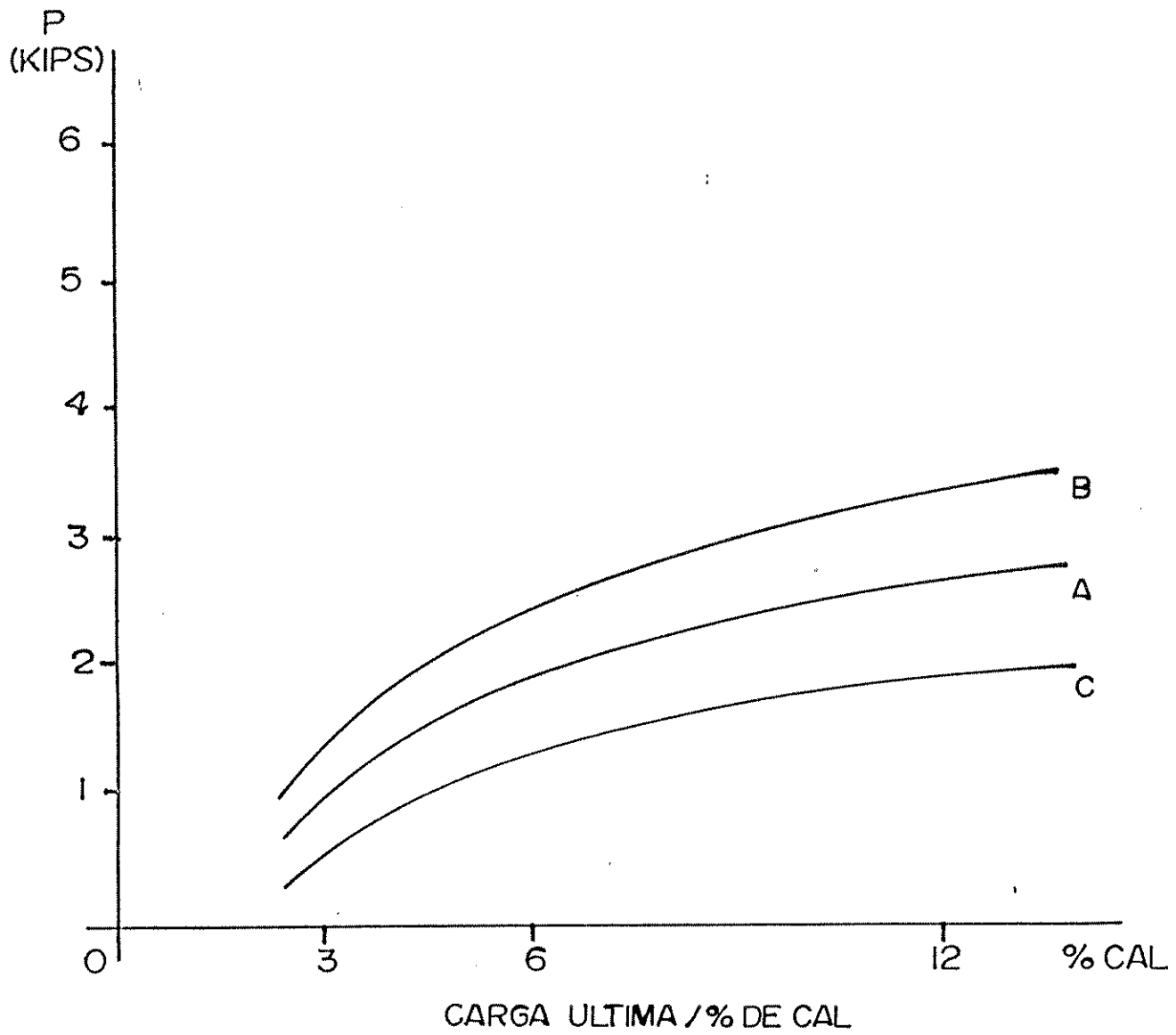
COMPARACION EDADES DE CURADO EN INTEMPERIE

CURVA	EDAD (d(as))
A	7
B	28



COMPARACION EDADES DE CURADO EN CAMARA HUMEDA

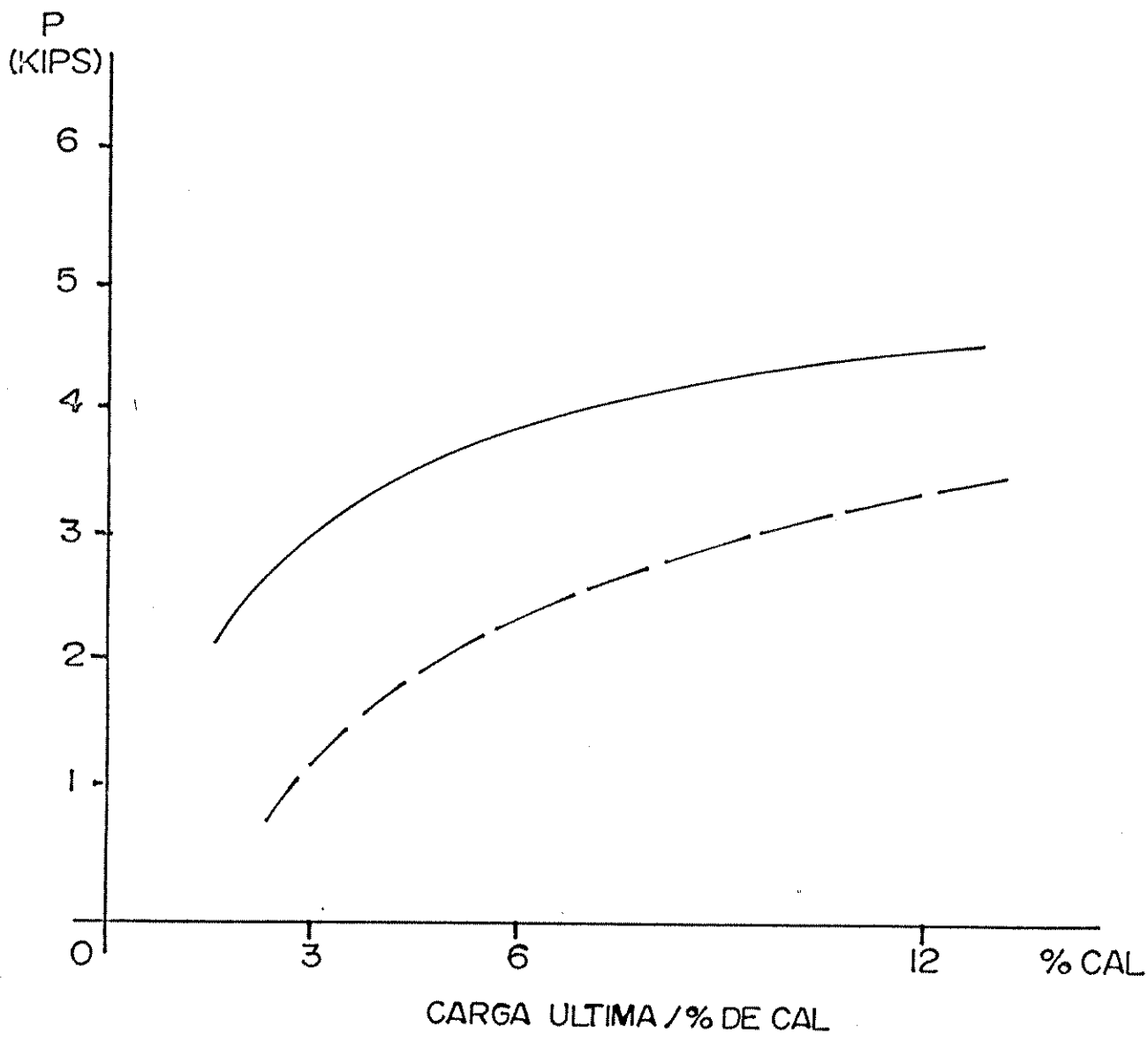
CURVA	EDAD (días)
A	7
B	28



COMPARACION DE DISTINTAS HUMEDADES DE COMPACTACION

EDAD 7 DIAS

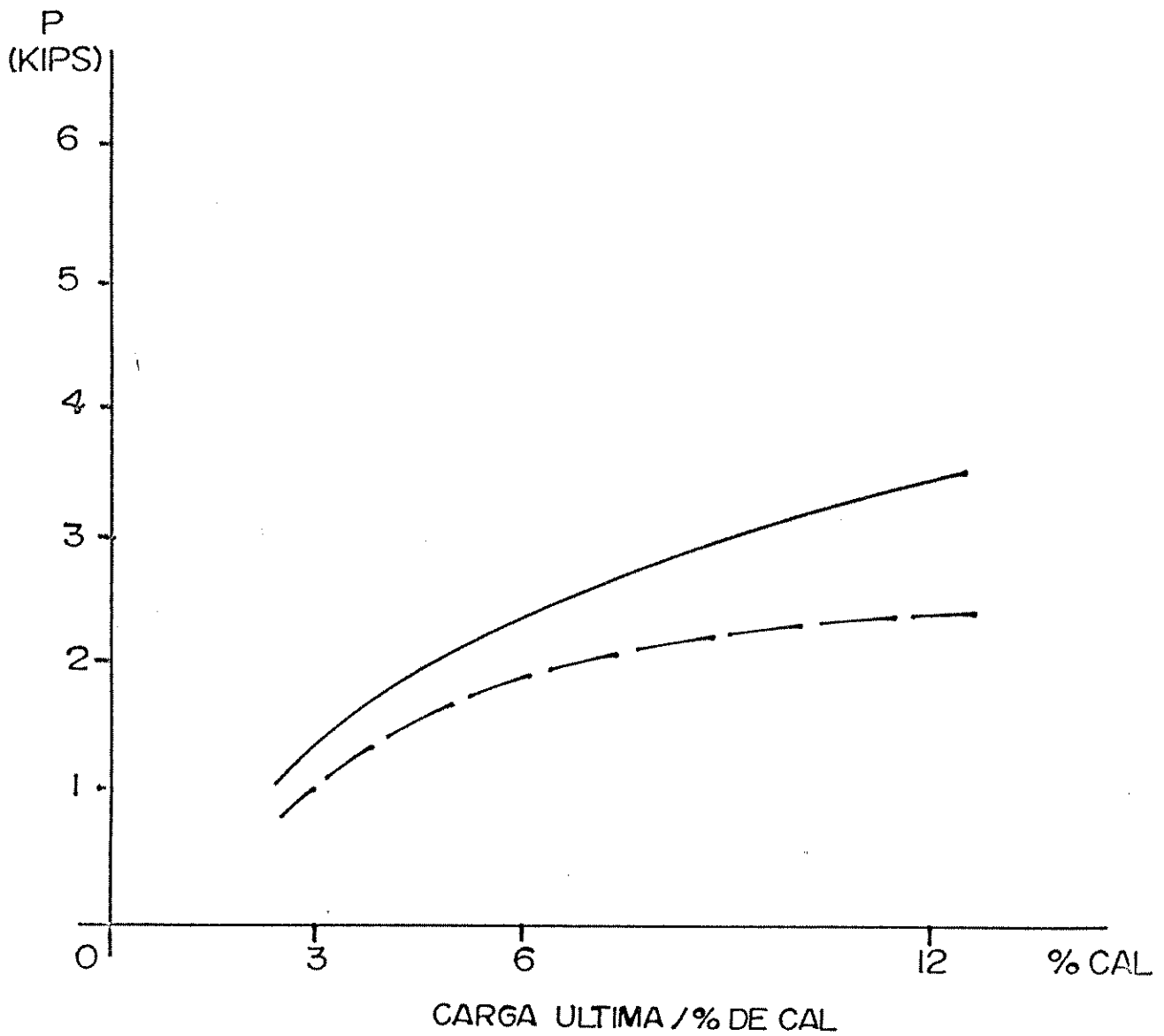
CURVA	% HUMEDAD
A	15
B	20
C	25



CARGA ULTIMA /% DE CAL
COMPARACION DE DISTINTAS ENERGIAS DE COMPACTACION
 EDAD 7 DIAS

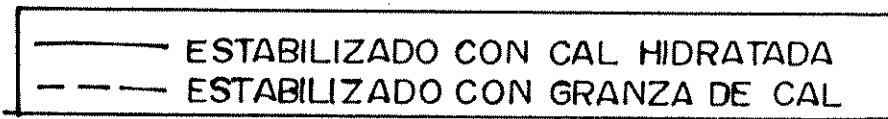
- - - COMPACTADO CON PROCTOR NORMAL
 ——— COMPACTADO CON PROCTOR MODIFICADO

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 Biblioteca Central



COMPARACION DE DISTINTOS TIPOS DE CAL

EDAD 7 DIAS



CAPITULO III

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- 1- La disminución del índice de plasticidad (IP) y el aumento de la capacidad de soportar cargas compresivas, debido al aumento del porcentaje de cal en ambos casos, su comportamiento tiende a ser lineal y mejor capacidad soporte del suelo.
- 2- Mediante la evaluación de resultados de los ensayos de laboratorio, se concluye que un suelo tratado, en los primeros días alcanza una mayor capacidad de carga debido a la reacción química suelo-cal.
- 3- Para que un suelo adquiera mayor capacidad de carga y rigidez, se le debe aplicar un porcentaje de cal adecuado y debe compactarse con la humedad óptima y proveérle mayor energía de compactación dado sea el caso.
- 4- Desde el punto de vista de condiciones climatológicas, cuando éste es hostil, su incidencia es negativa en la disminución de la capacidad de soportar cargas compresivas de el suelo.
- 5- En relación al uso de granza de cal y cal para estabilización del suelo, se obtienen mejores resultados en resistencia compresiva con cal y esto es a causa de la mayor homogeneidad de la cal que hace contacto con el suelo.

CAPITULO IV
RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- 1- Se recomienda continuar con la construcción de las capas superiores de la carretera entre un rango de seis y catorce días después de compactada la subrasante, debido a las conclusiones antes indicadas.
- 2- Es recomendable construir la subrasante en temporada en que los efectos climatológicos no sean muy hostiles.
- 3- Debe de mantenerse un estricto control con la humedad de compactación requerida por el ensayo Proctor Modificado.

REFERENCIAS

- 1- CRAIG, Robert F. Mecánica de Suelos. Estados Unidos. Editorial Logos. 1973.
- 2- COPIAS DEL CURSO DE CIMENTACIONES. Ing Hector Valdez Arandi. Universidad Del Valle. 1997.
- 3- KEYSER, Carl A. Ciencia de los Materiales para Ingeniería. Estados Unidos. Editorial Limusa. 1975.
- 4- COPIAS DEL CURSO DE GEOTECNIA. Ing Hector Valdez Arandi. Universidad Del Valle. 1997.

BIBLIOGRAFIA

- 1- DIRECCION GENERAL DE CAMINOS, Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes. Guatemala. Impresos industriales. 1975.
- 2- CRAIG, Robert F. Mecánica de Suelos. Estados Unidos. Editorial Logos. 1973.
- 3- KEYSER, Carl A. Ciencia de los Materiales para Ingeniería. Estados Unidos. Editorial Limusa. 1975.
- 4- MERRITT, Federick. MANUAL DEL INGENIERO CIVIL, tomo 3, México, Ingramex, 1991.
- 5- COPIAS DEL CURSO DE CIMENTACIONES. Ing Hector Valdez Arandi. Universidad Del Valle. 1997.
- 6- COPIAS DEL CURSO DE GEOTECNIA. Ing Hector Valdez Arandi. Universidad Del Valle. 1997.

ANEXOS

DATOS DE LABORATORIO - HUMEDAD Y PLASTICIDAD

LIMITE	GOLPES	TARRO	PBH (gr)	PBS (gr)	TARA	% CAL
LL	17	A52	43.30	39.70	24.0	3
LP		C02	38.20	34.14	22.0	3
LL	16	A49	38.00	33.48	23.5	6
LP		C12	29.90	27.96	22.3	6
LL	16	011	37.10	33.33	24.5	9
LP		A17	30.22	28.47	23.7	9
LL	16	016	31.80	28.85	21.5	12
LP		B06	28.20	26.62	22.0	12

LL = Límite Líquido
 LP = Límite plástico

RESULTADOS DE LIMITES DE ATTERBERG

% CAL	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
3	44.046	33.396	10.65
6	43.520	34.211	9.309
9	44.938	36.208	8.730
12	42.354	34.123	8.231

RELACION ENTRE PLASTICIDAD Y PORCENTAJE DE CAL

PORCENTAJE DE CAL (%)	INDICE DE PLASTICIDAD
3	10.65
6	9.31
9	8.73
12	8.231

RELACION ENTRE PLASTICIDAD Y CARGA ULTIMA

PORCENTAJE DE CAL (%)	CARGA ALCANZADA A 7 DIAS (KIPS)	INDICE DE PLASTICIDAD
3	1.4	10.65
6	2.4	9.31
9	-----	8.73
12	3.4	8.231

LECTRAS A COMPRESION - CURADO A SOMBRA

CURVA	PORCENTAJE DE CAL (%)	3 DIAS (KIPS)	7 DIAS (KIPS)	14 DIAS (KIPS)	28 DIAS (KIPS)
A	3	0.8	1.4	2.0	2.5
B	6	1.8	2.4	2.5	2.9
C	12	2.6	3.4	3.7	4.5

LECTURAS A COMPRESION (KIPS) - CAMARA DE HUMEDAD

CURVA	EDAD (DIAS)	3% CAL	6% CAL	12% CAL
A	7	0.9	1.8	2.3
B	28	1.5	2.5	2.8

LECTURAS A COMPRESION (KIPS) - INTEMPERIE

CURVA	EDAD (DIAS)	3% CAL	6% CAL	12% CAL
A	7	1.4	3.9	2.5
B	28	0.6	1.5	2.0

LECTURAS A COMPRESION (KIPS) - A 7 DIAS

CURVA	ENERGIA DE COMPACTACION (lb.pie)	3% CAL	6% CAL	12% CAL
A	51.56	1.4	2.4	3.4
B	312.5	3.0	3.9	3.9

LECTURAS A COMPRESION (KIPS) - A 7 DIAS

CURVA	TIPO DE CAL	3% CAL	6% CAL	12% CAL
A	HIDRATADA	1.4	2.4	3.4
B	GRANZA	1.1	2.0	2.9

LECTURAS A COMPRESION (KIPS) - A 7 DIAS

CURVA	HUMEDAD DE COMPACTACION (%)	3% CAL	6% CAL	12% CAL
A	15	1.2	1.6	---
B	20	1.4	2.0	2.5
C	25	0.6	1.2	1.9

LECTURAS A COMPRESION (KIPS) - A 28 DIAS

CURVA	CURADO	3% CAL	6% CAL	12% CAL
A	SOMBRA	2.5	2.9	4.5
B	INTENPERIE	0.6	1.5	2.0
C	CAMARA HUMEDA	1.5	2.5	2.8

LECTURAS A COMPRESION (KIPS) - A SOMBRA

CURVA	EDAD (DIAS)	3% CAL	6% CAL	12% CAL
A	3	0.8	1.8	2.6
B	7	1.4	2.4	3.4
C	28	2.5	2.9	4.5

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central