

0685

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EFFECTOS DEL TRANSITO DE VEHICULOS SOBRE LAS
CARACTERISTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LOS
SUELOS

T E S I N A

PRESENTADA COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA
MECANICA DE SUELOS POR:

MARTHA LIA AGUDELO RAMIREZ

MEXICO, OCTUBRE, 1982.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEPT

T. UNAM
1982
AGU



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA

Al Coordinador de la Sección de Mecánica de Suelos,
P r e s e n t e

Por medio del presente proponemos el siguiente tema para ser desarrollado por al Señorita Ingeniero Martha Lia Agudelo Ramírez, como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ingeniería (Mecánica de Suelos)

"Efectos del tránsito de vehículos sobre las características de compresibilidad de los suelos"

Los puntos a desarrollar son:

1. Planteamiento del problema
 2. Evidencias del problema
 3. Resultados experimentales de la literatura
 4. Una propuesta de investigación del problema
 5. Conclusiones y recomendaciones
- . Extensión: 20 páginas
. Plazo: 30 días

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

DR. LEONARDO ZEEVAERT WIECHERS

DR. EULALIO JUAREZ BADILLO

M en I J. ABRAHAM DIAZ RODRIGUEZ

Oct 6, 1982

I N D I C E

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	iv
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
2. EVIDENCIAS DEL PROBLEMA	5
3. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA LITERATURA	10
4. UNA PROPUESTA DE INVESTIGACION DEL PROBLEMA	17
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
REFERENCIAS	20

I N T R O D U C C I O N

Como consecuencia de una aplicación y remoción sucesiva de carga, o aplicación y remoción súbita de carga, se produce una perturbación del equilibrio estático de la masa de suelo, razón por la cual se genera la vibración de dicha masa. Las vibraciones podemos caracterizarlas por: la frecuencia expresada generalmente en términos de ciclos por unidad de tiempo (Hz), la amplitud o distancia entre la posición de equilibrio y la posición extrema, y la velocidad de la onda que puede definirse como la longitud de onda por la frecuencia.

Una de las disciplinas que más se ha interesado en el estudio de los efectos producidos por el tránsito de vehículos, es la de Diseño de Pavimentos, como consecuencia del incremento del tránsito, especialmente de vehículos pesados, cuyas vibraciones pueden producir daños en estructuras adyacentes observándose especial susceptibilidad en monumentos históricos y edificios.

Este trabajo, enfocado hacia suelos cohesivos, en un primer capítulo, presenta el planteamiento del problema expresando los diferentes factores que afectan la frecuencia de las vibraciones a través de la masa de suelo. En un segundo capítulo titulado evidencias del problema se resumen algunos casos - en los cuales se han producido asentamiento como consecuencia de las vibraciones, llegando incluso a producirse daños en las estructuras. Luego se presentan algunos resultados experimentales de la literatura y finalmente se hace una propuesta de investigación del problema, dado que es un tema que -- apenas empieza a estudiarse y aún hay muchos puntos por aclarar.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tránsito de vehículos transmite al suelo:

- Cargas transitorias de magnitud variable, según el peso del vehículo, a intervalos de tiempos diferentes dependiendo de la velocidad y el volumen de tránsito, punto A de la Fig. 1.1.
- Vibraciones cuyas ondas se transmiten a través de la masa de suelo; dichas ondas chocan con las cimentaciones de las estructuras vecinas provocando vibraciones forzadas en ellas, por lo cual el suelo a los lados de la vía, punto B de la Fig. 1.1, va a estar sometido a la perturbación directa de las ondas y a la perturbación provocada por la vibración de las estructuras colocadas sobre él.

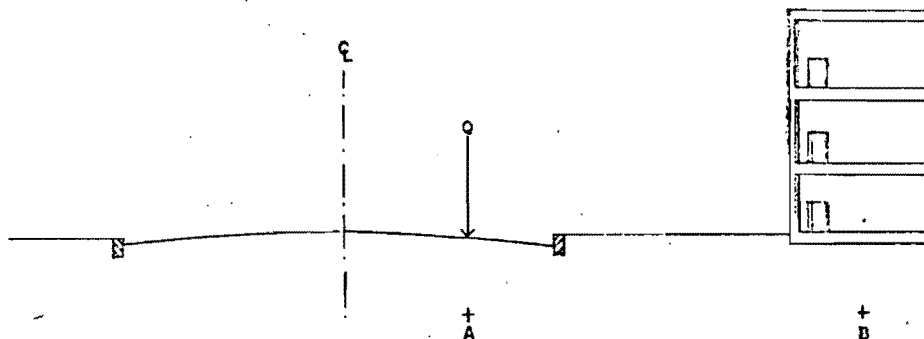


Fig. 1.1 Corte transversal de una vía

No es posible caracterizar en forma única las vibraciones; ya que la frecuencia y amplitud de las mismas va a depender de:

a. Características de la fuente de vibración

- Peso y velocidad del vehículo: La Fig. 1.2 ilustra el efecto de cada factor por separado.

De la Fig. 1.2 podemos concluir: a mayor peso del vehículo mayor amplitud de la vibración resultante, y para velocidades entre 22 y 40 M.P.H., la amplitud permanece constante.

- Frenado y aceleración: De las mediciones mostradas en la Fig. 1.3 podemos concluir como, para la misma velocidad, las vibraciones producidas por frenado fuerte fueron menores que las producidas por tránsito normal.

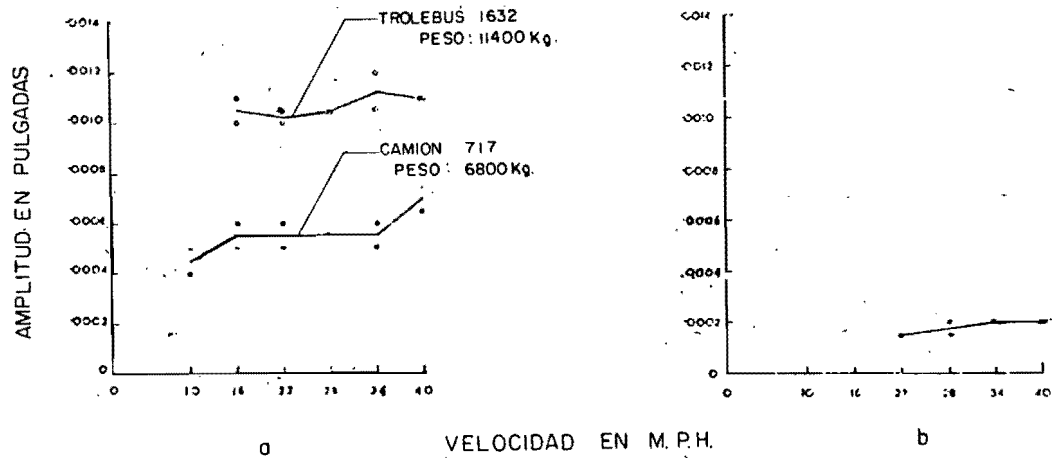


Fig. 1.2 a) Componentes verticales de las vibraciones verticales producidas por vehículos de diferentes pesos. b) Relación entre la velocidad y la amplitud (Sutherland, 1950).

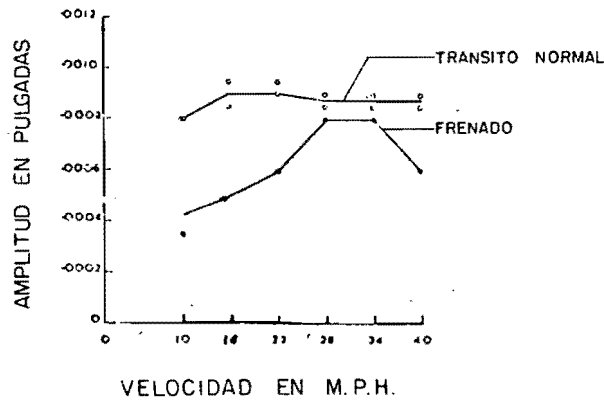


Fig. 1.3 Comparación de la amplitud de las vibraciones para tránsito continuo y frenado (Sutherland, 1950).

Las vibraciones resultantes de la aceleración son similares a las de tránsito con velocidad constante.

- Volumen de tránsito: El efecto de la vibración aumenta con la intensidad del tráfico.
- Estado del vehículo: Las vibraciones ocasionadas por los vehículos aumenta como consecuencia de mal balanceo de las llantas y mal estado de la suspensión.

b. Características de la vía:

- Espesor de la capa de rodaje: Se presenta una vibración ligeramente más leve cuando se tiene mayor espesor de la capa de rodaje.
- Calidad de la superficie: Una calzada a nivel con buen acabado hace más débiles las vibraciones en sentido horizontal perpendicular al eje de la vía, que son las que afectan la masa de suelo a los lados de la misma.

Las irregularidades en la superficie es el factor que más afecta la amplitud de las vibraciones. En la Fig. 1.4 podemos visualizar este efecto, habiéndose simulado los defectos de la superficie de rodaje mediante ligeros brin-cos de los vehículos en rampas de $1 \frac{1}{8}$ " , $2 \frac{1}{16}$ " y $3 \frac{1}{16}$ " de altura.

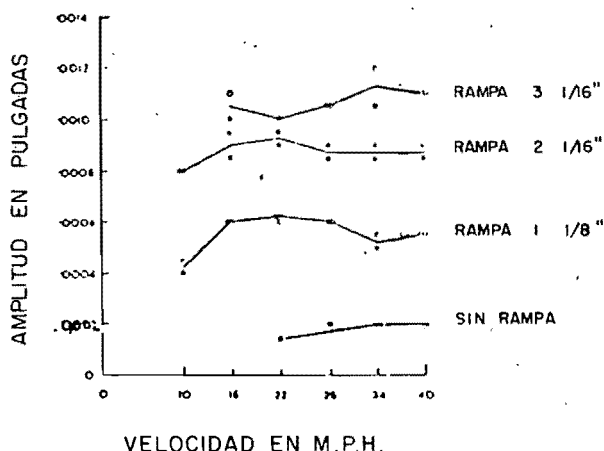


Fig. 1.4 Comparación de la amplitud para diferentes tamaños de rampa (Sutherland, 1950)

- Distancia del punto en estudio al lugar donde se produce la excitación: En la Fig. 1.5 se puede observar que la vibración es amortiguada con la distancia.

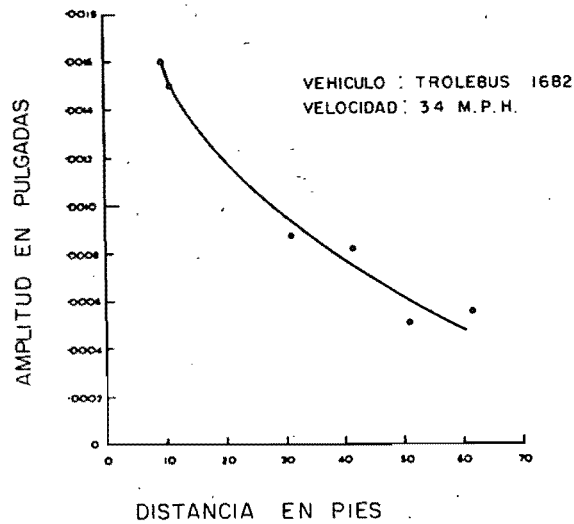


Fig. 1.5 Vibración de la amplitud con la distancia del punto de observación a la línea central del vehículo. (Sutherland, 1950).

- c. Tipo de suelo a través del cual se propagan las ondas: tanto ensayos de laboratorio como mediciones de campo han demostrado que las vibraciones tienen mayor efecto en arenas que en arcillas y limos cohesivos.

Los factores anteriores unidos a los fenómenos de reflexión, refracción e influencia recíproca de diferentes ondas que se propagan a velocidades y frecuencias variables, originan un proceso complicado de vibración del suelo -- difícil de expresar con una Ley determinística.

2. EVIDENCIAS DEL PROBLEMA

El planteamiento anterior parece llevar implícita la aceptación de que no se trata sólo de un problema técnico, sino que también lo es práctico, sin embargo creo necesario poner de manifiesto casos reales que evidencien el efecto del tránsito de vehículos sobre la compresibilidad de los suelos.

Como consecuencia del poco estudio que este problema ha tenido hasta ahora - en suelos cohesivos, pocas evidencias se encuentran reportadas; quedando muchas de ellas en conocimiento de testigos oculares, por lo que dicha información no es de fácil acceso.

Los casos presentados han tratado de exponerse en la forma más completa posible dentro de los límites que la información obtenida lo permite.

a. Caso de Winnipeg, Manitoba, Canadá, 1950 (Ref. 3)

Origen del estudio: las quejas recibidas sobre los efectos de las vibraciones desde la introducción de trolebuses y camiones de pasajeros en -- Winnipeg, de propietarios de toda la ciudad, concentrándose la mayoría - de ellas en las vías de las rutas principales, unidas a la duda ya existente de que el uso de vehículos pesados pudiese producir daños como consecuencia de las vibraciones.

Daños observados: Fueron inspeccionadas las casas adjuntas a una vía; - ellas presentaban grietas en los pisos y muros divisorios. Algunos -- propietarios afirmaban que estos daños habían aparecido sólo desde el -- tránsito de los trolebuses. Se observó además que casas construídas - en tiempos en que ya estaban funcionando los trolebuses también presentaban deterioro.

Objeto del estudio: -Estudiar los factores que afectan las vibraciones; para este estudio se efectuaron las mediciones directamente en el campo en puntos de observación en una casa aledaña a la vía; se utilizó un trolebus con peso de 11.400 Ks. y un camión de gasolina con peso de 6.800 - Ks. Los resultados de dichas mediciones pueden verse en las Fig. 1.2, 1.3, 1.4, y 1.5.

- Observar los daños producidos por las vibraciones en las estructuras: - De las observaciones se vió que durante el período de mediciones no se - presentaron nuevos daños, pero si fueron afectadas aquellas estructuras que ya presentaban deterioro.

Características del Suelo: Estratigrafía

Tipo de Suelo	Prof Ms
arcilla blanda con materia org.	1
arcilla limosa	2
arcilla café	3
arcilla ocre	4
arcilla dura con vetas café	5
	6
	7
	8
	9
arcilla azul	10
	11
	12
	13
	14
	15
arcilla semi-dura	16
arcilla dura	17
roca caliza	18
	19
	20

Conclusiones: Dado que el suelo de Winnipeg está sometido a cambios en el contenido de agua, el sucesivo secado y humedecimiento produce -- los mismos daños observados y atribuidos a las vibraciones, lo que dificulta saber cuál fue la causa del deterioro inicial de la estructura, -- pero sí se pudo concluir que sí es posible que las vibraciones causen -- daño en aquellas construcciones con daños ya existentes.

b. Estudio efectuado en Ontario Canadá, 1973 (Ref. 5)

Se efectuaron mediciones de asentamientos en las vías, encontrándose -- discrepancia de dichos datos con los valores de los asentamientos calculados por la teoría de consolidación bajo carga estática. Como consecuencia de lo anterior se obtuvo una solución teórica para el proceso de consolidación bajo carga cíclica.

Conclusiones: Se encontró que la relación de consolidación a cualquier profundidas a través del estrato de suelo, considerando un estrato drenado por una sola cara era:

Para el período de carga:

$$U_2 = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{2m+1} S_{Em} \left(M \frac{z_1}{H} \right) \left[\frac{e^{\alpha_m (T_1 - t_1)} - e^{\alpha_m (T - t_1)}}{1 - e^{\alpha_m T}} - \frac{e^{-\alpha_m (t - T_1)} - e^{-\alpha_m (t - T)}}{1 - e^{\alpha_m T}} + e^{-\alpha_m t} \right] \quad (1)$$

Para el período de descarga:

$$U_2 = \frac{4}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{2m+1} S_{Em} \left(M \frac{z_1}{H} \right) \left[\frac{e^{\alpha_m (T - T_1 - t_2)} - e^{\alpha_m (T - t_2)}}{1 - e^{\alpha_m T}} + \frac{e^{\alpha_m (t - T_1)} - e^{-\alpha_m (t - T)}}{1 - e^{\alpha_m T}} - e^{-\alpha_m t} \right] \quad (2)$$

$$M = (2m+1) \frac{\pi}{2} \quad z_1 = \frac{z}{H} \quad \alpha_m = \frac{C_v M^2}{H^2}$$

- Si en la ecuación (1) suponemos carga sostenida, es decir, se hace $T_1 = T$ se tiene

$$U_2 = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{2m+1} S_{Em} (2m+1) \frac{\pi}{2} \frac{z}{H} e^{-\frac{C_v (2m+1)^2 \pi^2}{4H^2} t}$$

que es la ecuación de consolidación de Terzaghi.

- Si suponemos que el tiempo tiende a infinito, la relación de consolidación siempre será menor de uno, es decir, para carga cíclica no se alcanza el 100% del proceso hidrodinámico expresado por la ecuación de Terzaghi.

- c. Casos expuestos en el XV Congreso Mundial de Carreteras, 1975 (Ref. 7)
 - La Villa de Farnesina en Roma presentaba cada vez más deterioro hasta que se aisló de las vibraciones del tránsito, con lo cual fue salvado el edificio.

 - En Japón es común encontrar daños producidos por el tránsito de vehículos debido a que la población se concentra en las planicies aluviales formadas por lo general por suelo blando.

- d. Entre las evidencias testimonio de personas se puede citar:
 - Caso de Cuba (Profesor Abraham Díaz R., 1982): Un edificio destinado a museo, cimentado sobre suelo cohesivo construido a fines del siglo XIX, se mantuvo en perfecto estado a través del tiempo hasta principios de la década del setenta cuando empezaron a aparecer grietas, señal inconfundible de asentamientos diferenciales, habiendo coincidido dichas grietas con la apertura al paso de tranvías por la vía aledaña al museo, pudiéndose concluir que las vibraciones producidas por estos vehículos fueron las causantes de los daños.

 - Caso de la Ciudad de México (Profesor Leonardo Zeevaert W., 1982): En esta ciudad se registran casos como los anteriores, especialmente en la zona del lago cuyo subsuelo está formado hasta profundidades de 35 a 50 Mt. por sedimentos finos de alta compresibilidad intercalados con pequeños estratos de arena, siendo además, una zona donde hasta principios de siglo existió tránsito de tranvías y en la actualidad el tránsito de vehículos es prácticamente constante durante las 24 horas del día.

Como ejemplo palpable de esto, pueden observarse los hundimientos en las zonas marcadas con un círculo en la Fig. 2.1

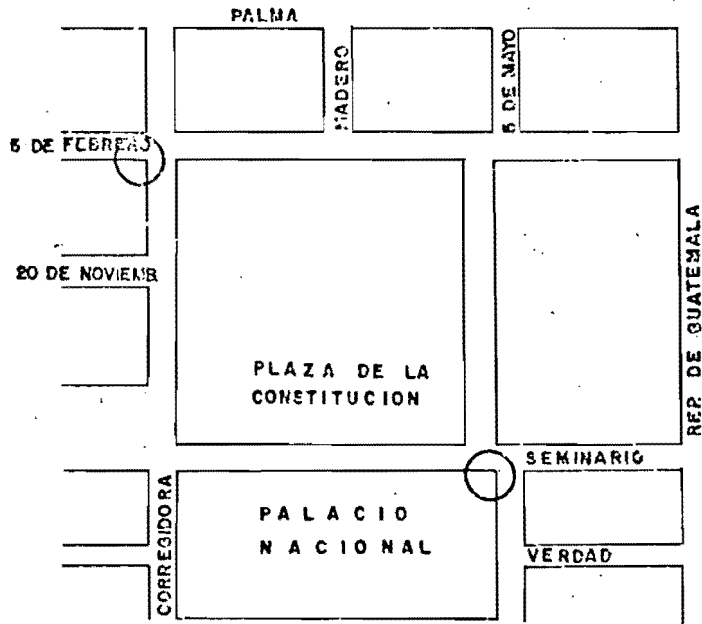


Fig. 2.1 Localización de algunos casos cuyo asentamiento está influenciado por el tránsito de vehículos



DEPFI

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA LITERATURA

a. Efecto de carga repetida en las características esfuerzo-deformación de arcillas compactadas (Ref. 2)

Objeto del Estudio: Comparar los efectos de carga repetida y carga sostenida en las características esfuerzo-deformación, y estudiar el efecto de la magnitud y frecuencia de esfuerzos aplicados, en la deformación de muestras parcialmente saturadas sujetas de 50.000 á 100.000 aplicaciones de esfuerzo.

Tipo de Suelo: Arcilla de Vicksburg Mississippi. Límite líquido 37 y límite plástico 23; muestras compactadas parcialmente saturadas, grado de saturación de 92% a 97%.

Pruebas y Resultados:

- Comparación del efecto de carga repetida y carga sostenida en la deformación del suelo: Para estudiar si había diferencia entre los efectos de carga sostenida y carga repetida en la deformación del suelo se tomaron muestras de suelo sometiénolas a esfuerzo axial aplicado en incrementos iguales hasta que el esfuerzo fue igual a una proporción de $\frac{q_u}{3}$ predeterminada, este esfuerzo fue sostenido en algunas muestras mientras otras fueron sucesivamente cargadas y descargadas. La Fig. 3.1 muestra resultados de estos ensayos.

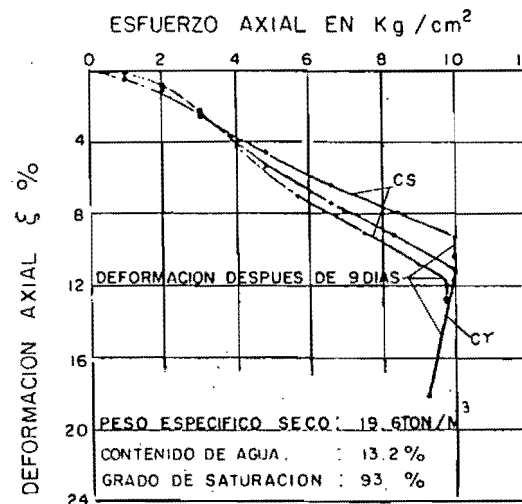


Fig. 3.1 Curva esfuerzo-deformación de muestras sujetas a carga sostenida (cs) y carga repetida (cr) (Seed-Cham, 1955).

Las curvas mostradas corresponden a tres muestras, las cuales fueron sometidas a aplicación normal de carga hasta un esfuerzo de 10 K/cm^2 , pudiéndose ver durante este intervalo que el comportamiento de las muestras fue similar, una vez se llegó a dicho esfuerzo dos de las muestras, curvas c_s , se sometieron a un esfuerzo sostenido correspondiente a los 10 K/cm^2 , durante 9 días, obteniéndose una deformación axial de 1.25%, mientras la muestra correspondiente a la curva c_r , fue sucesivamente cargada durante cinco segundos, obteniéndose una deformación axial de 7.5%.

- Efecto de la frecuencia de aplicación de la carga en la deformación del suelo: las muestras fueron compactadas a diferentes contenidos de agua, sujetas a una presión de confinamiento de 1 Kg/cm^2 y luego a una serie de aplicaciones de carga axial de igual magnitud y duración, pero diferente frecuencia de aplicación. El rango de frecuencia investigado fue de 1 a 20 aplicaciones por minuto, el número de aplicaciones fue de 10.000 a 100.000 y en todos los casos el tiempo de aplicación de la carga fue de 1 segundo. La Fig. 3.2 muestra resultados de estos ensayos.

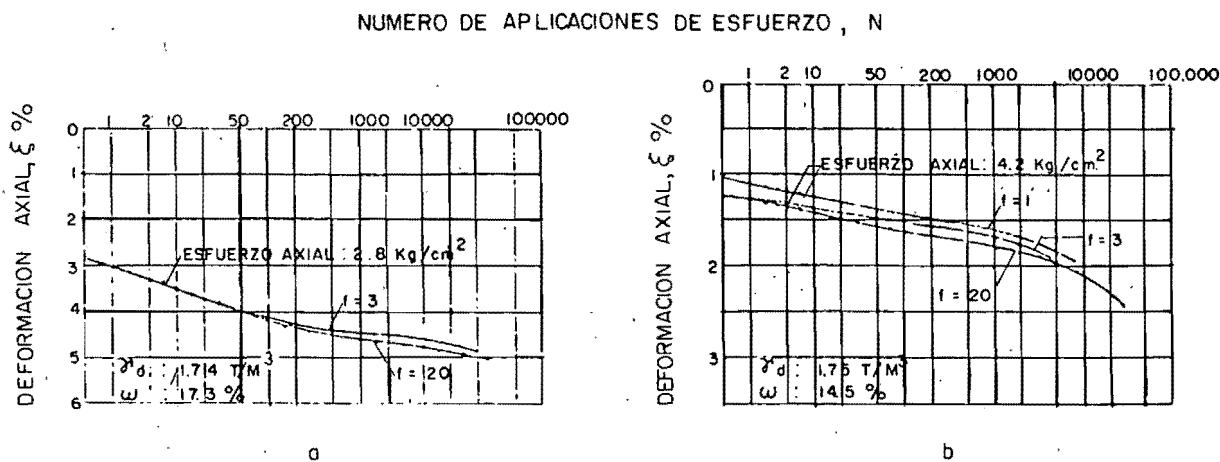


Fig. 3.2 Efecto de la frecuencia f de aplicación del esfuerzo en la deformación de los suelos (Seed-chan, 1955).

La figura 3.2 corresponde a dos muestras sujetas a una serie de repeticiones del esfuerzo axial de 2.8 Kg/cm^2 , y sometidas a frecuencias de 3 y 20 aplicaciones por minuto. Puede concluirse que para el mismo número de aplicaciones fue muy poca la diferencia en la deformación de las dos muestras, a pesar de la diferente frecuencia. La Fig. 3.2 b muestra el comportamiento de tres pruebas con magnitud de esfuerzo repetido de 4.2 Kg/cm^2 y frecuencia de 1, 3 y 20 aplicaciones por minuto. En esta gráfica puede verse la gran deformación causada por una aplicación de esfuerzo por minuto, comparada con la deformación causada por una mayor frecuencia.

- Efecto del esfuerzo aplicado en la deformación del suelo durante carga repetida: Se efectuaron pruebas para investigar el efecto de la magnitud del esfuerzo axial en la deformación de muestras parcialmente saturadas, sujetas a carga repetida, en pruebas triaxiales. La presión de confinamiento fue de 1 Kg/cm^2 . Las muestras fueron sometidas a la misma frecuencia de carga y el periodo de aplicación del esfuerzo fue de 1 segundo. Los resultados de una serie de pruebas se muestra en la Fig. 3.3.

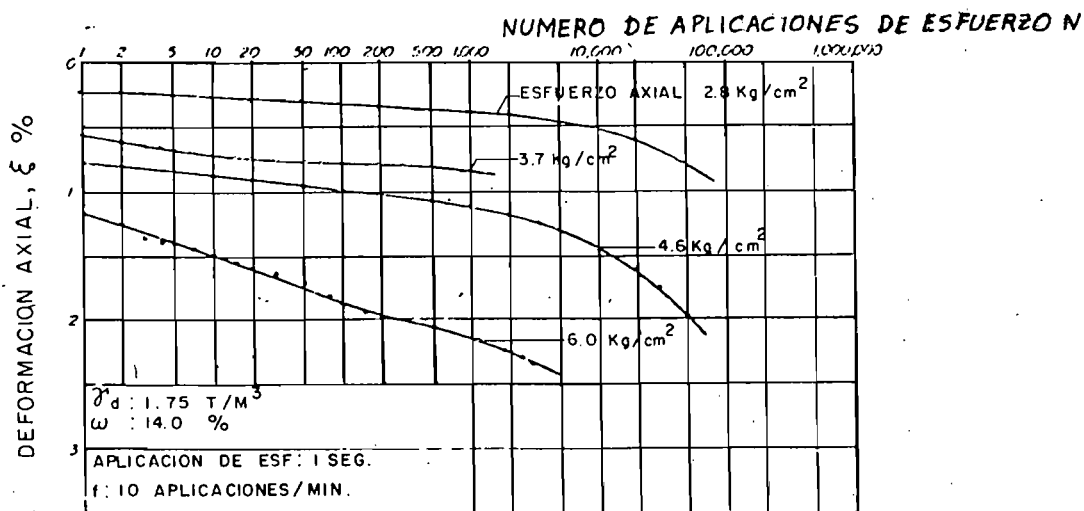


Fig. 3.3 Efecto del esfuerzo aplicado en la deformación del suelo durante carga repetida (Seed-Chan, 1955)

En la gráfica puede verse como a mayor esfuerzo axial se tiene mayor deformación para el mismo número de aplicaciones de esfuerzo.

Conclusiones:

- Las muestras de arcilla limosa parcialmente saturadas y sometidas a aplicación repetida de esfuerzo, con una frecuencia de 10 aplicaciones por minuto, presentaron mayor deformación que las sometidas a carga sostenida de igual magnitud. Es importante notar que esta afirmación se ve agravada por el hecho de que en el caso de carga repetida la carga actuó sólo una sexta parte del tiempo total que actuó la carga sostenida.
- Para el rango investigado de 1 á 20 aplicaciones por minuto y 10.000 á 100.000 aplicaciones, se vió que para el mismo número de aplicaciones y diferente frecuencia, la diferencia en la deformación es muy pequeña, --

además es de notarse la pequeña diferencia entre la deformación para una frecuencia de una aplicación por minuto y frecuencias mayores.

b. Predicción aproximada de deformación en suelos bajo carga repetida (Ref.6)

Objeto del Estudio: Proposición de un método para predecir la deformación axial de muestras de arcilla bajo carga repetida, pudiendo ser aplicado no sólo a asentamiento debido a cargas de tránsito, sino también para todos aquellos casos en los cuales se tenga carga cíclica o transitoria.

Tipo de suelo: arcilla Ariake, arcilla Kumamoto, Limo Tamashima, turba, suelo orgánico, arcilla Onga, Limo Okayama.

Pruebas y Resultados: Fueron efectuadas dos tipos de pruebas; odómetro modificado y triaxiales, en muestras inalteradas y remoldeadas.

- Odómetro modificado: Se somete la muestra a un esfuerzo axial ∇_v , luego se aplica el esfuerzo $\Delta \nabla$ periódicamente manteniendo la frecuencia constante.

En la Fig. 3.4 puede verse una comparación de dos curvas de consolidación la una para carga estática y la otra para carga repetida.

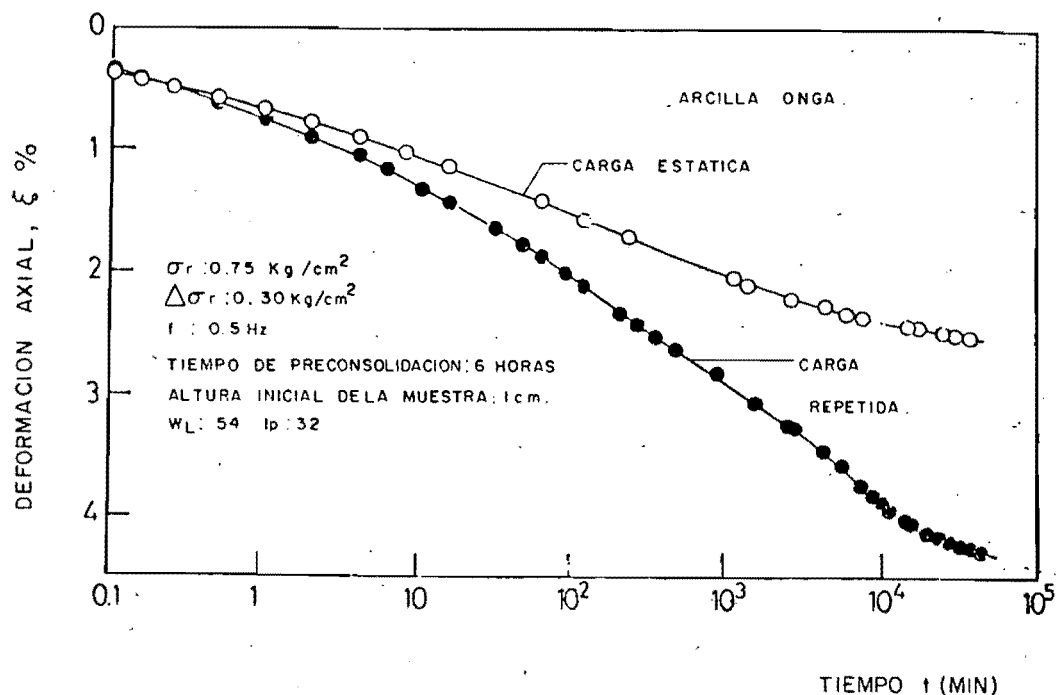


Fig. 3.4 Comparación entre una prueba de odómetro y una prueba con carga repetida (Yasuhara y otros, 1982).

Puede notarse como para carga repetida se tiene una mayor deformación, - haciéndose más notoria la diferencia con el aumento del número de ciclos aplicados, dentro del lapso del tiempo para el cual se efectuaron las mediciones:

En general ha sido admitido que la deformación total que experimenta la muestra para un incremento de carga dado, se debe a la suma de deformación recuperable ϵ^e y deformación no recuperable ϵ^p .

Dentro del rango de mediciones se encontró que la deformación recuperable tiende a un valor constante con el aumento del número de ciclos lo cual puede verse en la Fig. 3.5.

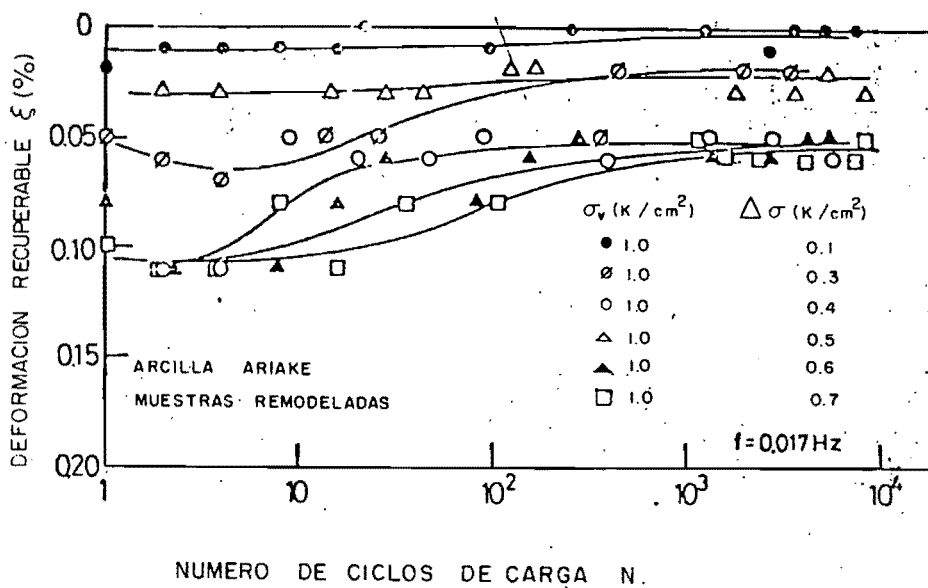


Fig. 3.5 Tendencia de la deformación recuperable ϵ^p (Yasuhara y otros, 1982)

Por lo tanto la relación ϵ^p/ϵ tiende a 1, esto puede visualizarse en la Fig. 3.6.

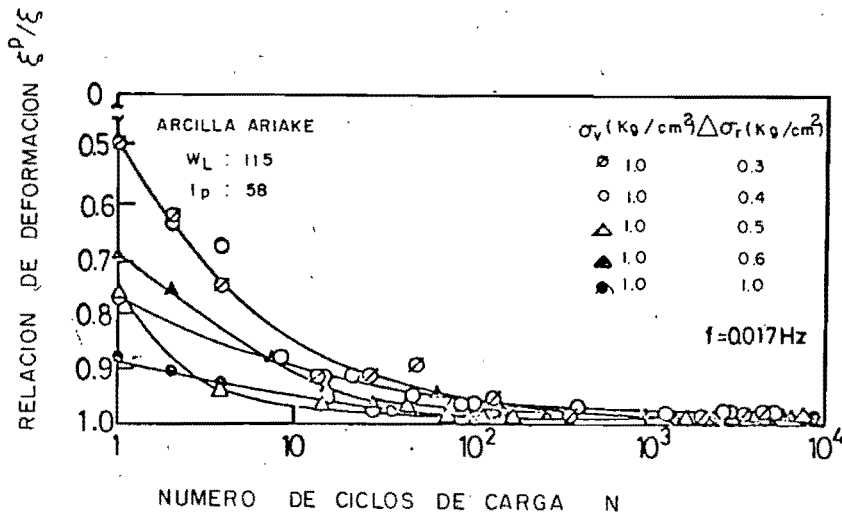


Fig. 3.6 Variación de la relación de deformación-tiempo para carga repetida en arcilla remoldeada (Yasuhara y otros, 1982).

De las Fig. 3.5 y 3.6 puede decirse:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{\Delta \epsilon^e}{\Delta \epsilon} \right)_t = 0 \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{\Delta \epsilon^p}{\Delta \epsilon} \right)_t = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{\Delta \epsilon - \Delta \epsilon^e}{\Delta \epsilon} \right)_t = 1$$

Con base en lo anterior puede predecirse la deformación final para una muestra sometida a carga repetida, ya que ella corresponderá a la relación $\epsilon^p/\epsilon = 1$, como se indica en la Fig. 3.7.

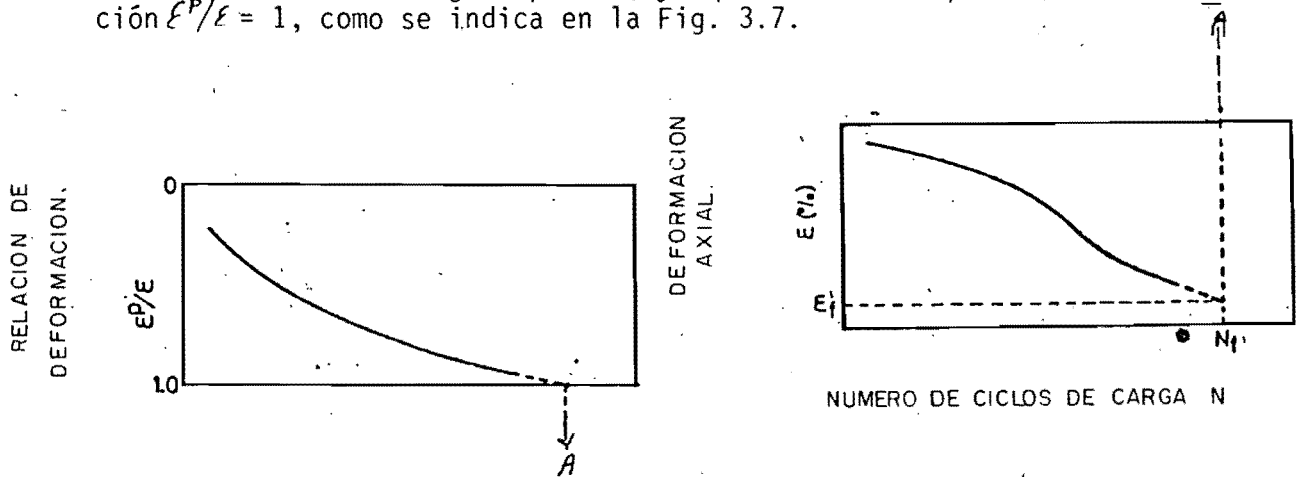


Fig. 3.7 Ilustración del método para predicción de la deformación del suelo bajo carga repetida (Yasuhara y otros, 1982).

- Triaxiales: Las muestras fueron consolidadas por varios días, seguidamente un incremento de carga cíclica es aplicado a frecuencia constante.

El procedimiento descrito anteriormente también puede ser usado en este tipo de pruebas. La Fig. 3.8 muestra una curva de la relación E^p/E en donde puede extrapolarse las curvas hasta obtener $E^p/E = 1$ y aplicar el método como se muestra en la Fig. 3.7.

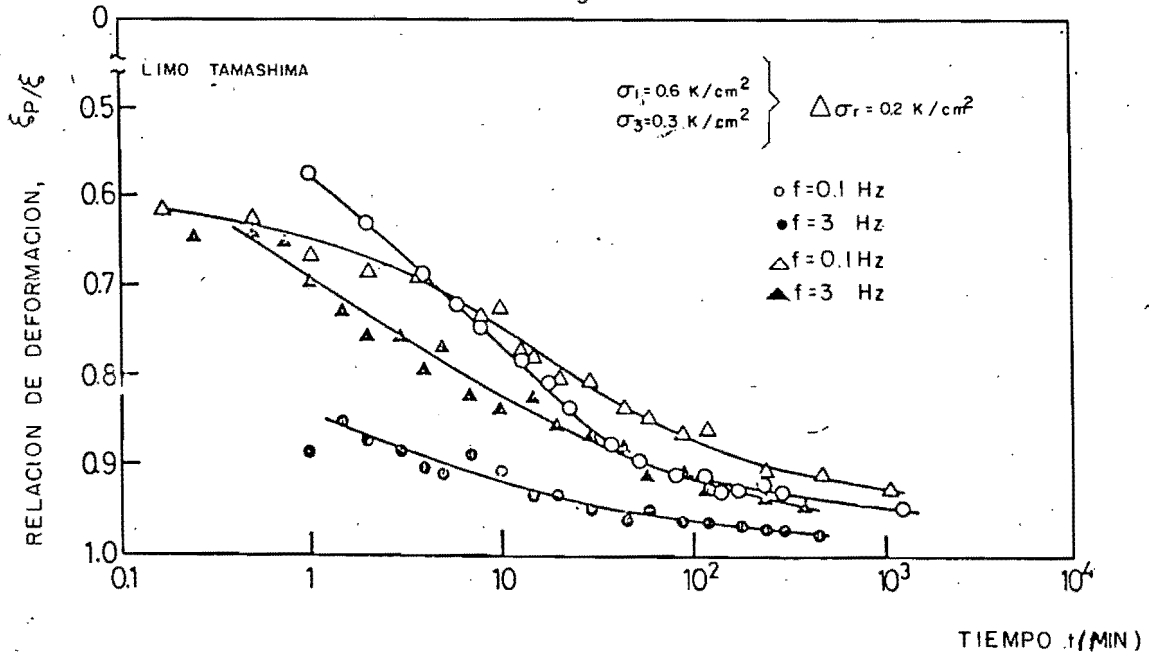


Fig. 3.8 Variación de la relación de deformación-tiempo para carga repetida en arcilla inalterada (Yasuhara y -- otros, 1980).

Conclusiones: Para el rango de frecuencia estudiado, 0.0056 Hz a 3.0 Hz, resultó una mayor deformación para carga repetida que para carga sostenida, llegándose a deducir un método que permite calcular la deformación axial final de la muestra sometida a carga repetida.

4. UNA PROPUESTA DE INVESTIGACION

Se trata de investigar la respuesta del suelo a las sollicitaciones producidas por el tránsito de vehículos, lo cual obliga como primer paso, a determinar las diferentes variables:

1. Tipo de suelo
2. Magnitud del esfuerzo que transmite el tránsito al suelo
3. Tipo de vibración producida por el tránsito.

Ninguna de las variables anteriores tienen una solución única y será necesario establecer simplificaciones para las variables 2 y 3.

Para tener una base del rango de variaciones de cada variable puede iniciarse con un estudio local en el cual se proceda en la siguiente forma:

- Efectuar sondeos que permitan determinar las características estratigráficas y la recuperación de muestras inalteradas para la realización de las pruebas.
- Medir la frecuencia de las vibraciones producidas por el tránsito a diferentes distancias de la vía y de ser posible a distintas profundidades.
- Efectuar pruebas de laboratorio con el fin de obtener los datos necesarios para sacar las conclusiones.

Pruebas a realizar:

- Pruebas que permitan la identificación del tipo de suelo, lo cual significa la inclusión de: localización, descripción visual, límites de consistencia, densidad de sólidos, peso volumétrico, contenido de agua inicial y composición mineralógica aproximada, con el fin de que los ensayos realizados puedan ser aprovechados por personas ajenas a la realización del trabajo.
- Pruebas que permitan obtener curvas de consolidación y de compresibilidad, para lo cual puede efectuarse pruebas en el consolidómetro, ya que son pruebas sencillas de realizar, utilizadas en todo el mando y con la facilidad de realizar pruebas dinámicas sólo con pequeñas modificaciones del consolidómetro.

Deberán efectuarse: pruebas odométricas bajo carga estática con el fin de poder hacer comparaciones y como posible ayuda a la interpretación de las pruebas de consolidación dinámica.

Pruebas de consolidación dinámica: bajo este nombre agrupo dos modalidades de dicha prueba, a saber: aquella que se efectúa con carga repetida, es decir, aplicando un incremento de esfuerzo cada determinado tiempo, pudiendo ser aplicación cíclica, senoidal, etc., dependiendo de la simplificación que quiera hacerse para realizar la prueba. Y la prueba en la cual se somete la muestra a vibración, sin modificar el esfuerzo actuante en el suelo. Este caso también exige una simplificación al determinar el tipo de vibración que va a aplicarse, ya que como se expresó en el planteamiento del problema no puede establecerse una forma única que representen dichas vibraciones en el terreno.

Puede notarse como los estudios a los cuales se ha hecho referencia en este trabajo, se refieren al tipo de carga repetida, sin que ello quiera decir que el tema esté completamente investigado. Una vez se tengan las pruebas se procederá a la interpretación, de la cual quizás pueda darse respuesta a una serie de preguntas tales como:

- Cómo influye la frecuencia en el caso de la prueba dinámica sin aumento de esfuerzo?.
- Qué sucede con los tiempos de consolidación en las pruebas dinámicas, comparados con los tiempos de consolidación de la prueba estática?.
- Qué influencia tiene el valor de la relación $\Delta v/v_w$?.
- Existe alguna relación, para el mismo tiempo t , entre la deformación obtenida si se efectúa la prueba dinámica desde $t = 0$ y la obtenida si se permite que la muestra de suelo se consolide bajo el incremento Δv en estudio, durante un tiempo y luego se proceda con la prueba dinámica?.
- Qué sucede si sólo se somete a vibración uno de los incrementos de la prueba y luego se continúa en forma normal la prueba hasta obtener la curva de compresibilidad completa?.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Existen casos que muestran como las vibraciones causan daños en estructuras, siendo ellos consecuencia de los asentamientos que las vibraciones producen en el suelo.

- Tanto en las pruebas presentadas por Seed, Chan, Monismith y Yasuhara, Yamanouch, Aoto, Hirao, se ve como en suelos cohesivos, es mayor la deformación, para el mismo tiempo t , cuando se tiene carga repetida que cuando se tiene carga sostenida.

- A pesar de existir métodos para determinar la deformación, tomando en cuenta la carga repetida, no existe ninguna correlación entre mediciones de campo y dichos métodos.

- De las consecuencias que la omisión de las vibraciones en el cálculo de asentamientos pueda tener, se deduce la importancia del tema, por lo que sería conveniente continuar ahondando en el tema con correlaciones de campo, especialmente en el campo de vibraciones sin aumento de esfuerzo.

REFERENCIAS

1. Qinn, Bayard Thompson, David. "Effect of Pavement Condition on Dynamic Vehicle Reactions". Highway Research Board, Boletín 328, 1962, pp. 24-31.
2. Seed, H. B. Chan, Clarence. Monismith, Carl. "Effects of Repeated Loading on the Strength and Deformation of Compacted Clay". Highway Research Board, Vol. 34, 1955. pp. 541-558.
3. Sutherland, Hugh B. "A study of the vibrations Produced in Structures by Heavy Vehicles". Highway Research Board, Vol. 30, 1950. pp. 406-419.
4. Terzaghi, Karl. Theoretical Soil Mechanics. John Wiley and sons, Inc. New York. pp. 434-479.
5. Wilson, N. E. Elgobary, M. M. "Consolidation of soils Under Cyclic Loading." Canadian Geotechnical Journal, Toronto, Canadá, Vol. II, 1974. pp. 420-423.
6. Yasuhara, K. Yamanouchi, T. y otros. "Approximate Prediction of soil Deformation Under Repeated Load". Copia enviada por uno de los autores al profesor L. Zeevaert.
7. XV Congreso Mundial de Carreteras, México, 1975.
8. Zeevaert W., Leonardo. Díaz R., Abraham. Comunicación personal, 1982.