

GEOFOAM en Ingeniería Vial: Una Alternativa a Considerar

1. Introducción

En algunos proyectos viales, los ingenieros de carreteras se encuentran con la existencia de suelos con muy bajo poder soporte, los cuales son incapaces de soportar cargas sin sufrir grandes deformaciones. Las zonas de turberas y áreas pantanosas son las más propensas a sufrir este tipo de inconvenientes, conformadas por suelos de muy alta plasticidad y baja resistencia.

La construcción de terraplenes sobre este tipo de suelos sin ningún tratamiento previo trae aparejado el fenómeno de los asentamientos, producto de la compresibilidad del suelo blando bajo la carga del terraplén, originándose dentro de la masa del suelo blando una presión de poro, donde muy lentamente el agua va escapando, el suelo blando se va comprimiendo, y en el terraplén se originan descensos los cuales a veces son muy grandes y que ocasionan el colapso de la estructura del pavimento. El fenómeno de los asentamientos es un problema muy complejo, y las dos características más negativas que se deben resaltar son que

generalmente es un proceso que se extiende mucho en el tiempo y que en general no es fácilmente controlable.

Las soluciones tradicionales que se han utilizado y se utilizan para solucionar este problema son **el método de consolidación por precarga, la construcción de drenes y la sustitución de suelos.**

El método de consolidación por precarga consiste en aplicar sobre la masa del suelo una carga considerablemente mayor que la que genera el peso del terraplén de proyecto, a los efectos de "acelerar" el proceso de consolidación, y así lograr en menor tiempo el mayor porcentaje del asentamiento total del suelo blando. Esto se logra en la práctica construyendo un terraplén más alto que el terraplén de proyecto y luego cuando el proyectista o el experto en mecánica de suelos lo determine remover la altura adicional del terraplén, en el momento en que se considera que los asentamientos han terminado, o bien se han minimizado.

La utilización de drenes persigue como objetivo la eliminación del agua de la masa del suelo, el factor más importante en un proceso de consolidación.

El método de sustitución de suelos consiste en remover el suelo existente y sustituirlo por otro de mejores características.

Estos métodos han sido utilizados y en muchas oportunidades el resultado ha sido exitoso, no obstante en algunos proyectos esto ha generado un sobre costo importante de la obra, como es el caso de la sustitución de suelos y la construcción de drenes, y en otros un alto grado de incertidumbre, como es el caso de consolidación por precarga, ya que resulta difícil determinar el momento a partir del cual no se tendrán más asentamientos, o bien que la magnitud de los mismos no harán colapsar en el mediano plazo la estructura del pavimento.

Puesto que el fenómeno del asentamiento de un suelo blando, se origina a partir del peso del terraplén que colocamos sobre él, parece lógico buscar la manera de construir gran parte de ese terraplén con un material que reúna dos condiciones fundamentales: bajo peso, y suficiente rigidez para soportar las cargas provenientes del paquete estructural de la carretera y las cargas de los vehículos que sobre la misma circulan.

El método de construcción GEOFOAM consiste en colocar bloques de poliestireno expandido sobre el suelo blando, el cual por su baja densidad no transmite prácticamente presiones al subsuelo, eliminando o en el peor de los casos reduciendo a su mínima expresión el fenómeno de los asentamientos. Sobre los bloques se construye luego el paquete estructural del pavimento en la forma convencional.

Este método es utilizado en el norte de Europa desde la década de los sesenta y en los EE.UU desde fines de la década de los ochenta.

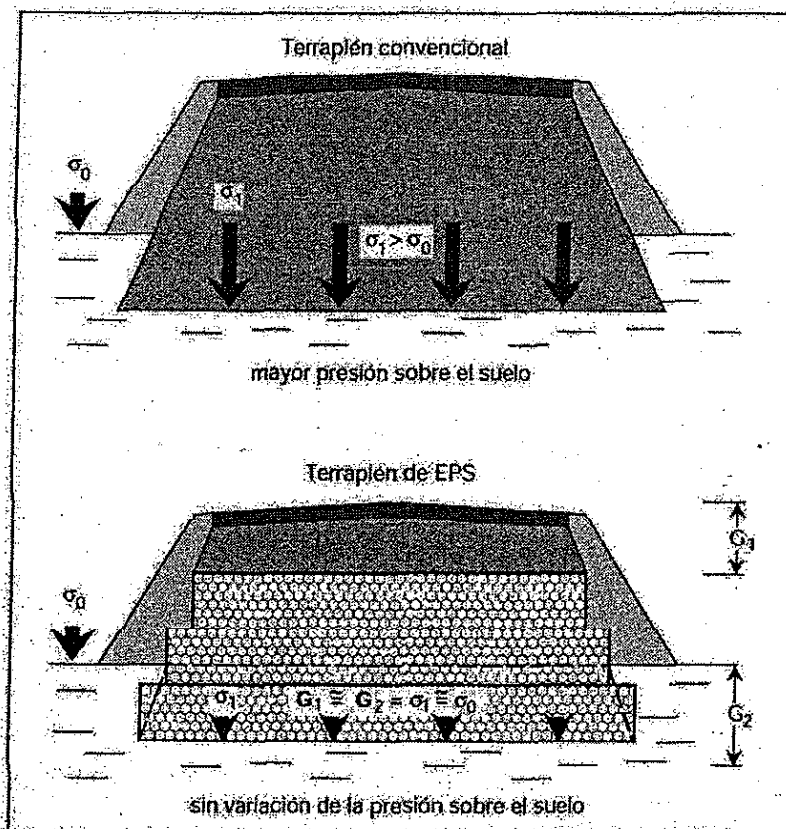


Fig. 1

En el cono sur se conocen dos aplicaciones, una en Chile en carácter de obra en servicio y otra en Uruguay en un tramo experimental en el Departamento de Maldonado.

El poliestireno expandido es conocido en nuestro medio por ESPUMAPLAST, en inglés su sigla es EPS, (Expanded Polystyrene). Es una estructura celular formada por subproductos derivados del petróleo.

La utilización del EPS para la construcción de terraplenes se conoce en inglés como "lightweight fill" o "relleno liviano".

La figura superior representa lo que sucede al construir un terraplén convencional sobre un suelo blando, s_0 representa la tensión que es capaz de admitir el suelo blando, muy pequeña por cierto, y s_1 la tensión proveniente del peso del terraplén, que al ser mayor que s_0 dará origen a los asentamientos del suelo blando y con él el del terraplén.

En la figura inferior se muestra lo que ocurre al utilizar el método GEOFOAM, la carga proveniente del peso de los bloques es muy pequeña y no supera la tensión admisible del terreno, por lo cual no tendremos problemas de asentamientos.

2. Propiedades físicas y mecánicas del EPS.

2.1 Densidad

Una de las principales propiedades del EPS, que lo hace interesante para su aplicación como relleno liviano es su baja densidad. La misma varía entre 12 kg/m³ y 32 kg/m³, que significa el 1% de la densidad del suelo o de la roca.

Esto es muy importante, en particular para el procedimiento constructivo de colocación en obra, ya que cada bloque tiene las dimensiones 5x1x0,5 m y eso significa en el peor de los casos 75 kg de peso, por lo tanto puede ser manejado perfectamente por dos operarios.

2.1 Diagrama tensión deformación

El comportamiento del EPS especialmente en compresión es de interés primordial para la mayoría de las aplicaciones geotécnicas.

En la figura 3 se muestra la gráfica de tensión- deformación en un ensayo de carga

rápida con una velocidad aproximada de 10% de deformación por minuto.

El ensayo se realiza bajo condiciones de deformación controlada y compresión axial inconfiada.

El material es esencialmente isotrópico, es decir mantiene las propiedades en todas las direcciones. Esta isotropía está relacionada con la forma esférica de las perlas que componen la estructura celular.

Como siempre, puede existir cierta anisotropía cerca de los bordes de la muestra.

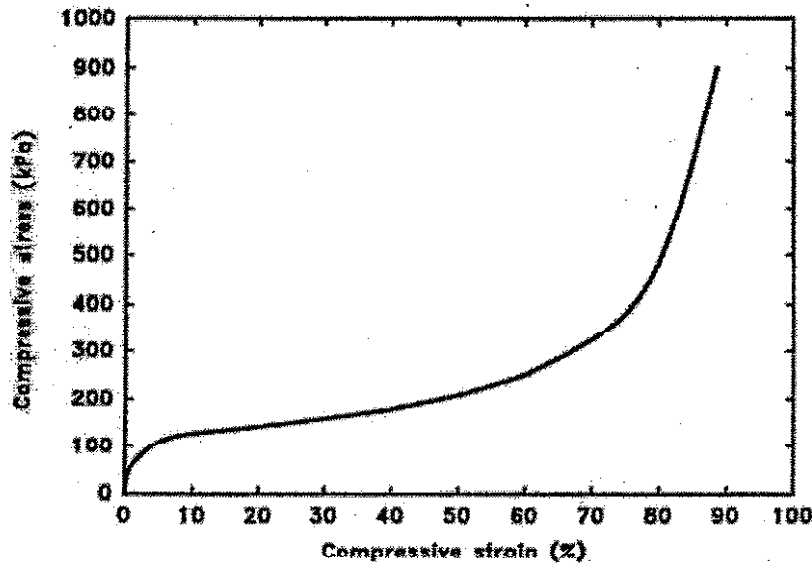
A pesar de que los resultados que se muestran en la figura son para una determinada densidad, los resultados para otras densidades son cualitativamente idénticos.

Encontramos en el diagrama una línea lineal que se extiende hasta un nivel del 1,5 % de deformación, pero a continuación el lado más conservador se continúa el 1,5 %

Como siempre en esa zona se verifica la proporcionalidad entre la tensión y la deformación a través del módulo de Young inicial $s = cE$.

Si bien para deformaciones > al 1% se está afuera del límite elástico, el comportamiento del material en cuanto a las deformaciones no recuperables no es tan significativo hasta que se supera el 10% de deformación. A partir de ahí sí se puede observar la zona de fluencia típica, caracterizada por grandes deformaciones para pequeños incrementos de tensión.

Esto ha hecho que se denomine a la zona entre el 0% y el 10% de deformación, la "zona de trabajo" del material. Aunque no aceptable para las aplicaciones en terraplenes, el material se comporta correctamente en el rango entre el 0 y el 10% en otro tipo de aplicaciones geotécnicas como la llamada en inglés "compresible inclusion", donde se interponen bloques de EPS entre un muro de contención y la tierra que retiene a los efectos de reducir la presión de la tierra sobre el muro, y por ende economizar en el espesor de H° y la armadura de acero.



Ensayo de carga cíclica

Conocer el comportamiento del GEOFOAM frente a las cargas cíclicas es muy importante, especialmente cuando está involucrado en un proyecto de terraplén, debido a la repetición de cargas provenientes del tráfico.

Mientras las tensiones dentro de la estructura celular se mantienen dentro del límite elástico, el comportamiento del GEOFOAM, frente a las cargas cíclicas es también elástico, no eviden-

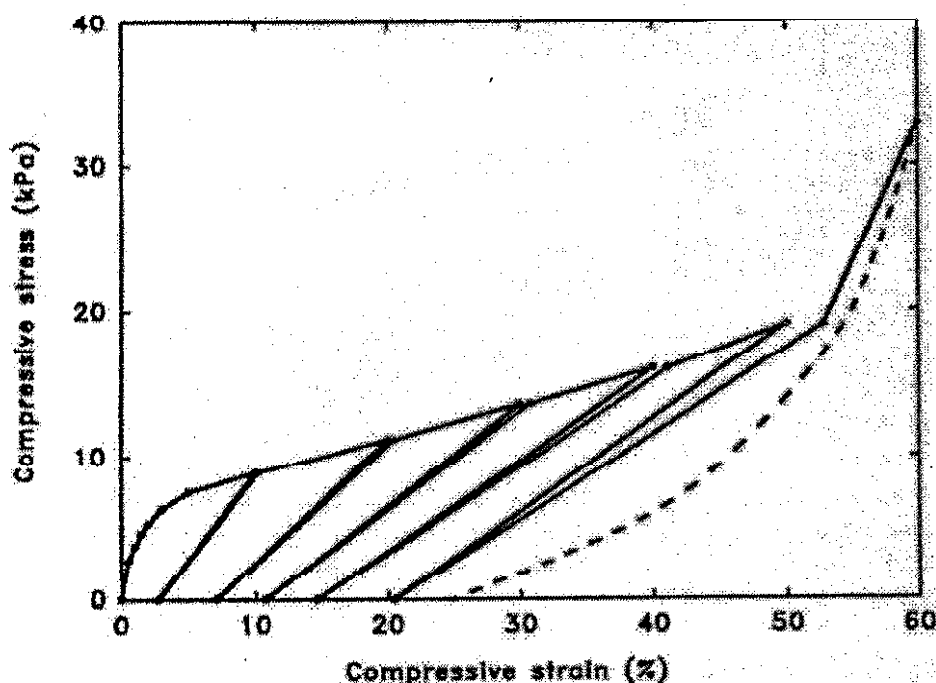
ciándose deformaciones por fatiga. Una muestra de 20 kg/m³ fue sometida a cargas cíclicas en un ensayo de compresión axial confinada con deformaciones entre 0 y 1 % en rangos de frecuencia de 10 Hz.

No se notaron cambios en el módulo elástico inicial después de 2000.000 de ciclos de carga. De hecho no hubo degradación del módulo de Young.

Hasta ahora la mayoría de los ensayos de laboratorio indican que el comportamiento del EPS es elástico bajo cargas cíclicas

con tal que las deformaciones se mantengan en un rango de entre el 0 y el 1%. Es decir

manteniéndose en ese rango no se tendría deformación por fatiga.



Creep y relajación.

Consideraremos aquí el efecto del tiempo en el comportamiento tensión-deformación.

Durante los primeros años del uso del GEOFOAM no fue considerado explícitamente. Esta postura se basó en el supuesto de que si las tensiones de largo tiempo fueran menores que algún porcentaje de las tensiones dentro del rango de trabajo determinadas en un ensayo de carga rápida, entonces las deformaciones provenientes de la fluencia lenta se mantendrían dentro de límites aceptables.

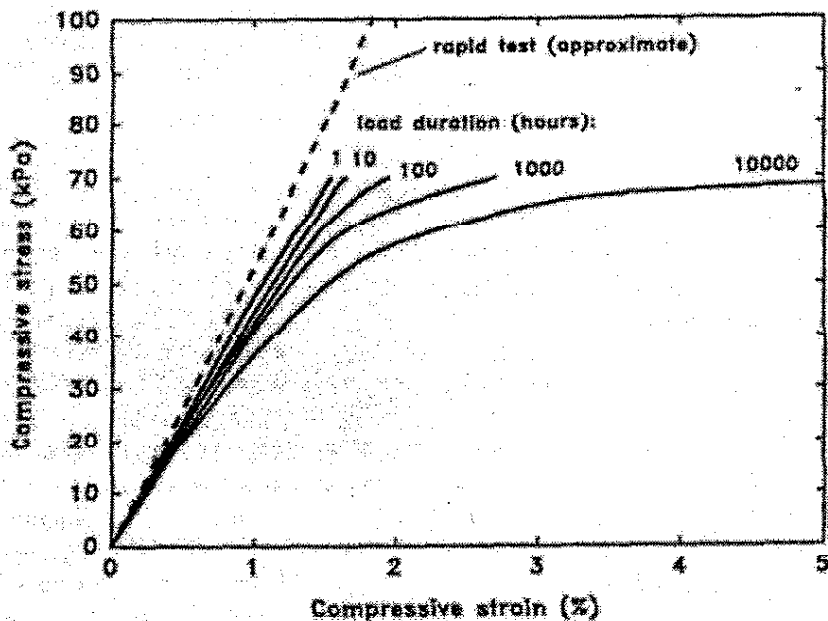
La postura actual es que como la mayoría de los materiales polímeros, el comportamiento del material dependiente del tiempo debe ser considerado explícitamente.

Hay una conciencia en ingeniería de construcciones que la serviciabilidad de una estructura en explícitas consideraciones de deformaciones bajo cargas de servicio es igualmente importante que las fallas por colapso, bajo las cargas de estado último.

Los datos de la figura para un producto de densidad 23,5kg/m³. Se muestra la duración en horas de la aplicación de la carga.

Las conclusiones más importantes del ensayo de creep fueron las siguientes:

- 1) Para tensiones en las cuales la deformación inicial es del 1% los efectos del creep son aceptables.
- 2) Cuando la deformación inicial es del 0,5% los efectos del creep son insignificantes.



Durabilidad

El EPS es extremadamente durable en la tierra. Esto ha sido confirmado en experiencias durante más de 20 años con el EPS en aplicaciones como relleno liviano.

No obstante esto hay que tener muy en cuenta que el EPS se disuelve fácilmente en presencia de derivados del petróleo, especialmente la nafta.

Esto podría ocurrir como consecuencia de un accidente de tránsito con derrame de gasolina. Sin embargo esto no puede ser un elemento de disuasión para no utilizar el GEOFOAM.

En Noruega en algunas ocasiones han colocado una losa de H° sobre el GEOFOAM siendo uno de los cometidos evitar que un eventual derrame de combustible llegue al EPS.

Últimamente, la tendencia ha sido cubrir los bloques con una geomembrana, polietileno de alta densidad de entre 1,5 mm y 2,5 mm de espesor.

Como dato anecdótico sobre la durabilidad del GEOFOAM, el laboratorio de investigaciones de carreteras de Noruega extrajo muestras de EPS que formaba parte de un terraplén hacia 24 años, en condiciones de inmersión total, puesto que la napa freática estaba muy alta, y no sufrió ninguna degradación en sus propiedades físicas, químicas o mecánicas.

2.1 Ataques de organismos

Un tema que preocupa cuando se usa el EPS como relleno liviano en algunas regiones, es la posibilidad de que ciertos insectos o animales ataquen el EPS.

Si bien el EPS no es un elemento nutritivo para ningún ser vivo, se tienen registrados algunos casos donde las termitas atacaron el EPS, pero el objetivo era viajar hacia la madera que se encontraba en contacto con el EPS.

No está documentado ningún tipo de ataque de ser vivo al EPS en lightweight fill, sin embargo algunos proyectistas han deseado tomar precauciones tratando al EPS con

algunos pesticidas que no alteran sus propiedades.

2.2 Comportamiento biológico

El EPS no es peligroso para las aguas freáticas, no actúa como un factor contaminante.

2.3 Absorción de agua.

No supera el 7% en volumen después de siete días de inmersión.

2.4 Inflamabilidad

Como todos los derivados del petróleo el EPS es inflamable. Se pueden agregar retardadores del fuego (bromina), sin que altere sus propiedades, pero esto aumenta un 10% su valor

Análisis y Diseño con GEOFOAM

El análisis y el diseño de la utilización de GEOFOAM como relleno liviano envuelve la consideración de tres aspectos:

- a) Estabilidad Interna
- b) Estabilidad Externa.
- c) Construcción

2.5 Estabilidad Interna

Este punto se ocupa de la selección del GEOFOAM adecuado con el objetivo que las deformaciones dentro del bloque que resultan de su peso propio y de las cargas externas se mantengan dentro de límites aceptables.

En los primeros proyectos de relleno liviano, y continuado en cierta forma hasta el presente, la práctica usual fue usar una única densidad de EPS para todo el proyecto.

En la mayoría de los casos, la densidad era seleccionada empíricamente, en el orden de los 20 kg/ m³, basada experiencias anteriores.

Este proceso empírico, fundamentalmente se basó en la resistencia a compresión del EPS, como el parámetro ingenieril por excelencia.

Mientras este diseño aproximado ha generado cientos de proyectos exitosos, tiene los defectos de todos los métodos empíricos:

- a) Las deformaciones no eran consideradas explícitamente y estas son fundamentales para evaluar el desempeño de una carretera fundada sobre EPS.
- b) Las deformaciones por fluencia lenta ó creep no eran conocidas.

Como la resistencia a compresión es determinada por medio de un ensayo de carga rápida, no da el desempeño bajo una carga permanente, de ese modo el proyecto podía ser diseñado erróneamente.

Por estas razones, los pasos a seguir en un proceso de diseño que se han tomado en el Reino Unido son los siguientes:

- 1) Usando las tensiones determinadas en el proyecto se selecciona la densidad del EPS de modo que las deformaciones queden dentro de límites aceptables. Los parámetros más relevantes son el límite elástico y el módulo de Young.
- 2) Considerando el momento de aplicación de las tensiones, estas deben ser mantenidas en una primera etapa.

2^a) Cargas permanentes

Asumidas de larga duración, donde el efecto del creep es considerado.

2^b) Cargas transitorias

Son las cargas típicas de los vehículos aplicadas en una fracción de segundo, que implica muchos ciclos de carga durante la vida de la estructura del pavimento.

La segunda categorización de las cargas, desde otro punto de vista es:

1) Cargas aplicadas en un área muy grande:

Es típicamente la acción del peso del suelo y del pavimento encima del EPS. Estas tensiones se extienden en un área tan grande que se asume que su efecto es constante con la profundidad.

2) Cargas aplicadas en un área muy pequeña:

Es el ejemplo de la rueda aplicada en la parte superior del pavimento. La distribución de tensiones variará con la profundidad dentro del conjunto de los bloques del EPS, con la clásica distribución de Boussinesq.

Las tensiones calculadas son usadas para construir los siguientes diagramas:

- La distribución de tensiones producidas por cargas permanentes, en función de la profundidad y la distancia horizontal.
- La distribución de tensiones producidas por la combinación de permanentes y transitorias como función de la profundidad y la distancia horizontal.
- El proyectista selecciona la máxima deformación permitida en un ensayo de carga rápida.

- Para cargas permanentes la máxima deformación permitida estará usualmente entre el 0,5% y el 1%.
- Para una deformación inicial del 0,5% generada por una carga permanente el efecto el creep es insignificante y hasta el 1% aceptable.
- Para la combinación de permanentes y cíclicas la máxima deformación permitida es usualmente el 1%. Esto está gobernado por el límite elástico, ya que ciclos de deformación más allá del 1%, causarían deformaciones plásticas.
- Una vez que la máxima deformación admisible ha sido definida se determina el mínimo módulo de Young, requerido como función de la profundidad y la distancia horizontal. De aquí se seleccionará la densidad del EPS, la cual puede determinar que no se tenga que usar una única densidad.
- En general el diseño del pavimento encima del EPS se realiza en la forma normal.(CBR, módulo de resiliencia). El EPS es tratado como una subrasante equivalente cuyo CBR generalmente varía entre 2 y 4.

2.6 Estabilidad Externa

La estabilidad externa está relacionada con la sensibilidad del GEOFOAM como un conjunto ante el efecto de las fuerzas externas, incluyendo cuando corresponda todos los aspectos relacionados con las cargas sísmicas, felizmente no es nuestro caso.

Se refiere por ejemplo a los asentamientos que vamos a aceptar, debido a la tensión vertical de compresión que se genera en la subrasante, debido al paquete estructural encima del GEOFOAM. Este análisis es independiente de la tensión de

compresión causada dentro de la masa del GEOFOAM.

Debido a la baja densidad del GEOFOAM, la presión del agua del subsuelo puede ser un peligro potencial de movimiento vertical u horizontal.

La experiencia indica que aún estando los bloques muchos años bajo el agua, la baja absorción de ésta por parte de los bloques, no significa una reducción en su capacidad de flotar. Por esa razón para cualquier bloque de EPS, que esté sometido a la inmersión debe haber cargas permanentes desde arriba que contrarresten la fuerza debido al agua.

Sin embargo la colocación de cargas permanentes encima del GEOFOAM para contrarrestar el potencial efecto de flotación puede hacer que se produzcan asentamientos excesivos bajo condiciones de no inundación, en consecuencia la gran magnitud de las cargas está trabajando en contra de la razón por la cual el GEOFOAM fue considerado necesario en primer momento. El problema más grande es seleccionar un apropiado período de retorno de inundaciones y el nivel de inundación.

2.7 Construcción

Los bloques de EPS que generalmente se utilizan para la construcción de terraplenes livianos son prismáticos con las siguientes medidas en metros: $5 \times 1 \times 0,5$.

Debido a su baja densidad, el EPS no transmite presión al suelo blando, por lo cual puede ser directamente apoyado sobre él.

Es recomendable que el espesor de EPS determinado en el proyecto se coloque por lo menos en dos capas. Estas capas se colocarán a juntas desencontradas a los efectos de rigidizar el conjunto. Al ir colocándose

cada capa se la va calzando lateralmente con tierra a los efectos que los bloques no corran el riesgo de ser movidos por algún golpe accidental de la maquinaria pesada que se encuentra trabajando.

Una vez colocada la última se comienza a tender sobre ella el material granular que servirá de base al pavimento asfáltico.

En algunos proyectos se coloca sobre la última capa de EPS una manta de geotextil a los efectos que las partículas más gruesas no dañen el EPS. El uso del geotextil se puede obviar si se toma la precaución de retirar las piedras más grandes que pudieran caer sobre los bloques.

A medida que se va tendiendo el material granular sobre los bloques, la maquinaria vial puede comenzar a circular sobre el mismo, no siendo recomendable bajo ningún concepto que esta maquinaria circule directamente apoyando sobre el EPS.

La compactación del material granular se ejecuta en la forma tradicional, lo mismo que la construcción de la capa asfáltica de rodadura.

2.8 Conclusiones

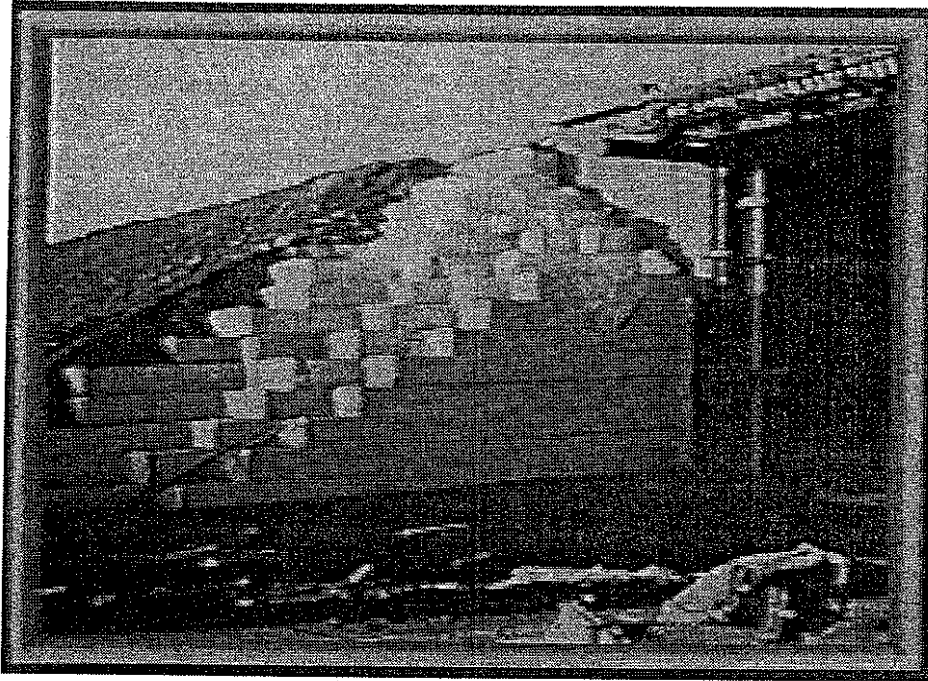
El método GEOFOAM ha sido probado durante más de treinta años en el mundo y ha dado lugar a proyectos exitosos en todo el mundo.

Miles de kilómetros de carreteras se han construido con este procedimiento estando sometidas a intensas cargas de tráfico tanto en magnitud como en frecuencia de aplicación, y prestan servicio en la actualidad en excelentes condiciones estructurales.

Como siempre sucede en todo proyecto de carreteras, la correcta evaluación técnico-

económica, será la que determine cual procedimiento es el más adecuado en cuanto al costo final de la obra, no obstante esto, lo que el

ingeniero vial debe saber es que cuenta con una alternativa posible cuando se enfrenta a problemas de fundación de una vía terrestre.



Bibliografía:

GEOFOAM: PHD. John Horvath
Designing with GEOFOAM: Boston Seminary (American Society of Civil Engineers)
Terzaghy- Peck - Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica.