

Bases estabilizadas con cemento Portland Tipo I Normal y Tipo I MP con diferentes energías de compactación

Ing. Alejandro González
Costa Rica

Ante el reto en Ingeniería de hacer uso eficiente de los recursos, sumado a la búsqueda de nuevas tecnologías y nuevos materiales a utilizar en la conservación y el desarrollo de las redes viales, es importante la búsqueda de formas de optimización para así invertir racionalmente los recursos económicos, enfocándose siempre en trabajos de buena calidad y duraderos.

Las bases utilizadas con cemento permiten un aumento de resistencia y mayor durabilidad del pavimento, reduciendo así los costos de construcción y mantenimiento de la carretera.

El problema planteado surge como respuesta a la necesidad de investigar acerca del comportamiento de los cementos disponibles en el mercado nacional para la estabilización de suelos como bases de pavimentos, comparando por tanto el Portland Tipo I Normal y el Modificado con Puzolanas (MP). Así mismo, es importante determinar el método de compactación más eficiente respecto a los resultados obtenidos, por lo que se analizó la compactación según los métodos Próctor Estándar y Próctor Modificado.

El análisis experimental realizado permitió evaluar ambos cementos, obtener conclusiones y emitir recomendaciones respecto al uso de estos en la estabilización de bases para pavimentos.

Todas las pruebas fueron realizadas siguiendo las especificaciones de Costa Rica para la construcción de carreteras y puentes (CR-77)¹, y las normas de ensayo que al respecto establece la ASTM.

TIPO DE MATERIAL

En esta investigación se utilizaron dos distintos materiales. Es de suma importancia caracterizar los materiales antes de utilizarlos en un proceso constructivo, ya que las propiedades de diferentes fuentes de áridos pueden variar significativamente con el consecuente impacto en los parámetros de

resistencia y durabilidad y por ende en los costos de la obra. Tal y como se puede observar en la **Figura 1**, donde bajo las mismas circunstancias, y para poder llegar a las mismas resistencias, el material dos requiere de un 21% más de cemento que lo que requiere el material 1.

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN UTILIZADA

Se analizaron los resultados obtenidos según los métodos de compactación Próctor Estándar³ y Próctor Modificado⁴. En la figura 2 se puede observar claramente que, bajo las mismas condiciones, se obtuvieron resistencias promedios de un 60% mayor a utilizar la energía de compactación del Próctor Modificada, lo que podría traducirse en un ahorro sustancial de cemento para lograr las mismas resistencias. En promedio, de acuerdo a los resultados obtenidos, se podría llegar a requerir un 32% menos de cemento si se utiliza dicha energía de compactación en lugar del Próctor Estándar.

Otra ventaja que presenta la utilización del método de compactación Próctor Modificado es que es más conveniente ganar resistencia en una base estabilizada mediante compactación, y no ganar resistencia mediante la adición de grandes cantidades de cemento, que provocaría falla de la estructura del pavimento por el fenómeno de retracción por fraguado, con el consecuente agrietamiento de la capa estabilizada.

TIPO DE CEMENTO

Al comparar los resultados de resistencia según el cemento utilizado (Portland Tipo

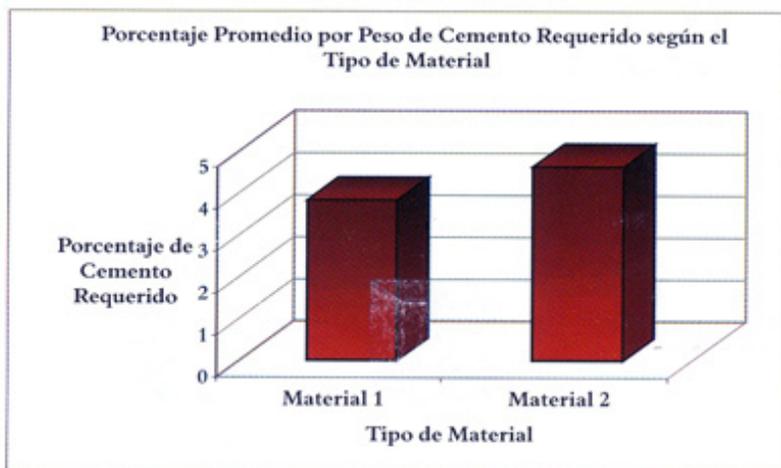


Figura 1: Porcentaje promedio por peso de cemento requerido según el tipo de material.

I Normal o Tipo I MP) a los 7 días, que es la edad de desarrollo de resistencia establecida en el CR-77, se obtuvieron resistencias mayores, en todos los casos, para los especímenes fabricados con cemento Portland Tipo I Normal que con el Tipo I MP. Esto sucede por cuanto el primero desarrolla resistencias más rápidamente que el segundo, pero a largo plazo (más de 60 días) llegan a equilibrarse en cuanto a la resistencia desarrollada.

Muy importante tener en cuenta que la especificación de resistencia a compresión a 7 días que debe cumplir la base estabilizada aplica para cemento Portland tipo I normal, por tanto, si se usa otro tipo de cemento, o aditivos para retardar o acelerar el proceso de fraguado, dicha especificación no aplica, y requiere ajustarse según se modifique la curva de resistencia patrón en que se fundamenta la especificación, para lo cual se debe tener en cuenta, adicionalmente, la resistencia final del material estabilizado.

Para poder llegar a desarrollar las mismas resistencias a los 7 días, se requiere utilizar en promedio un 4.83% menos de cemento Portland Tipo I Normal que del Tipo I MP. Sin embargo, al tener en consideración el anterior comentario, para hacer una comparación de costos, es necesario "calibrar" la curva de fraguado, teniendo en cuenta la resistencia final. Esto significa que no es directamente comparable dos cementos (con o sin aditivos) si solamente se tiene el valor de resistencia a 7 días).

Sumado a lo anterior, los cementos modificados con puzolanas tienen la ventaja de un fraguado más lento que el Tipo I Estándar, lo cual se traduce en unos plazos de manejabilidad más amplios, menor temperatura de fraguado, que en este caso no es relevante, un menor potencial de agrietamiento por contracción.

La edad de falla equivalente para alcanzar la misma resistencia en mezclas para bases con cemento Tipo I Estándar a los 7 días para mezclas con cemento Tipo I MP es de 10 días.

EN GENERAL

Además de lo anterior, es de suma importancia realizar mayores estudios de los agrietamientos debido a contracciones en función de la resistencia y el porcentaje de

cemento de la base estabilizada, así como las posibles medidas de mitigación, como lo son la utilización de fibra, la construcción de juntas o la disminución de la resistencia especificada.

Es de suma importancia establecer mediante pruebas de laboratorio la humedad de compactación óptima. Y asegurarse de que ésta sea la que realmente se está incorporando a la mezcla de base estabilizada con cemento, de manera que se pueda lograr una máxima eficiencia de los materiales y así obtener una base de excelente calidad con la mínima cantidad de recursos y por ende de costo final.

Por los resultados obtenidos en el presente estudio, es recomendable profundizar en los estudios de campo y analizar las implicaciones que podría tener la utilización del método Próctor Modificado en lugar del Próctor Estándar, tal y como lo sugiere la presente investigación. En este caso la energía de compactación en campo, definida por el peso del compactador, la energía de vibración (masa, excentricidad, frecuencia y el número de pasadas, deben optimizar para alcanzar dicha energía de compactación

La decisión de estabilizar un material con cemento debe basarse en aspectos técnicos y económicos. De esta manera, se debe hacer un balance comparativo entre los costos de estabilizar el material que se tiene en el sitio requerido para la obra o transportar otro material de algún sitio más alejado pero con mejores propiedades resistentes y de durabilidad. Obviamente, la opción de utilizar agregados (áridos) no estabilizados, también conlleva a un ajuste de espesores, en virtud de la diferencia de capacidad estructural (capacidad a fatiga) entre ambas alternativas.

Adicionalmente, el aspecto más crítico en la construcción de una base estabilizada es obtener uniformidad en la resistencia a 30 días. Si la resistencia es alta, el agrietamiento prematuro por contracción es más severo; por el contrario, si la resistencia es baja, la capacidad a fatiga disminuye y se incrementa el agrietamiento a mediano plazo. En consecuencia, el control de calidad necesariamente debe garantizar la uniformidad de la resistencia a 30 días.

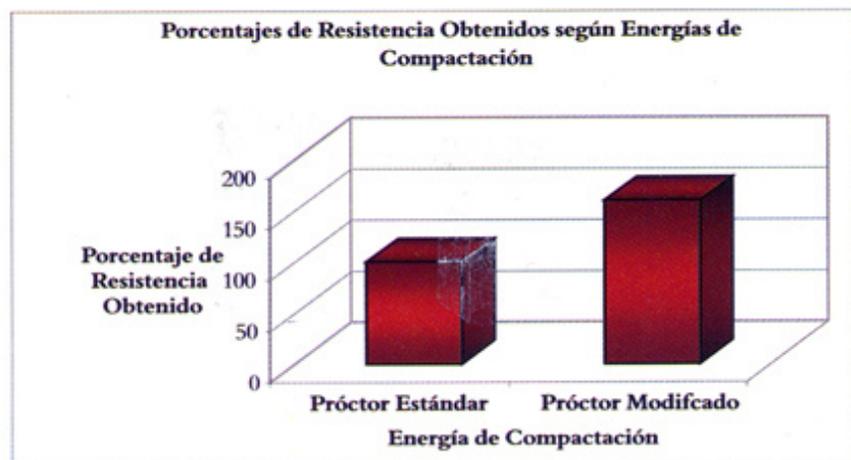


Figura 2: Porcentajes de resistencia obtenidos según energías de compactación