

## Proyectos de Investigación

- Optimización de la mezcla de recebo de ceniza procedente de termozipa y estabilizada con cal en el mejoramiento de rellenos y terraplenes - Augusto Gómez Cortés, Fernando Obando Pinto.
- El Sistema fiduciario y su aplicación en la Construcción de Vivienda - Liliana Isabel Vargas Padilla, Javier Fernando García Serrano.
- Factibilidad Económica para carriles de adelanto. Vía Bogotá - Tunja - Henry Mariño, Mauricio Agudelo.

## RECEBO DE LA CANTERA QUINDIGUA

La cantera Quindigua está conformada por un frente de explotación, el cual consta de dos sectores explotables que arrojan materiales de diferente composición. La distribución geológica de las capas presentes en esta cantera garantiza continuidad y por lo tanto el volumen de material necesario para ser utilizado en grandes obras. Aunque el diseño de explotación es incipiente, se puede recomendar el sector explotable número dos, por ser más homogéneo y cíclico, enfatizando la necesidad de triturar la fracción gruesa hasta el tamaño óptimo requerido de los fragmentos para un recebo estándar.

### CAL DE ALCALIS DE COLOMBIA

La cal es uno de los varios productos que pueden ser usados exitosamente para mejorar las características de los suelos desde el punto de vista de ingeniería. El principio de la estabilización con cal capacita al ingeniero para utilizar suelos arcillosos y agregados marginales que pueden ser mejorados con una pequeña cantidad de cal.

La cal es un mineral de color blanco pulverizado para la estabilización de suelos por la unión con otros minerales como la sílice y la alúmina, para formar un cemento el cual aumenta sustancialmente la resistencia y estabilidad haciendo que la capa de suelo sea más impermeable al agua.

Cuando se añade cal a los suelos, sus iones se combinan o absorben en la estructura del suelo produciendo cambios físico-químicos en las partículas. Estos cambios continúan ocurriendo hasta "gastar" cierta cantidad de cal, por encima de la cual no se presentarán más cambios apreciables. El punto de quiebre normalmente se llama "límite de fijación de la cal" o "límite de retención de cal".

### DISEÑO DE MEZCLAS Y ANÁLISIS DE LABORATORIOS

Para su diseño de la mezcla se tomaron tres grupos con cantidades del 7, 5 y 3 por ciento de cal respectivamente, teniendo en cuenta que dichos porcentajes dejaron ver buenos resultados en proyectos de rellenos con cal y ceniza, en la Sabana de Bogotá. Dentro de cada grupo se hicieron ocho mezclas variando el porcentaje de ceniza y recebo cada diez unidades y dejando fijo el porcentaje de cal.

Una vez terminados el peso unitario seco máximo y la humedad óptima por medio del ensayo de compactación, se procedió a elaborar probetas, con materiales de características similares en cuanto a peso unitario y humedad se refiere para posteriormente realizar ensayos de compresión simple. Dichas probetas fueron curadas en un ambiente húmedo durante períodos de tiempo de 7, 14 y 28 días. Al analizar los resultados de las compresiones efectuadas, se determinó el intervalo de resistencia a la compresión según el porcentaje, el tipo de material ligante y el tiempo, para luego elaborar el

ensayo de CBR a las tres mejores muestras de cada porcentaje de cal.

## EVALUACIÓN DEL COSTO DE LA MEZCLA PARA SU USO EN OBRA

Para el análisis del costo de la mezcla se tuvo en cuenta una serie de parámetros que influyen de una u otra forma como su transporte de los materiales y la distancia hasta su destino final entre otros.

El recebo de la cantera Quindigua tiene un costo de \$5.000.00 la tonelada comprado en la cantera; para analizar su costo se debe tener en cuenta el valor de su transporte y la distancia a la que se desea llevar. En encuestas realizadas con transportadores del sector se determinó un precio de \$200.00 ton/km para una capacidad de 8.0 ton por volqueta.

El precio de la ceniza varía con la distancia y solamente se tiene en cuenta para su precio total el indicado por el transporte. El precio del transporte de la ceniza es de \$307.00 ton/km aproximadamente, si contamos que cada volqueta tiene una capacidad de 5.0 ton.

El precio de la cal no está sujeto al transporte como los materiales anteriores y su costo presente es de \$70.000.00 por tonelada.

## CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones se obtuvieron con base en los resultados de los ensayos realizados y las gráficas

elaboradas para el análisis de las mismas.

- La investigación mostró que el uso de ceniza, recebo y cal mezclados en las proporciones obtenidas es apropiada para la construcción de rellenos.
- Los materiales utilizados son bajos en costos, especialmente el de la ceniza de acuerdo al estudio de costos realizado y se encuentran disponibles en grandes cantidades para su uso.
- El uso de la ceniza reduce el consumo y la demanda de materiales naturales para rellenos, como el recebo, lo cual elimina los problemas de disposición de cenizas encontrados en Termozipa y al mismo tiempo disminuye la explotación de canteras como hasta ahora se ha venido haciendo.
- La mezcla es viable económicamente hablando, en un radio no mayor a 50 km, al rededor de Termozipa y de la cantera Quindigua, distancia a la cual resulta más conveniente el uso de recebo a cambio de la ceniza.
- La resistencia a la compresión en la muestra óptima dejó ver un valor de 3,43 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Resistencia apropiada para el uso en los rellenos, teniendo en cuenta que un material convencional de relleno alcanza valores de 2.0 a 5.0 kg/cm<sup>2</sup>.

- Observando los ensayos se pudo establecer que a mayor cantidad de recebo en la mezcla, aumenta el peso unitario y la resistencia de la misma. De igual forma a mayor contenido de cal, aumenta el peso unitario, aunque en menor escala que en la anterior.
- Se estableció también que a mayor cantidad de recebo dentro de la mezcla, su humedad óptima disminuye en un rango del 48% al 16% en todas las mezclas.
- Las mezclas analizadas mostraron un aumento en la resistencia a través del tiempo. Al analizar las gráficas de resistencia contra tiempo y de acuerdo a la pendiente que ellas llevan se puede deducir que la resistencia a los 28 días no es todavía la máxima que puede alcanzar la muestra, esperándose una mayor resistencia con el paso del tiempo.
- Analizadas las gráficas resistencia contra porcentaje de recebo, se puede notar una disminución en la resistencia para contenidos de recebo entre el 30% y 40%, obteniendo mayores resistencias con porcentajes de recebo menores al 20%.
- La mezcla óptima en cuanto a resistencia, peso unitario y costos, es la correspondiente al 10% de recebo, 83% de ceniza y 7% de cal empleando una humedad óptima del 43%.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Pulverised Fuel Ash for use in concrete. England, 1965, 882 p.
- FERNANDEZ F. HUMBERTO, Ejecución de proyectos de ingeniería, Bogotá D.C., Universidad Nacional de Colombia, 1983, 728 p.
- GUTIÉRREZ JOSUÉ, Curso sobre suelo, cemento, Medellín Memorias de estabilización con cal, 1973, cap. III.
- LAMBE WILLIAM, Mecánica de suelos, México, editorial Limusa, 1991, 582 p.
- MARQUEZ GABRIEL, Propiedades ingenieriles de los suelos, Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1987, 228 p.
- NATIONAL ASH ASOCIATION, Bulletin 108, Washington D.C., 1977, 102, 112 p.
- PECK RALPH, Ingeniería de cimentaciones, México, editorial Limusa, 1985, 557 p.
- SHERWOOD P.T., Road Research Laboratory, Crowtome England, 1966, 42 p.
- SUÁREZ JAIME, Diseño de cimientos, Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 1992, 209 p.
- THOMPSON MR., Lime Treated Soils for pavement construction, USA, 1968, 191-217
- WATT, J.D. and D. THORNE, Composition and puzzolanic proprietaries of pulverised fuel ashes, USA, 1965, 15, 585, 604 p.