



APLICACIÓN DE SUELO CEMENTO EN LA CONSERVACIÓN VIAL DE VÍAS NO PAVIMENTADAS

Servicio Departamental de Caminos Chuquisaca

^{Ing.} Grover Urquiza Paco, Director Técnico, Calle Pinkas S/N Barrio SENAC, Teléfonos contacto: (4) 64 60048 / (4) 64 61844

FAX (4) 60 60187 /

^b Docente en el área de vías y carreteras de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: cori_h5@yahoo.es.

RESUMEN

El suelo-cemento es la mezcla íntima y homogénea de suelo pulverizado con determinadas cantidades de cemento portland y agua, y que luego de compactado, para obtener densidades altas, y curado, para que se produzca un endurecimiento más efectivo, se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión, prácticamente impermeable y estable en el tiempo.

La tierra o suelo es sin duda el material de construcción más antiguo de los empleados por el hombre en su evolución histórica, llegando hasta el presente como una verdadera alternativa de solución de bajo costo en el mejoramiento y conservación de vías no pavimentadas.

En el presente trabajo aquí desarrollado, se exponen los resultados de las pruebas elaboradas por el Laboratorio de Mecánica de Suelos del Servicio Departamental de Caminos, diseño de la mezcla de suelo- cemento y consideraciones para su implementación y aplicación en la Conservación Vial del Tramo CH-03: El Salto – Monteagudo. Red Fundamental que vincula la capital del departamento, con la ciudad de Monteagudo. (Provincia Hernando Siles.)

Palabras clave: Suelo – cemento, Conservación vial, vías no pavimentadas

ABSTRACT

The Soil-cement is the intimate and homogeneous mixture of soil sprayed with certain amounts of portland cement and water, and that after compacting, to obtain high densities, and curing, for a more effective hardening to occur, a new material resistant to compression stresses, practically waterproof and stable over time is obtained. The earth or soil is undoubtedly the oldest construction material used by man in its historical evolution, reaching the present time as a true alternative low-cost solution in the improvement and conservation of unpaved roads.

In the present work developed here, the results of the tests carried out by the Soil Mechanics Laboratory of the Departmental Road Service, design of the soil-cement mixture and considerations for its implementation and application in the Road Conservation of the CH Section are exposed -03: El Salto - Monteagudo. Fundamental Network that links the capital of the department with the city of Monteagudo. (Hernando Siles Province.)

Key words: Soil - cement, Road maintenance, unpaved roads

INTRODUCCIÓN

A mediados del siglo XX, en el mundo se ha venido implementando la estabilización del suelo con cemento exitosamente en varios países, ya que gracias a su bajo costo de construcción y mantenimiento se puede utilizar en varios campos de la ingeniería como pavimentos, bases para estructuras en concreto, geotecnia, entre otros. Según el manual de estabilización de suelos con cal o cemento (4) la reglamentación ambiental ha restringido el uso desmedido de materiales granulares que estén fuera de la traza del proyecto, además de la necesidad por tener cimientos firmes que soporten un tráfico pesado, por estas razones se ha venido implementando el mejoramiento de los suelos in situ, proceso que resulta muy eficiente gracias a la maquinaria que permite agilizar los procesos de mezcla del suelo con el aglomerante.

Debido a las múltiples ventajas que contienen los suelos mezclados con cemento, diversos países lo aplican de forma casi generalizada.

Ventajas

El material es durable. Registros de su comportamiento indican que el suelo cemento presenta una mayor durabilidad que otros materiales de pavimentos de similar costo inicial.

Uso de materiales locales. Si el suelo cemento permite la utilización de gran cantidad de tipos de suelo para su elaboración, se reducen los costos de transporte de material de aporte y aumentan los rendimientos de construcción.

Menor impacto ambiental. Debido a la menor dependencia de bancos de material.

Mayor rigidez y distribución de carga aplicada al pavimento. Las propiedades de las mezclas de suelo cemento permiten distribuir la carga aplicada en un área mayor, comparado con una base granular.

Resistencia a los agentes atmosféricos. Ha sido notable su prolongada durabilidad bajo condiciones adversas, se ha probado en forma exhaustiva en los climas más difíciles por lo que se ha usado frecuentemente en lugares con condiciones climáticas muy desfavorables y de América, Europa y Asia.

Aumento de resistencia y menor mantenimiento. La experiencia ha demostrado que las propiedades mecánicas del suelo cemento incrementan con el tiempo, lo que favorece que el mantenimiento del pavimento sea mínimo.

Precauciones

Pero para disfrutar de estas ventajas hay que tener atención en algunos puntos.

Si no es diseñado, dosificado y controlado adecuadamente puede producir demasiada contracción y agrietamiento que se refleje en las capas de rodadura.

Se debe seleccionar el tipo de cemento adecuado y realizar el número de pruebas necesarias, antes de pretender construir capas de suelo cemento con suelos de mediana y alta plasticidad, ya que el mezclado de suelo y cemento podría resultar muy difícil.

El tiempo para ejecutar el mezclado, conformación y compactación, está limitado a evitar el fraguado anticipado del cemento.

Definiciones

Por muchos años, se han generado distintas definiciones de "suelo cemento" y clasificaciones en diversos países. Siendo las más reconocidas las indicadas a continuación:

Según el ACI (American Concrete Institute), el suelo cemento es una mezcla de suelo y una medida de cemento Portland y agua compactada a una alta densidad. Asimismo, el suelo cemento puede ser definido como un material producido por el mezclado, compactación y curado de suelo/agregados, cemento Portland, ocasionalmente aditivos y/o puzolanas y agua, para formar un material endurecido con específicas propiedades ingenieriles. Las partículas suelo/agregados son adheridas por la pasta de cemento, pero a diferencia de cómo sucede en las mezclas de concreto, las partículas individuales no son cubiertas completamente por la pasta de cemento.

Según la PCA (Portland Cement Association), el suelo cemento es una mezcla altamente compactada de suelo/agregado, cemento Portland y agua, siendo el principal uso de este material en estructuras de pavimentos.

Materiales

El suelo a ser estabilizado con cemento puede resultar de la combinación de gravas, arenas, limos y arcillas. Básicamente cualquier suelo puede estabilizarse con cemento a excepción de los suelos orgánicos y con altos contenidos de sales que puedan afectar el desempeño del cemento.

Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento

Prácticamente todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo – cemento con la lógica excepción de la capa vegetal, sin embargo, cuando se requiere ejecutar una mezcla con calidad y consumo mínimo de cemento, el número de suelos aptos se reduce.

Se consideran suelos aptos para mezclas de suelo-cemento aquellos cuyos consumos de cemento en peso se encuentren entre 5 y 12% con respecto al peso del suelo. Además, que la manejabilidad sea tal que permita la producción de una mezcla homogénea.

Con los suelos aptos el suelo-cemento debe ser estable en la contracción, tener una absorción de agua adecuada y alcanzar las resistencias necesarias en el menor tiempo.

Generalmente los suelos aptos son aquellos que tienen tales proporciones de suelos gruesos y finos que producen una granulometría abierta, sin predominio

excesivo de un determinado tamaño. De igual forma su plasticidad debe ser tal que aporte una determinada cohesión a la mezcla, lo que mejora la manejabilidad sin que se produzcan agrietamientos por contracción.

Cementos

Todos los cementos que produce la industria nacional son aptos para ser empleados en mezclas de suelo-cemento: el IP-30 es el más recomendable por su contenido de adición puzolánica, que favorece al alcance de una mayor resistencia en el tiempo.

Los requerimientos del cemento varían en función de las propiedades deseadas en la mezcla y del tipo de suelo. El contenido del cemento depende si el suelo va a ser modificado o estabilizado.

Agua

No existen grandes limitaciones para el uso de agua en las mezclas de suelo-cemento, cualquier agua potable es apta para emplear en dichas mezclas.

La mayoría de las especificaciones y literatura técnica relacionada con los requisitos del agua a utilizarse en mezclas de suelo cemento, se limitan a indicar que esta debe ser potable o relativamente limpia, libre de álcalis, ácidos o materia orgánica.

Adicional a los requisitos de calidad del agua, están los requisitos de cantidad del agua, ya que deberá lograr la máxima densidad en las mezclas e hidratar adecuadamente el cemento. Por lo general el contenido de humedad deberá estar entre 6% a 12% en peso seco de la mezcla.

Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla se dispuso de 3 materiales principalmente: Suelo tipo A-1-a (0) (Suelo granular de banco aluvial), cemento y agua. La dosificación del cemento se definió con investigaciones posteriores en las cuales se trabajan porcentajes que van desde el 0% hasta el 12 %. Para el caso de estudio se trabajaron 5 porcentajes los cuales corresponden al 0, 4, 8, y 12 por ciento. Para definir la cantidad de agua

se realizaron ensayos de proctor AASHTO T-180 en los cuales se determinó la cantidad de agua necesaria para llegar a la densidad máxima de la mezcla.

Elaboración de cuerpos de prueba

El molde empleado para la elaboración de los cilindros de prueba se realizó con un molde normal D=6", H=30 cm.

Para poder tener múltiples resultados con una variación mínima de datos fue indispensable tener 3 cuerpos de prueba para cada uno de los porcentajes de cemento propuestos, además de esto se tuvieron en cuenta tiempos de curado de 7 días, para posteriormente realizar la prueba de resistencia a compresión.

Ensayo de Resistencia

Para medir la resistencia de los cuerpos de prueba, se procedió a la rotura de testigos que corresponde a aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos hasta que se presente la falla (tensión de rotura).

RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados de las diferentes pruebas de laboratorio, realizadas por el Laboratorio de Mecánica de suelos del SEDCAM-CH:

ANÁLISIS DE TAMICES AGREGADO GRUESO					
Tamices	Peso retenido en Grs.	Retenido acumulado Grs.	%	Tamaño en Mm.	% que pasa del total
2 1/2"	0,00	0,00	0,00	62,50	100,00
2"	731,00	731,00	5,09	50,00	94,91
1 1/2"	1112,00	1843,00	12,83	37,50	87,17
1"	1192,00	3035,00	21,13	25,00	78,87
3/4"	1217,00	4252,00	29,60	19,00	70,40
3/8"	1834,00	6086,00	42,37	9,50	57,63
No. 4	1604,00	7690,00	53,54	4,75	46,46
No. 10	1373,00	9063,00	63,10	2,00	36,90

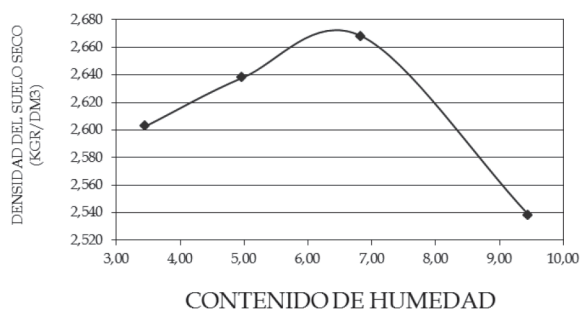
GRANULOMETRÍA DEL MORTERO DE SUELO			
Pasa N° 10 húmedo	500 grs.	Pasa N° 10 Seco	490,4

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADOS FINO					
Tamices	Retenido en Grs.	Retenido acumulado Grs.	%	% que pasa del mortero	Tamaño en mm.
No. 40	149,6	149,6	30,50	69,50	0,425
No. 200	175,5	325,1	66,29	33,71	0,075

DETERMINACIÓN DE LIMITES LIQUIDO Y PLÁSTICO					
Cápsula o Tara N°	63			27	
Suelo Húmedo + tara	34,28			33,75	
Suelo seco + tara	30,67			30,92	
Peso el agua	3,61			2,83	
Peso de la tara	11,31			10,59	
Peso suelo seco	19,36			20,33	
% de humedad % h.	18,65			13,92	
Numero de golpes	25				
LIMITE LIQUIDO L.L.			18,65		
LIMITE PLÁSTICO L.P.			13,92		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD IP = (LL-LP)			4,73		

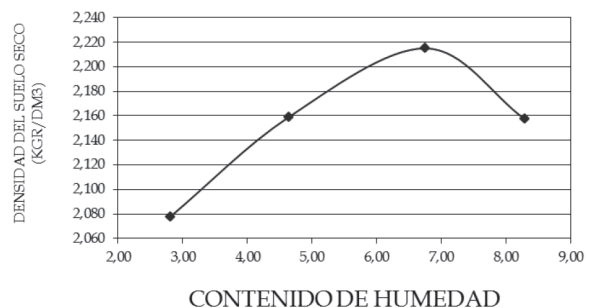
ENSAYO DE COMPACTACIÓN-AASHTO T-180

EMPRESA:	SEDCAM CH.			
PROYECTO:	Conservación Vial de la Red Vial Fundamental Tramo CH - 03			
PROCEDENCIA:	Material de río 50% y material de Molino 50%			
MATERIAL	Suelo cemento con 12 % de Cemento			
FECHA	17 de Agosto del 2020			
Nº DE MOLDE: 1	VOLUMEN	2120,00	PESO	1617
Nº de capas	5,00	5,00	5,00	5,00
Nº de golpes por capa	25,00	25,00	25,00	25,00
Peso húmedo + molde	7326,00	7488,00	7660,00	7507,00
Peso de molde	1617,00	1617,00	1617,00	1617,00
Peso suelo húmedo	5709,00	5871,00	6043,00	5890,00
Volumen de la muestra	2120,00	2120,00	2120,00	2120,00
Densidad suelo húmedo (Kg / dm3)	2,69	2,77	2,85	2,78
Cápsula Nº	23	4	89	2
Peso suelo húmedo + cápsula	540,20	666,30	589,70	577,20
Peso suelo seco + cápsula	525,90	640,40	559,60	538,40
Peso de agua	14,30	25,90	30,10	38,80
Peso de la cápsula	112,80	120,20	119,10	128,10
Peso suelo seco	413,10	520,20	440,50	410,30
Contenido de humedad (%H)	3,46	4,98	6,83	9,46
Densidad suelo seco (Kg/dm3)	2,603	2,638	2,668	2,538
Densidad Máxima	2,270	Kg/dm3		
Humedad Optima	6,50	%		



ENSAYO DE COMPACTACION-AASHTO T-180

EMPRESA:	SEDCAM CH.			
PROYECTO:	Conservación Vial de la Red Vial Fundamental Tramo CH - 03			
PROCEDENCIA:	Material de río 50% y material de Molino 50%			
MATERIAL	Suelo Cemento con 18 % de Cemento			
FECHA	18 de Agosto del 2020			
Nº DE MOLDE: 1	VOLUMEN	2120,00	PESO	2617
Nº de capas	5,00	5,00	5,00	5,00
Nº de golpes por capa	56,00	56,00	56,00	56,00
Peso húmedo + molde	7146,00	7406,00	7630,00	7570,00
Peso de molde	2617,00	2617,00	2617,00	2617,00
Peso suelo húmedo	4529,00	4789,00	5013,00	4953,00
Volumen de la muestra	2120,00	2120,00	2120,00	2120,00
Densidad suelo húmedo (Kg / dm3)	2,14	2,26	2,36	2,34
Cápsula Nº	10	15	20	17
Peso suelo húmedo + cápsula	666,60	625,20	673,20	603,40
Peso suelo seco + cápsula	651,60	603,10	637,70	566,80
Peso de agua	15,00	22,10	35,50	36,60
Peso de la cápsula	118,50	126,60	111,90	125,10
Peso suelo seco	533,10	476,50	525,80	441,70
Contenido de humedad (%H)	2,81	4,64	6,75	8,29
Densidad suelo seco (Kg/dm3)	2,078	2,159	2,215	2,158
Densidad Máxima	2,215	Kg/dm3		
Humedad Optima	6,80	%		



ENSAYO A LA COMPRESION DE PROBETAS DE HORMIGON

Empresa:	SEDCAM CH.						
Proyecto:	Conservación Vial de la Red Vial Fundamental Tramo CH - 03						
Lugar:	Material de río 50% y Molino 50%						
Km.	Numero	Fecha de Preparado	Fecha de rotura	Tipo de hormigón	C. Rotura (Kg)	T. Rotura (Kg/cm2)	Edad (días)
	1	21-ago-20	28-ago-20	12% Cemento	15800	86,81	7
	2	21-ago-20	28-ago-20	12% cemento	15000	82,42	7
	3	24-ago-20	31-ago-20	18% cemento	18800	103,30	7
	4	24-ago-20	31-ago-20	18% cemento	18500	101,65	7

DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Empresa:	SEDCAM CH.		
Proyecto:	Conservación Vial de la red Vial Fundamental Tramo CH - 03		
Material:	Cubos de suelo cemento		
Procedencia:	Río 50% y molino 50% con 12% de cemento		
Fecha:	30-sep-20		

GRADACIÓN
CARGA ABRASIVA CON A 200 Revoluciones

PROPORCIONES DE MUESTRAS

PASADO	RETENIDO	CANTIDAD TOMADA EN GRAMOS
1 1/2"	1"	
1"	3/4"	
3/4"	1/2"	
1/2"	3/8"	
CANTIDAD TOMADA EN GRAMOS		14647
RETENIDO TAMIZ DE CORTE No. 12 (1.7mm.)		10626
DIFERENCIA		4021
DESGASTE	27,45 %	
DUREZA	72,55 %	

ENSAYOS EN LABORATORIO

Elaboración de la mezcla:





Ensayo de compactación AASHTO T-180



Ensayo de resistencia



CONCLUSIONES

Se obtiene la mayor resistencia a la compresión a los 7 días de curado con un contenido de 12% de cemento alcanzando una resistencia última de 86.81 Kg./cm^2 .

También se ensayó una rotura de testigo con contenido 18% de cemento, alcanzando una resistencia última de 103.30 Kg./cm^2 . Para un mismo período de curado (7 días). Esto indica una relación directamente proporcional entre el porcentaje de cemento y el esfuerzo máximo soportado por el suelo.

El cemento funciona muy bien como agente estabilizador de suelos, en este caso se comprobó que los porcentajes superiores al 4% de cemento en la mezcla mejoran considerablemente la resistencia ante cargas de compresión axial. Por otra parte cabe resaltar que estos contenidos del aglomerante son bastante altos y que si se quiere estabilizar una vía de gran longitud con un alto contenido de cemento el costo puede llegar a ser elevado, sin embargo, a nivel experimental se ha planificado su implementación en un tramo de prueba localizado al ingreso a la ciudad de Monteagudo, Cr. Ruta F0 06 (San Miguel del Bañado - Heredia) – y la Ruta DH-31: Heredia – Ingavi – San Juan del Pirá; correspondiente al programa de Conservación Vial que está siendo ejecutado por el Servicio Departamental de Caminos Chuquisaca a través de un Convenio interinstitucional, suscrito con la Administradora Boliviana de Carreteras ABC.



Localización tramo experimental: Cruce Ruta F0 06 (San Miguel del Bañado - Heredia) – y la Ruta DH-31: Heredia – Ingavi – San Juan del Pirá

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(4) ANCADE, ANTER, IECA: Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid, 2013. Instituto español del cemento y sus aplicaciones.