

Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos

Hernán de Solminihaç T.

Profesor. Departamento Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

Gerardo Echeverría G.

Profesor. Departamento Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

Guillermo Thenoux Z.

Profesor. Departamento Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

RESUMEN: Este artículo presenta una primera visión de la estabilización de suelos, en base a una recopilación bibliográfica. Se describe la selección, dosificación y aspectos constructivos, relaciones con los tres estabilizantes químicos más utilizados en la práctica mundial: Cal, Cemento y Asfalto.

I. INTRODUCCION

El concepto de mejorar la capacidad de soporte de los suelos a través de su estabilización con aditivos es bastante antiguo; hace 5000 años atrás ya el suelo se estabilizaba con cal o puzolanas. A pesar de ello el verdadero auge de esta técnica y su consecuente desarrollo sólo comenzó a ser realmente significativo a partir de la Segunda Guerra Mundial, a raíz de la imperiosa necesidad de construir carreteras y aeropuertos en zonas con carencia de agregados de buena calidad.

En Chile, la estabilización de suelos para la construcción de caminos ha tenido escaso desarrollo, debido fundamentalmente a la abundancia de agregados convencionales en gran parte de su territorio, sin embargo la existencia de zonas con escasez o con altos costos de extracción y/o transporte, especialmente en áreas de desarrollo, pone en vigencia la necesidad de difusión de técnicas de estabilización que puedan aplicarse en dichas zonas. En este contexto se ha preparado el presente artículo, que corresponde a una recopilación bibliográfica sobre el tema.

La estabilización de suelos consiste en un tratamiento químico o mecánico para mejorar o mantener la estabilidad de una masa de suelo o para mejorar sus propiedades ingenieriles. La estabilización química consiste en alterar las propiedades del suelo usando un cierto aditivo, el cual mezclado con el suelo, normalmente produce un cambio en las propiedades moleculares superficiales de los granos del suelo y en algunos casos, pega los granos entre sí de modo de producir un incremento en su resistencia. La estabilización mecánica es la alteración de las propiedades del suelo cambiando su granulometría por medio de agregar o sacar partículas o por compactación del suelo.

Los aditivos comúnmente utilizados para la estabilización de suelos son: cal, cemento y asfalto. De acuerdo a la literatura (1 y 2) la estabilización de suelos produce las siguientes ventajas:

- mejora materiales marginales
- mejora la resistencia
- mejora la durabilidad
- controla el cambio de volumen del suelo
- mejora la trabajabilidad del suelo
- reduce los requerimientos de espesor de los pavimentos
- provee un suelo impermeable
- reduce el polvo

El objetivo principal de este trabajo es presentar algunos conceptos sobre estabilización química de suelos para la construcción del pavimento, de modo de estudiar su aplicabilidad a nuestro país. Este artículo comienza con una metodología para seleccionar el aditivo más adecuado para cada tipo del suelo; después describe las características principales de los tres aditivos más comunes: cal, cemento y asfalto, señalando además algunos métodos de dosificación, las principales especificaciones que deben cumplir los materiales y agregados y presentando algunas indicaciones sobre los procesos constructivos.

Las tablas y figuras de la bibliografía se han reproducido de los originales, por lo cual conservan el idioma (inglés) utilizados en dichos textos.

Es importante tener presente que existen dos objetivos globales para la estabilización de suelos. El primero, ya mencionado, es mejorar la calidad de la base, sub-base o suelo de sub-rasante de un pavimento y de este modo mejorar la estabilidad de la estructura completa del pavimento. El segundo objetivo, el cual podría tener aplicaciones y ventajas más inmediatas en Chile, es mejorar la superficie de rodado así como la estabilidad estructural de caminos no pavimentados.

II. SELECCION DEL TIPO DE ESTABILIZANTE

2.1 Generalidades

En rigor se debieran realizar ensayos de terreno para definir las características de los suelos a estabilizar, ensayos de laboratorio sobre mezclas de prueba para determinar las propiedades del suelo estabilizado y finalmente, con un análisis de costo y energía, determinar el método más conveniente. Excepto para proyectos muy grandes, este sistema no es normalmente aplicado y por lo tanto, se han desarrollado guías simplificadas para la selección del tipo de estabilización. Este capítulo presenta algunos criterios para elegir el estabilizante químico más adecuado.

2.2 Método de la Fuerza Aérea de U.S.A. (Air Forcé Manual AFM 88-51)

EL método señala dos tipos de estabilización más efectivos para los distintos suelos (Tabla N°1). Este método restringe el uso del asfalto a suelos granulares y la cal para arcillas de alta plasticidad. Posteriormente, con el aporte de A. Johnson (3), se completó esta tabla con información más detallada (Tabla N°2), la cual incluye otros estabilizadores químicos y a su vez establece las recomendaciones no sólo en base al tipo de suelo, sino que además de acuerdo al propósito buscado con la estabilización.

Tabla N°1: Recomendación del método de estabilización según el tipo de suelo (3).

Soil Types	Most Effective Stabilization Methods
Coarse granular soils	Mechanical blending, soil-asphalts Soil-cement, lime-fly ash
Fine granular soils	Mechanical blending, portland cement stabilization, lime-fly ash, soil – asphalt, chlorides
Clays of low plasticity	Compaction, Portland cement stabilization, chemical waterproofers, lime modification
Clays of high plasticity	Lime stabilization

Tabla N°2: Tipo de Suelos y Método de Estabilización Recomendado (3)

Purpose	Soil Type	Recommended Stabilization Methods
1. Subgrade Stabilization		
A. Improved load carrying and stress distributing characteristics	Coarse granular Fine granular Clays of low PI Clays of high PI	SA, SC, MB, C SA, SC, MB, C C, SC, CMS, LMS, SL SL, LMS
B. Reduce Frost Susceptibility	Fine granular Clays of low PI	CMS, SA, SC, LF CMS, SC, SL, CW, LMS
C. Waterproofing and improved runoff	Clays of low PI	CMS, SA, CW, LMS, SL
D. Control of shrinkage and swell	Clays of low PI Clays of high PI	CMS, SC, CW, C, LMS, SL SL
E. Reduce resiliency	Clays of high PI Elastic silts and clays	SL, LMS SC, CMS
2. Base Course Stabilization		
A. Improvement of sub-standard materials	Fine granular Clays of low PI	SC, SA, LF, MB SC, SL
B. Improved load carrying and stress distributing characteristics	Coarse granular Fine granular	SA, SC, MB, LF SC, SA, LF, MB
C. Reduction of pumping	Fine granular	SC, SA, LF, MB, membranes
3. Shoulders (unsurfaced)		
A. Improved load carrying ability	All soils	See Section 1A above, Also MB
B. Improved durability	All soils	See section 1A above
C. Waterproofing and improved runoff	Plastic soils	CMS, SL, CW, LMS
D. Control of shrinkage and swell	Plastic soils	See section 1E above
4. Dust palliative	Fine granular Plastic soils	CMS, CL, SA, oil or bituminous surface spray CL, CMS, SL, LMS
5. Ditch Lining	Fine granular Plastic soils	PSC, CS, SA PSC, CS
6. Patching and Reconstruction	Granular soils	SC, SA, LF, MB

KEY:

C	Compaction	LMS	Lime Modified Soil
CMS	Cement Modified Soil	MB	Mechanical Blending
CL	Chlorides	PSC	Plastic Soil Cement
CS	Chemical Solidifiers	SA	Soil Asphalt
CW	Chemical Waterproofers	SC	Soil Cement
LF	Lime Fly Ash	SL	Soil Lime

2.3 Método del triángulo granulométrico

Este método, utilizado por el Ejército y Fuerza Aérea de U.S.A., recomienda el tipo de estabilizante a partir de la clasificación del suelo empleando el triángulo granulométrico de la Figura N°1. Este triángulo separa los suelos en cinco categorías de acuerdo a:

- material retenido en malla N°4
- material que pasa malla N°4 y retenido en malla N°200
- material que pasa malla N°200

Luego el material se subclasifica de acuerdo al método USCS (Unified Soil Classification System) y se obtiene el tipo de estabilizante recomendado.

2.3 Método modificado del Bureau Public Roads

Oglesby y Hewes (4) modifican el método de la División of Physic Research, Bureau of Public Road. Este método se presenta en Figura N°2 y utiliza el índice de plasticidad, el porcentaje que pasa por la malla N°200, y el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO.

2.4 Método del U.S. Department of Transportation

El U.S. Department of Transportation sugiere, al igual que el Ejército y la Fuerza Aérea que el estabilizante más apropiado para un determinado suelo puede definirse en base a los límites de Atterberg y al análisis granulométrico. Este método se presenta en Figura N°3.

2.5 Consideraciones climáticas en la selección de un estabilizante

Una vez que el tipo de estabilizante ha sido seleccionado para un determinado tipo de suelos, se debe considerar el clima, ya que éste puede limitar el uso de los estabilizantes. En Tabla N°3 se presentan las consideraciones climáticas y de seguridad que recomienda el U.S. Department of Transportation en la utilización de los diferentes estabilizantes (2).

Tabla N°3 Limitaciones climáticas y precauciones de seguridad en la construcción (2)

Tabla N°3: Limitaciones Climáticas y precauciones de seguridad en la Construcción (2)

Type of Stabilizer	Climatic Limitations	Construction Safety Precautions
Lime and Lime-Fly Ash	<p>Do not use with frozen soils</p> <p>Air temperature should be 40 F (5 C) and rising</p> <p>Complete stabilized base construction one month before first hard freeze</p> <p>Two weeks of warm to hot weather are desirable prior to fall and winter temperatures</p>	<p>Quicklime should not come in contact with moist skin</p> <p>Hydrated lime $[Ca(OH)_2]$ should not come in contact with moist skin for prolonged periods of time</p> <p>Safety glasses and proper protective clothing should be worn at all times.</p>
Cement and Cement-Fly Ash	<p>Do not use with frozen soils</p> <p>Air temperature should be 40 F (5 C) and rising</p> <p>Complete stabilized layer one week before first hard freeze</p>	<p>Cement should not come in contact with moist skin for prolonged periods of time</p> <p>Safety glasses and proper protective clothing should be worn at all times</p>
Asphalt	<p>Air temperature should be above 32 F (0 C) when using emulsions</p> <p>Air temperatures should be 40 F (5 C) and rising when placing thin lifts (1-inch) of hot mixed asphalt concrete</p> <p>Hot, dry weather is preferred for all types of asphalt stabilization</p>	<p>Some cutbacks have flash and fire points below 100 F (40 C)</p> <p>Hot mixed asphalt concrete temperatures may be as high as 350 F (175 C)</p>

1 in. = 2.54×10^{-2} mm.

III. ESTABILIZACION CON CAL

3.1 Generalidades

Como el efecto beneficioso de la estabilización con cal es el resultado de varias reacciones entre la parte fina del suelo y la cal, los suelos granulares finos responden más favorablemente al uso de la cal como estabilizante. Se recomienda que la fracción bajo malla N°200 del suelo sea mayor de 10% y que el Índice de Plasticidad sea mayor de 10.

3.2 Selección del porcentaje de contenido de cal

El principal objetivo del diseño de la mezcla es establecer un contenido apropiado de cal para la construcción. Debido a la gran variedad de aplicaciones del suelo tratado con cal, se han desarrollado distintos métodos de diseño de las mezclas. Generalmente, la determinación del contenido de cal se basa en analizar el efecto de distintos porcentajes de cal respecto de una determinada propiedad de la mezcla. Para aplicaciones en capas de la estructura del pavimento, la propiedad normalmente considerado en el análisis es la resistencia a la compresión no confinada. Sin embargo también se estudia y analiza su estabilidad física respecto de cambios en la humedad ambiente. Los suelos finos, en general pueden ser estabilizados con 3% a 4% de cal en base al peso del suelo seco. Estas cantidades mínimas corresponden además a la cantidad de cal necesaria para poder ser esparcida y mezclada uniformemente en suelos cohesivos. A partir de esta recomendación, existen diferentes métodos detallados para determinar el contenido de cal apropiado. Los componentes básicos (2) de este proceso son generalmente los siguientes:

- a) preparación de la mezcla: el contenido de cal, normalmente se especifica en base al peso seco del suelo. Las mezclas de suelo-cal son normalmente preparadas primero mezclando en seco y luego agregando la cantidad requerida de agua.
- b) preparación de la probeta: la forma de las probetas para ensayos de resistencia son generalmente de forma cilíndrica, tipo proctor.
La densidad de la probeta debe ser controlada cuidadosamente, ya que la resistencia final de una mezcla suelo-cal es influenciada fuertemente por su densidad.
- c) condiciones de curado: Para los diferentes métodos de diseño existen diferentes recomendaciones respecto de tiempos, temperaturas y condiciones durante el período de curado, Tabla N°4 resume las recondiciones de algunos métodos.

- d) criterio para el diseño de una mezcla suelo-cal: para evaluar la eficiencia de una determinada mezcla de suelo-cal se necesita un criterio pre-determinado. Este criterio va a variar dependiendo de los objetivos de la estabilización y las condiciones que se espera tenga durante su vida útil. Para capas de pavimentos, se especifican requisitos de resistencia. Los requisitos de resistencia son generalmente más altos para material de base que para sub-bases. La Tabla N°5 resume algunos de estos requisitos y la Figura N°4 presenta una secuencia para el diseño de bases estabilizadas con cal (5).

3.3 Propiedades típicas de los suelos estabilizados con cal

En general, los suelos finos al mezclarse con cal presentan una disminución de su plasticidad, mejoran su trabajabilidad y reducen su susceptibilidad a cambios de volumen. Las propiedades de los suelos con cal son dependientes de muchas variables, entre las principales están: tipo de suelo, tipo de cal, porcentaje de cal y condiciones de curado.

3.4 Aspectos constructivos en los suelos estabilizados con cal

La versión moderna de la estabilización con cal es menor de 30 años. En estas últimas tres décadas ha habido un considerable avance en los procesos constructivos. Con el aumento del uso de suelos estabilizados con cal en diferentes condiciones climáticas a través del mundo, se ha desarrollado una diversidad de aplicaciones y técnicas constructivas. Estas variaciones se han debido a factores tales como: tipo de suelo, grado de estabilización requerido, complejidad del proyecto, limitaciones ecológicas y tipo del diseño de pavimento.

Básicamente existen tres métodos constructivos reconocidos para estabilizar con cal. Mezcla en sitio, mezcla en planta e inyección a presión.

Independientemente del tipo la aplicación requerida, el proceso constructivo involucra las siguientes etapas: preparación del suelo, esparcimiento de la cal, mezclado y adición de agua, compactación, terminación y curado.

Tabla N° 4: Requisitos de curado y resistencia de probetas (2).

Agency	Specimen Curing	Mínimum Strength Requirements, kPa	
		Base Course	Subbase
California DOT	Mixture 1s "loose cured" 24 hours prior to compaction.		
Illinois DOT	48 hours @ 120 F (48.9 C)	150	100
Louisiana DOT	7 day moist room, 8 hours air drying @ 140 F (60 C), 8 hours cooling, and 10 day capillary soaking at a confining pressure of 1 psi (AASHTO T-212)	100	50
Texas State Department of Highways and Public Transportation	AASHTO T220	100	50
Virginia Department of Highways and Transportation	72 hours @ 120 F (48.9 C)	Not Used	150

1 psi = 6.89 x 10³ Pa

Tabla N°5: Requisitos de resistencia a la compresión para mezclas de suelo cal (5).

TENTATIVE LIME-SOIL MIXTURE COMPRESSIVE STRENGTH REQUIREMENTS

Anticipated Use	Residual Strength Requirement ^b (psi)	Strength Requirements for Various Anticipated Service Conditions ^a			
		8-Day Extended Soaking (psi)	Cyclic Freeze-Thaw ^c (psi)		
			3 Cycles	7 Cycles	10 Cycles
Modified subgrade	20	50	50	90 50 ^d	120
Subbase					
Rigid pavement	20	50	50	90 50 ^d	120
Flexible pavement					
10-in. cover ^e	30	60	60	100 60 ^d	130
8-in. cover ^e	40	70	70	110 75 ^d	140
5-in. cover ^e	60	90	90	130 100 ^d	160
Base	100 ^f	130	130	170 150 ^d	200

^aStrength required at termination of field curing (following construction) to provide adequate residual strength.

^bMinimum anticipated strength following first winter exposure.

^cNumber of freeze thaw cycles expected in the lime-soil layer during the first winter of service.

^dFreeze-thaw strength losses are based on 10 psi/cycle except for these 7-cycle values that are based on a previously established regression equation.

^eTotal pavement thickness overlying the subbase; requirements are based on Boussinesq stress distribution; rigid pavement requirements apply if cemented materials are used as base courses.

^fFlexural strength should be considered in thickness design.

IV. ESTABILIZACION CON CEMENTO

4.1 Generalidades

La estabilización de suelos con cemento consiste en agregar cemento Portland a un suelo previamente pulverizado y permitir que esta mezcla se endurezca por la hidratación del cemento. Los principales factores que afectan las propiedades físicas de un suelo cemento son: tipo

de suelo, cantidad de cemento, grado de mezclado, tiempo de curado y densidad seca de la mezcla compactada.

Un amplio rango de suelos pueden ser estabilizados con cemento Portland, en todo caso, la mayor eficiencia y economía en comparación con otros aditivos se logra en arenas y arcillas con baja a media plasticidad. Si el índice de plasticidad excede en 30%, la mezcla del cemento y el suelo se hace muy difícil. Si el cemento se va a usar para estabilizar suelos de muy alta plasticidad, entonces primero se debe agregar cal para reducir el índice de plasticidad y mejorar la trabajabilidad y luego agregar el cemento.

De acuerdo al Highway Research Board, HRB 1943 (6), el suelo ideal desde un punto de vista económico, que puede ser estabilizado con cemento debe cumplir con los límites dados en Tabla N° 6. Esta tabla no indica que suelos que no cumplen con estos valores no pueda ser estabilizados con cemento, sino que el costo en estos casos puede ser relativamente alto.

Tabla N^ Suelos óptimos para ser estabilizados con cemento en forma económica (6)

MAXIMUM SIZE	3 inches
PASSING N°4 SIEVE ASTM	>50%
PASSING N°40 SIEVE ASTM	> 15 %
PASSING N°400 SIEVE ASTM	<50%
LIQUID LIMIT	<40%
PLASTICITY INDEX	< 18 %

4.2 Selección del contenido de cemento

Dependiendo de las características del proyecto, se pueden utilizar métodos aproximados o más detallados para determinar el contenido de cemento requerido en la estabilización.

- a) Cantidades aproximadas: la Tabla N°7 indica cantidades aproximadas de cemento dado diferentes tipos de suelos. Clasificados de acuerdo al sistema USCS (Unified Soil Classification System) 2).
- b) Método detallado: para proyectos de grandes magnitudes y cuando se requiere que el suelo cemento satisfaga condiciones de durabilidad, es necesario utilizar métodos más detallados y basados en un programa de ensayos. El diagrama de flujo presentado en la Figura N°5, complementado con las Tablas N° 7 y N°8 puede ser utilizado como base para determinar el contenido de cemento. La cantidad de agua a utilizar, se determina mediante el ensayo humedad-densidad (Proctor) (2).

4.4 Propiedades típicas de suelos estabilizados con cemento

Las propiedades de los suelos estabilizados con cemento dependen fuertemente de la densidad, el contenido de agua y las presiones de confinamiento. El desarrollo de propiedades generalizadas de este tipo de suelos es bastante complicado, ya que las propiedades finales también dependen del contenido de cemento, tiempo y condiciones de curado, entre otros factores.

En general, a un mayor contenido de cemento, mayor densidad mayor resistencia de la mezcla suelo-cemento.

4.5 Aspectos constructivos del suelo-cemento

Los procedimientos constructivos desarrollados para estabilización con cemento, han utilizado desde equipos simples de agricultura, hasta sofisticadas plantas dosificadoras mezcladoras. Independiente del equipo de construcción utilizado, se deben seguir algunos pasos básicos para materializar un suelo cemento:

Tabla N°7: Requerimiento de cemento para distintos tipos de suelo (2)

AASHO Soil Classification*	Unified Soil Classification	Usual Range in cement requirement**		Estimated cement content and that used in moisture-density test, percent by weight	Cement contents for wet-dry and freeze-thaw test percent by weight
		percent by vol.	percent by wt		
A-1-a SM	GW, GP, GM, SW, SP,	5-7	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	7-9	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	7-10	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	8-12	7 - 11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	8-12	7-12	10	8 -10 -12
A-5	ML, MH, CH	8-12	8-13	10	8 -10 -12
A-6	CL, CH	10-14	9-15	12	10 -12 -14
A-7	OH, MH, CH	10 - 14	10 - 16	13	11 -13 -15

*based on correlation presented by Air Forcé

**for most A horizon soils the cement should be increased 4 percentage points, If the soil is dark grey to grey, and 6 percentage points if the soil is black

Tabla N°8: Criterios de durabilidad, para el suelo cemento (2)

AASHTO Soil Group	Unified Soil Group	Max. Allowable Weight Loss - Percent
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	14
A-1-b	GM, GP, SM, SP	14*
A-2	GM, GC, SM, SC	14
A-3	SP	14
A-4	CL, ML	10
A-5	ML, MH, CH	10
A-6	CL, CH	7
A-7	OH, MH, CH	7

*10% is maximum allowable weight loss for A-2-6 and A-2-7 soils.

Additional Criteria:

1

1. Máximo volume changes during durability test should be less than 2 percent of the initial volume.
2. Máximo water content during the test should be less than the quantity required to saturate the sample at the time of molding.
3. Compressive strength should increase with age of specimen.

a) Escarificación y pulverización: el material que se va a utilizar se debe escarificar y pulverizar. Durante este último proceso es esencial que el material sea triturado lo más fino que sea económicamente posible. En general, las especificaciones indican que un 80% del material debe pasar por malla N°4.

b) Mezclado: sobre el material pulverizado se esparce el cemento correspondiente, ya sea a mano o con un espaciador automático, y luego, se mezclan ambos materiales en seco.

c) Adición de agua: a la mezcla de cemento y suelo en seco, se le agrega el agua correspondiente y se procede a mezclar nuevamente.

d) Compactación: esta mezcla es compactada por medio de rodillo pata de cabra, con neumático o rodillo liso. Es esencial que la compactación sea realizada lo antes posible, de modo que la densidad deseada sea obtenida antes de que se inicie la reacción agua-cemento.

e) Compactación final: esta última etapa en el proceso de construcción de suelo cemento es la compactación final realizada con rodillo neumático y rodillo liso, usados en conjunto con una motoniveladora de modo de darle la forma definitiva del suelo de fundación o perfil del camino.

V. ESTABILIZACION CON ASFALTO

5.1 Generalidades

La estabilización de suelos con asfalto cumple principalmente con los siguientes objetivos:

- impermeabilización de suelos planos de sub-rasante
- mejoramiento de materiales poco aptos
- aporte estructural, lo que permite una reducción en el espesor de las capas superiores
- provisión de capas de rodadura para uso temporal
- reducción de polvo.

5.2 Mecanismos de la estabilización con asfalto

Los mecanismos de la estabilización de suelos con asfalto difieren significativamente de aquellos que intervienen en las estabilizaciones con cemento o cal.

El asfalto no reacciona químicamente con el suelo. El asfalto se localiza físicamente en tomo a las partículas, mejorando la impermeabilización del suelo. De este modo suelos finos susceptibles al agua mejoran sus propiedades mecánicas tales como resistencia al corte, compresión, tensión, flexión y módulo elástico.

En materiales no cohesivos, tales como: arenas y gravas, se desarrollan dos mecanismos: impermeabilización y adherencia. El primer mecanismo es similar al descrito en los suelos finos. El segundo, adherencia, corresponde a la unión de las partículas de agregado con asfalto, este fenómeno aumenta la resistencia al corte, debido a que le confiere cohesión.

Suelos aptos para ser estabilizados con asfalto

5.3.1 Suelos Finos

La habilidad de un suelo fino para ser estabilizado con asfalto depende de sus características de plasticidad y del porcentaje de suelo que pasa la malla N°200 (0,080 mm).

Debido a que las partículas finas tienen una alta superficie específica, la cantidad de asfalto requerida para cubrirlas todas, sería excesiva, por lo tanto, se recubrirán aglomeraciones de partículas con porcentajes menores de asfalto.

Las características de granulometría y consistencia que deben cumplir los suelos finos para ser estabilizados con asfaltos se indican en la tabla N°9 (2).

5.3.2 Suelos granulares

Las propiedades de los suelos no cohesivos requeridas para poder ser estabilizados con asfalto se muestran en la Tabla N°9, en ella se han identificado como arena-asfalto y arena-grava asfalto. Los materiales especificados para mezclas de concreto asfálticos son obviamente también aptos para ser estabilizados con asfalto.

Tabla N°9: Propiedades de materiales aptos para ser estabilizados con asfalto (2)

X Passing Sieve	Sand-B1turnen	Sol 1-B1 turnen	Sand-Gravel 81 turnen
1-12"			100
1"	100		
3/4"			60-100
No. 4	50-100	50-100	35-100
No. 10	40-100		
No. 40		35-100	13-50
No. 100			8-35
No. 200	5-12	Good - 3-20 Fair - 0-3 & 20-30 Poor - >30	
Liquid Limit		Good - <20 Fair - 20-30 Poor - 30-40 Unusable - >40	
Plasticity Index	10	Good - <5 Fair - 5-9 Poor - 9-15 Unusable - >12-15	10

Includes slight modifications later made by Herrín.

1 in. - 2.54 X 10-2 mm

5.4 Selección del tipo y contenido de asfalto

La selección del tipo y cantidad de asfalto está influenciada por diversos aspectos; entre los principales cabe destacar: métodos y equipos de construcción, tipo de capa, condiciones de carga y ambientales, y propiedades de los agregados.

- **Métodos y equipo de construcción.** Los métodos de construcción se pueden clasificar primariamente en dos tipos fundamentales: mezclados en planta (en caliente o en frío) y mezclado en sitio. Los cementos asfálticos están circunscritos, en general, a las mezclas en planta en caliente. Los asfaltos cortados (cutbacks) y las emulsiones se utilizan tanto en mezclas en planta como en sitio.
- **Tipo de capa.** Los materiales estabilizados con asfalto pueden utilizarse como capa de rodadura, base y/o sub-base, cada una de estas capas puede requerir diferentes tipos y/o cantidades de asfalto. Los cementos asfálticos se utilizan de preferencia en capas de rodadura y estructuras de pavimentos de alta resistencia. Los asfaltos cortados y las emulsiones se usan frecuentemente en bases y sub-bases mezcladas en planta o en sitio.
- **Condiciones de carga y ambientales.** El tipo de carga (estática o dinámica), la magnitud de carga (tanto de carga total como de carga por rueda) y las condiciones climáticas (temperatura y humedad), antes y después de la construcción, constituyen un antecedente de importancia al momento de seleccionar el tipo y grado (penetración) del asfalto.
- **Propiedades de los agregados.** La distribución granulométrica, la capacidad de absorción y la calidad del agregado, deben considerarse en la selección del grado del asfalto o residuo asfáltico. Del tamaño y distribución porcentual de las partículas dependerá, en gran medida, la cantidad de asfalto que se deberá utilizar en la mezcla.

La dosificación de las mezclas en caliente se realiza a través de métodos de laboratorio normalizados, Marshall, Hveem, etc.

Para las mezclas en frío, especialmente las realizadas en sitio, se estima el porcentaje de asfalto a partir de fórmulas empíricas basadas en la granulometría de los agregados y se ajusta el porcentaje final mediante mezclas de prueba.

Las fórmulas entregadas son aproximadas y deberán ser corregida en terreno, basado en la experiencia del ingeniero a cargo y de acuerdo a los resultados que se esten obteniendo con el método constructivo aplicado.

Para asfaltos en frío, The Asphalt Institute (7), recomienda la siguiente expresión:

$$p = 0,02 a + 0,07b + 0,15c + 0,20d \quad [1]$$

donde:

P = porcentaje de asfalto residual, en peso de los agregados secos

a= porcentaje de agregado retenido en la malla Ns 50 (0,315 mm)

b = porcentaje de agregado que pasa la malla N° 50 (0,315 mm) y retenido en la malla N° 100 (0,160 mm).

c = porcentaje de agregado que pasa la malla N° 100 (0,160 mm) y retenido en la malla N°200 (0,080).

d = porcentaje de agregado que pasa la malla N°200 (0,080mm.)

Para el uso de emulsiones, The Asphalt Institute recomienda:

$$p = 0,05A + 0,1B + 0,5C \quad [2]$$

donde:

P= porcentaje de emulsión asfáltica, en peso de los agregados secos

A= porcentaje de agregado retenido en la malla Na 8 (2,50 mm)

B = porcentaje de agregado que pasa por la malla N9 8 (2,50 mm) y retenido en la malla N°200 (0,080 mm)

C = porcentaje de agregado que pasa por la malla N9 200 (0,080 mm)

VI. COMENTARIO FINAL

El trabajo presentado corresponde a una recopilación bibliográfica y tiene por objeto servir de introducción al tema para aquellos lectores que no hayan tenido alguna experiencia previa en este campo.

REFERENCIAS

1. Yoder E. J., and M. W. Witzak. Principles of Pavement Desing. Second Edition. New York: John Wiley & Sons Inc., 1975.
2. Soil Stabilization in Pavement Structures: A User's Manual. Washington D. C.: U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, 1979.
3. National Cooperative Highway Research Program. Lime-fly Ash-estabilized bases and sub-base. Synthesis 37, 1976.

4. Oblesby C. H., and L. I. Hewes. Highway Engineering. New York: John Wiley and Sons, 1963.
5. Epp J.A., W. A. Dunlap, B. M. Gallaway, and D. D. Currin. Soil Stabilization: A Mission Oriented Approach. Compendium 8: Chemical Soil Stabilization. TTSDC. TRB. Washington D. C., 1979.
6. Highway Research Board. Use of sub-cement mixtures for base courses. Road Problems N°7. Washington D. C., 1943.
7. The Asphalt Institute. Asphalt Cold-Mix Manual. MS-14. Maryland, 1977.

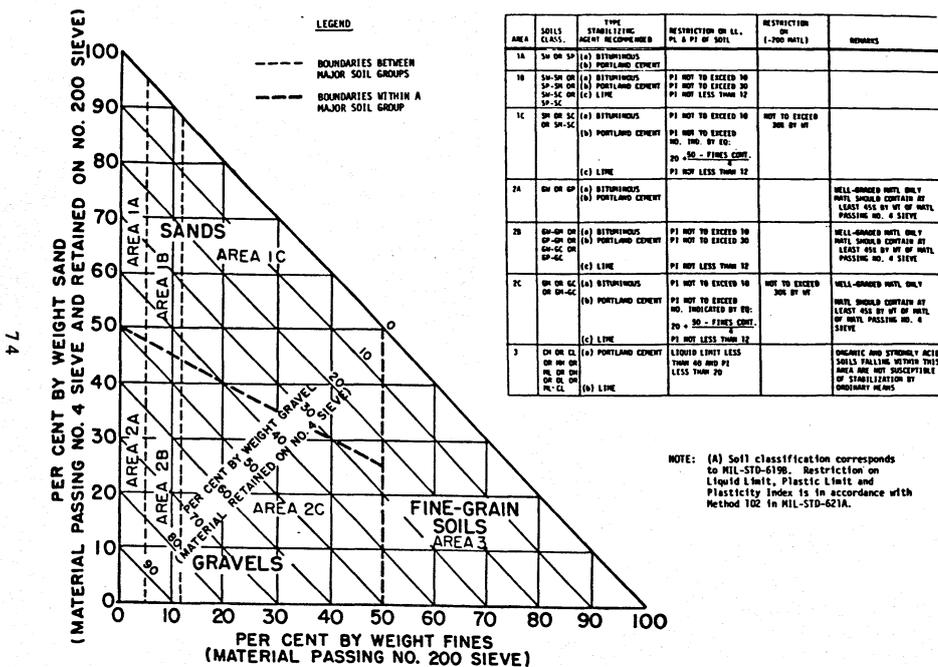


Figura N°1 Triángulo granulométrico y selección del estabilizante (2)

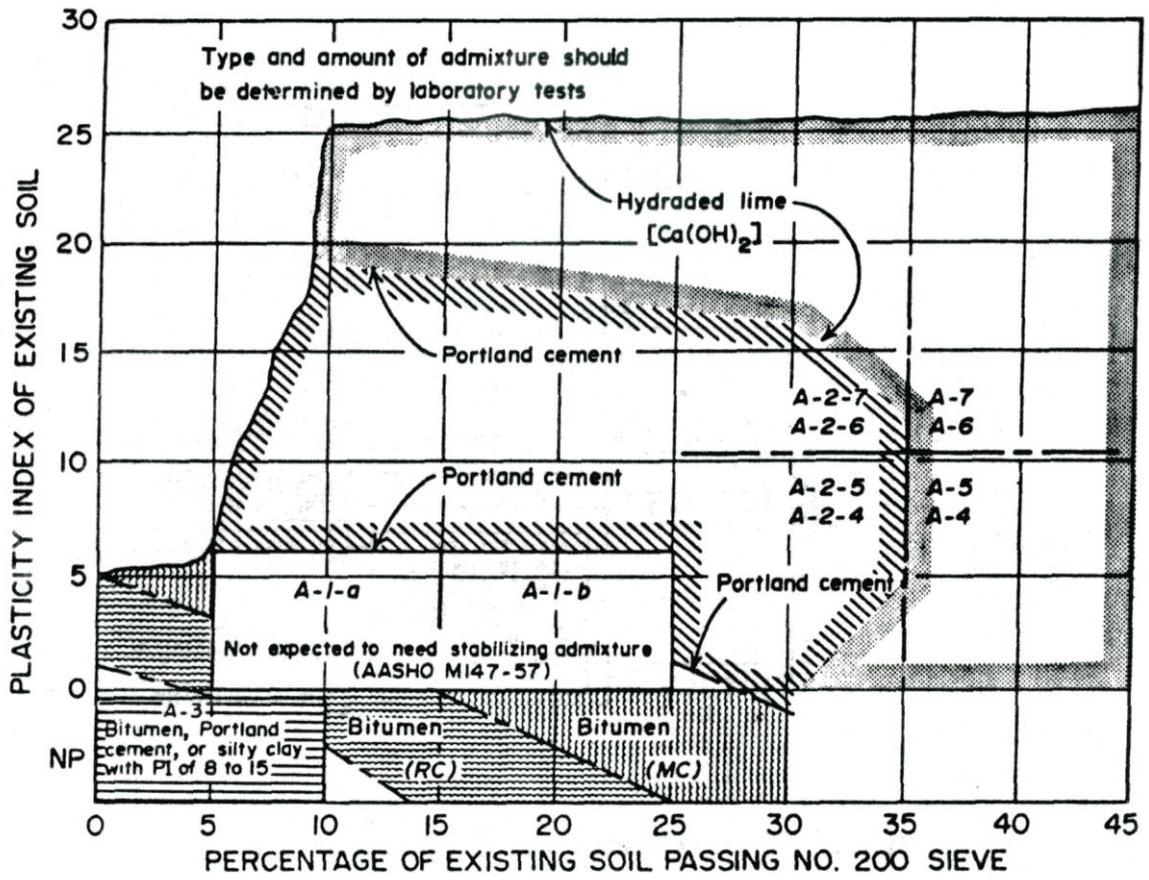


Figura N°2 Estabilizante recomendado según la clasificación del suelo (2)

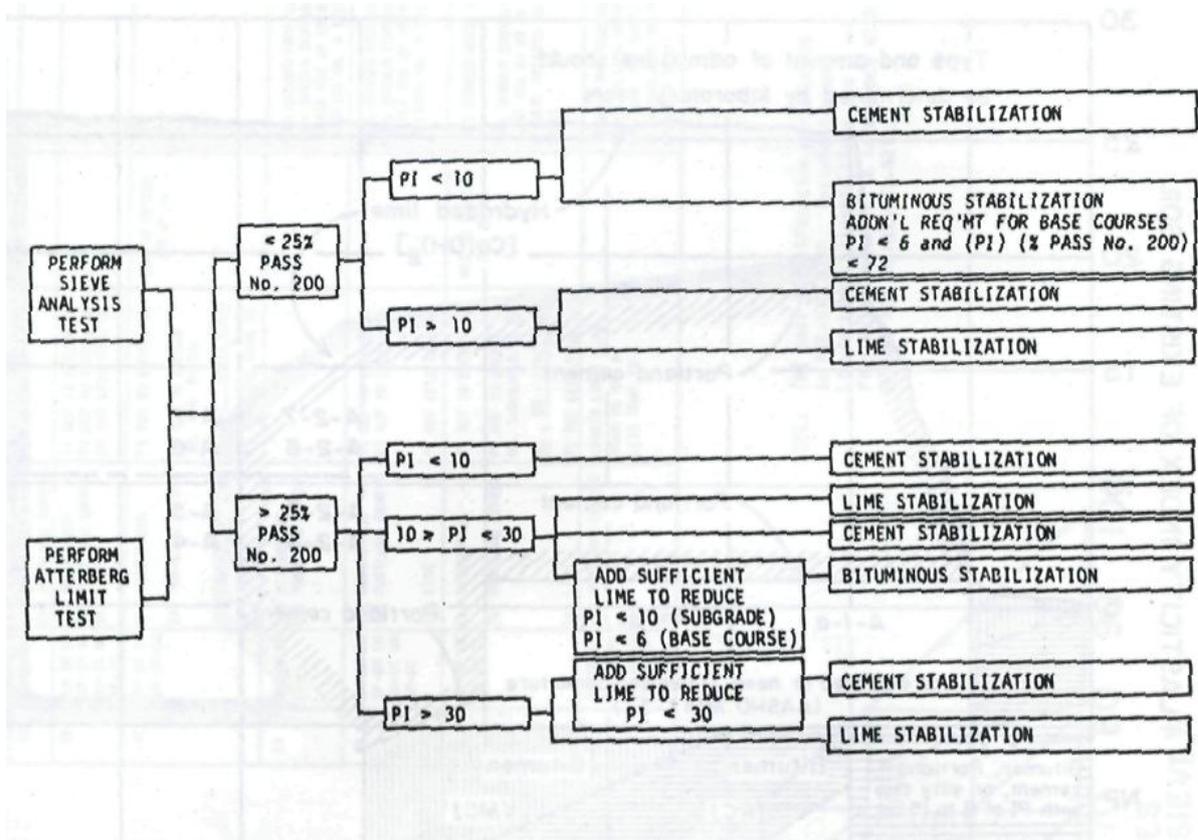


Figura N°3 Selección del estabilizador (2)

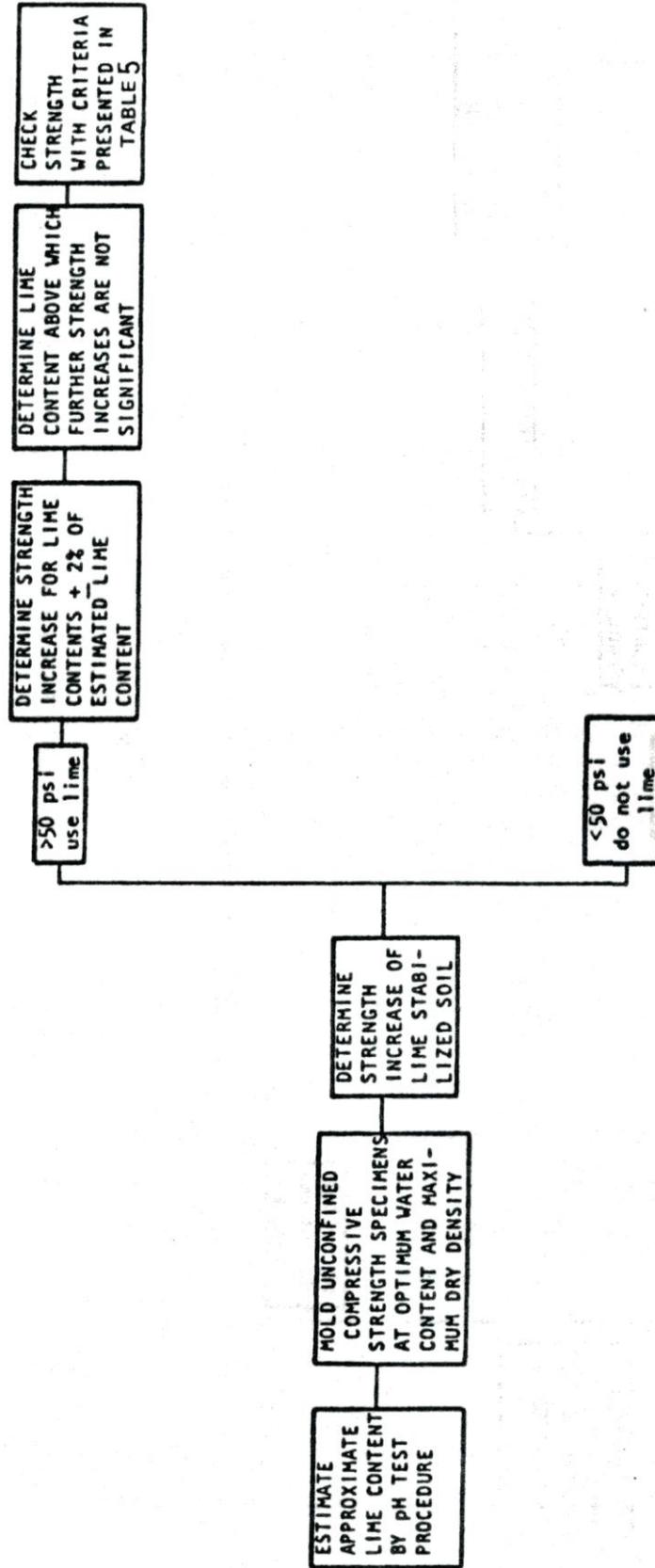


Figure 3. Subsystem for base course stabilization with lime.

Figura N°4 Diagrama para la estabilización de capas de base con cal (5)

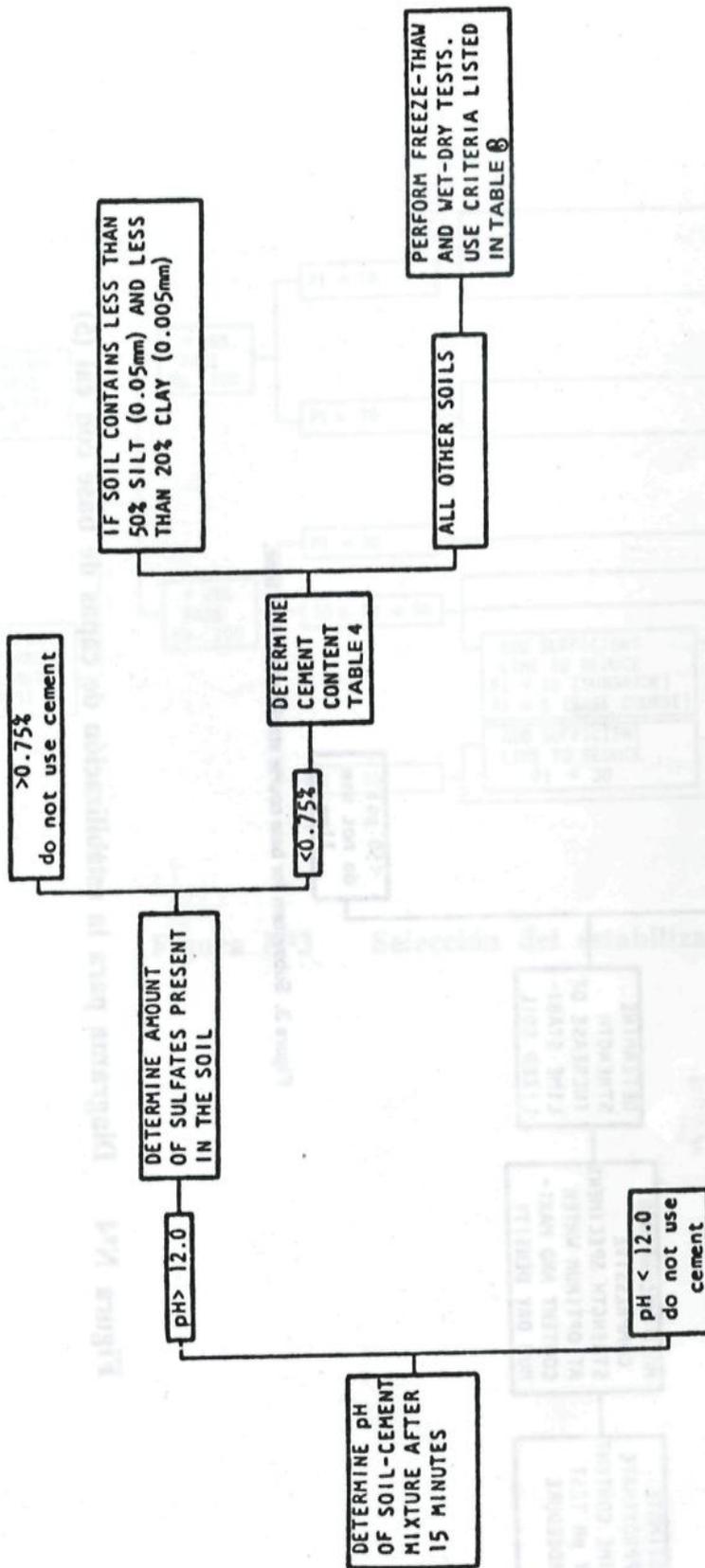


Figure 4. Subsystem for base course stabilization with cement.

Figura N°5 Diagrama para la estabilización de capas de base con cemento (5)