



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

"CONSOLIDACIÓN QUÍMICA DE SUELOS CON CAL Y CEMENTO PORTLAND EN TRAMOS VIALES A MÁS DE 2300 MSNM, APLICANDO LA NORMAS DEL MTC-2014, CASO: CAMINO VECINAL LA LIBERTAD-MIRAFLORES-BURGOS, HUARANGO, SAN IGNACIO, CAJAMARCA".

Presentado por el Bachiller:

LUIS ALBERTO HERNANDEZ GONZALES

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

LIMA – PERÚ

2016

DEDICATORIA

ES MI DESEO COMO SENCILLO GESTO DE
AGREDECIMIENTO, DEDICARLE MI
TRABAJO DE GRADO PLASMADA EN
LA PRESENTE TESIS
PRIMERAMENTE A DIOS, LUEGO A MI
ESPOSA TERESA POR SU AMOR,
PERMANENTE CARIÑO Y
COMPRESION.

A MIS HIJAS CARMEN, MIRIAN Y LAURA, A MIS PADRES
JUAN Y CARMEN, QUIENES
PERMANENTEMENTE ME
APOYARON CON ESPIRITU
ALENTADOR, CONTRIBUYENDO
INCONDICIONALMENTE A LOGRAR
LAS METAS Y OBJETIVOS
PROPUESTOS.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por haberme dado la fortaleza, todas las bendiciones y haberme guiado en el camino al logro de mis metas y objetivos.

A la Universidad Alas Peruanas por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional.

A los docentes que colaboraron brindándome su apoyo para la elaboración del trabajo.

- *A todos los docentes de la facultad de ingeniería civil, ya que gracias a su dedicación y enseñanza estoy cumpliendo una de mis metas, ser un gran profesional Con valores y dedicación.*

RESUMEN

El estudio se basa en la consolidación química de suelos en tramos viales con cal y cemento portland; para mejorar e incrementar su resistencia, rigidez, durabilidad y su valor de CBR. Así como modificar el comportamiento de sus propiedades físicas-mecánicas del suelo, haciendo un adecuado nivel de transitabilidad que facilite el traslado de la producción agropecuaria, carga y pasajeros. Camino Vecinal la Libertad-Miraflores-Burgos".

Mejoramiento de la subrasante, pendientes excesivas, radios menores, clasificación de suelo según - A.A.S.H.T.O – M 145 -IG, S.U.C.S A.S.T.M. D 2487 clasificación del material: material suelto 65%, roca suelta 30%, roca fija 5%, CBR 2%,3%,4%,6% y 9%, carretera no Pavimentadas de bajo volumen de tránsito ($IMD \leq 200$ veh/día), Pavimento Tipo T1 42 veh/día (16-50 veh/día), velocidad directriz de diseño igual a 20 Km/h, ancho de plataforma 4m, Afirmado de 26.67 Km de longitud, con material granular variable y usos de aditivos químicos, Localidades de paso La Libertad, El Arenal, Las Piñas, Miraflores, Buena Esperanza y Burgos.

Construcción de, 74 Alcantarillas de TMC 36", 08 banquetas, 15 badenes de concreto ciclópeo, y 24,287.02 mt. De cunetas de tierra de sección triangular con una profundidad de 0.50 m y ancho de 1.00, instalación de 27 señales preventivas, 06 señales informativas, 03 reglamentarias y 27 postes kilométricos, implementación de un plan de manejo y adecuación ambiental.

Palabra Clave: Consolidación Química con Cal y Cemento Portland.

SUMMARY

The study is based on the chemical soil consolidation in road sections with lime and portland cement; to improve and increase their strength, stiffness, durability and value of CBR. And modify the behavior of their physical-mechanical properties of the soil, making an adequate level of walkability to facilitate the transfer of agricultural production, cargo and passengers. Freedom Road Vecinal-Miraflores-Burgos.

Subgrade improvement, excessive slopes, smaller radii, soil classification according - AASHTO - M 145 -IG, ASTM D 2487 SUCS material classification: 65% loose material 30% loose rock, rock fixed 5%, 2% CBR, 3%, 4%, 6% and 9%, unpaved road low traffic volume ($IMD \leq 200$ veh / day), T1 Floor Type 42 veh / day (16-50 veh / day), guideline design speed equal 20 km / h, width 4m platform, affirmed of 26.67 km long, with varying granular material and use of chemical additives, passing Localities La Libertad, El Arenal, Las Pinas, Miraflores, Good Hope and Burgos.

Construction of 74 culverts TMC 36 "08 banquettes, 15 cyclopean concrete speed bumps, and 24,287.02 mt.Ditch triangular section of land with a depth of 0.50 m width 1.00, installation of 27 warning signs, informational signs 06 03 regulations and 27 kilometer posts, implementing a management plan and environmental adaptation.

Keyword: Chemical Consolidation with Lime and Portland cement.

INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
SUMARY	5
INDICE	6
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO PROBLEMÁTICA	9
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:	9
1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.2.1. Espacial:.....	9
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.3.1 Problema General:	10
1.3.2 Problemas Específicos:	10
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.4.1 Objetivo General:.....	10
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	10
1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	11
1.5.1 Hipótesis General:	11
1.5.2 Hipótesis Específicas:.....	11
1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.6.1 Variable independiente:.....	11
1.6.2 Variables dependientes:.....	11
1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.8.1 Población:	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO:	13
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:	13
2.2 BASES TEÓRICAS:	14
Definición de cemento portland.....	20
Definición de Estabilización	22
Definición de Estabilización con Suelo - Cemento Portland.....	22

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:	23
Tipos de Suelos.....	27
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	35
3.1 CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO	35
Calculo del espesor de reemplazo en función a la resistencia del suelo	40
✓ Métodos de Estabilización de Suelos.	58
✓ Métodos Mecánicos	59
✓ Métodos Físicos.....	60
✓ Métodos Químicos.....	60
CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS	61
4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL	61
ESTUDIOS BASICOS	70
ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS.....	73
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
5.1. RESULTADOS AL ESTABILIZAR CON CAL.....	76
5.2. Resultados al Estabilizar con Cemento Portland.....	78
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	84
FUENTES DE INFORMACIÓN	85

INTRODUCCIÓN

La consolidación química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto.

La consolidación 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 físicas-mecánicas del suelo, resultando un incremento en su resistencia, rigidez y valor de CBR.

La consolidación de suelos con cal es aplicable a suelos arcillosos busca reducir su plasticidad, mejorando su resistencia, durabilidad, rigidez y su valor de CBR la cal es el único producto capaz de proveer una variedad de beneficios, puede ser utilizada en suelos inestables para: secar, modificar, estabilizar, disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.

La consolidación de suelo con cemento portland, es la más utilizada en el mundo es muy sencilla de realizar y no se necesita equipo especial de construcción. Al mezclar suelo con cemento portland, permite que la mezcla se endurezca por hidratación del cemento, se produce un nuevo material, duro, resistente y rígido, además mejora las propiedades físicas-mecánicas, es aplicable para estabilizar suelos arcillosos de baja plasticidad, suelos arenosos y suelos granulares.

El mejoramiento del camino vecinal La libertad-Miraflores-Burgos traerá muchas ventajas socioculturales, permitirá la generación de empleo temporal, incremento del valor de las tierras, traslado de la producción agropecuaria, carga y pasajeros, acceso a los servicios básicos de educación y salud; mejoramiento en los niveles de ingreso familiar y las posibilidades de intercambio socioeconómico, mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores de la zona.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO PROBLEMÁTICA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:

Con la finalidad de impulsar el desarrollo y la paz social de las localidades que se encuentran ubicadas en el Distrito de Huarango, el Gobierno del Perú, por intermedio de la Municipalidad Distrital de Huarango, ha programado entre otros la elaboración del Estudio Definitivo del Proyecto "MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL LA LIBERTAD-MIRAFLORES-BURGOS" para entrega al Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) y así mismo derivada al Ministerio de Transporte y comunicaciones (MTC)

Según lo propuesto por el Estudio de Pre Inversión Declarado Viable, la intervención pública está orientada al mejoramiento del camino vecinal La Libertad-Miraflores-, en 26,67 Km a nivel de afirmado, considerándose además la implementación de Obras de Arte y Drenaje, Señalización y Plan de Mitigación de Impactos Ambientales a lo largo de su recorrido.

El mejoramiento del camino vecinal, traerá muchas ventajas socioculturales, turísticas, permitirá la generación de empleo temporal, incremento del valor de las tierras, acceso a los servicios básicos de educación y salud; mejoramiento en los niveles de ingreso familiar y las posibilidades de intercambio socioeconómico, mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores de la zona.

1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Espacial:

El proyecto se realizara en la provincia de La Libertad – Miraflores Burgos Huarango, San Ignacio, Cajamarca

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Problema General:

- ❖ ¿Cómo consolidar el nivel de transitabilidad que facilite el traslado de la producción agropecuaria, carga y pasajeros?

1.3.2 Problemas Específicos:

- ❖ ¿Cómo consolidar el suelo aplicando las normas del MTC-2014 de estabilizadores químicos y mejorar sus características, resistencias y durabilidad propias del suelo para tramos viales del camino vecinal la Libertad-Miraflores-Burgos?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General:

- ❖ Consolidación el suelo en tramos viales con cal y cemento portland; para mejorar e incrementar su resistencia, rigidez, durabilidad y su valor de CBR. Así como modificar el comportamiento de sus propiedades físicas-mecánicas del suelo, haciendo un adecuado nivel de transitabilidad que facilite el traslado de la producción agropecuaria, carga y pasajeros.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- ❖ Consolidación del suelo con la incorporación de aditivos químicos aplicando las normas del MTC-2014 de estabilizadores químicos y mejorar sus características, resistencias y durabilidad propias del suelo para tramos viales del camino vecinal la Libertad-Miraflores-Burgos.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis General:

- ❖ consolidar el nivel de transitabilidad que facilite el traslado de la producción agropecuaria, carga y pasajeros sería el resultado de consolidar el nivel de transitabilidad.

1.5.2 Hipótesis Específicas:

- ❖ consolidar el suelo aplicando las normas del MTC-2014 de estabilizadores químicos y mejorar sus características, resistencias y durabilidad propias del suelo para tramos viales del camino vecinal la Libertad-Miraflores-Burgos, sería el resultado de aplicar las normas del MTC-2014.

1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Variable independiente:

CASO: CAMINO VECINAL LA LIBERTAD-MIRAFLORES-BURGOS, HUARANGO, SAN IGNACIO, CAJAMARCA.

1.6.2. Variables dependientes:

CONSOLIDACIÓN QUÍMICA DE SUELOS CON CAL Y CEMENTO PORTLAND EN TRAMOS VIALES A MÁS DE 2300 MSNM, APLICANDO LA NORMAS DEL MTC-2014.

1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Tipo de Investigación: la Investigación es correlacionar y mixta.

Según el Manual del Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC) clasifica a las carreteras según su Índice

Medio Diario de Transito (IMD), para este caso pertenece a carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito ($IMD \leq 200$ veh/día), basándose para este estudio en la estabilización química de suelos con cal y cemento portland en tramos viales a más de 2300 msnm, aplicando la normas del MTC-2014, caso: camino vecinal la libertad-Miraflores-Burgos, Huarango, san Ignacio, Cajamarca.

Así mismo para esta carretera no pavimentada de Bajo Volumen de Transito (BVT) Le corresponde un Tipo Tp1, donde la vía a mejorar es para un solo carril con circulación de tránsito en dos sentidos con ubicación de plazoletas.

- 1.7.2. Nivel de Investigación: pertenece al nivel descriptivo.
- 1.7.3. Métodos de Investigación: método científico.
- 1.7.4. Diseño de investigación: Las principales Características Técnicas

de la vía en concordancia con las metas propuestas en el estudio de Pre Inversión y el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, el camino vecinal tendrá las siguientes características técnicas.

1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Población:

2 Tabla 1.2 censo 1996-2007

Población	Año	Población
Población Censo	1993	618
Población Censo	2007	677
Población Calculada	2012	717

Fuente INEI.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO:

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

La Universidad de Missouri en 1950, utilizó cal y cemento específicamente para estabilizar caminos. A partir de allí esta técnica aumentó su popularidad con gran rapidez se generalizó su uso prácticamente por todo el mundo, se comenzaron a construir miles de kilómetros de carreteras, así como aeropuertos principales como el de Dallas Fort Worth en (EE.UU).

En 1969 el Instituto Eduardo Torroja como el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo (hoy centro de estudios de Transporte del Cedex de España), estudiaron en laboratorio estos materiales, poniendo a punto los ensayos para la dosificación y control de las mezclas.

En Argentina, Vialidad Nacional realizó la primera experiencia en el año 1981 en una sección experimental en el tramo San Justo de la Ruta Nacional 11. Luego de algunos años se incluyó la estabilización con cal y cemento portland en sub-base al 3% en peso de cal.

En el Perú el uso de aditivos químicos como estabilizantes de suelos en carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito ($IMD \leq 200$ veh/día) es limitado frente al uso del afirmado que es más habitual, a pesar que son las más numerosas en la red vial vecinal.

Actualmente en el mercado existen una gama de productos estabilizadores de suelos de distinta naturaleza tales como cemento portland, cal, enzimas, cloruro de magnesio, cenizas, ligninas asfalto, sales, polímeros, etc.

En otros países han dado buenos resultados, aplicados correctamente, estos productos ofrecen una mejor capa de rodadura, mejor subrasante, disminución de los costos de operación, menores gastos de mantenimiento y mejora de las propiedades físicas-mecánicas del suelo.

2.2 BASES TEÓRICAS:

Ensayos para determinar las Propiedades Físicas de los Suelos

- a) Determinación del contenido de humedad:
- b) Determinación del límite líquido
- c) Análisis granulométrico:

Ensayos para determinar las Propiedades Mecánicas de los Suelos

Los ensayos de resistencia miden la capacidad actual de los materiales para resistir deformaciones. Existen diferentes métodos para medir la resistencia de los suelos de la subrasante que se han sometido a cargas dinámicas de tránsito:

- Relación de valor soporte California (CBR)
- Valor de Resistencia Hveem (Valor R)
- Valor de Resistencia Hveem (Valor R)
- Ensayo de plato de Carga (Valor K)
- Penetración dinámica con cono (PR)
- Módulo resiliente (Mr)

- Caracterización de los suelos.

La caracterización de los suelos se lleva a cabo por medio de dos tipos de parámetros conocidos como parámetros de naturaleza y parámetros de estado.

A continuación se describe cada uno de ellos:

- Parámetros de naturaleza.

Se caracterizan porque no varían ni con el tiempo ni a lo largo de las manipulaciones que puedan realizarse a los suelos durante los trabajos, los más importantes son:

Variación volumétrica.

Muchos suelos se expanden y se contraen debido a los cambios en su contenido de humedad.

Permeabilidad.

Se consideran importantes las presiones de poro y los relacionados con el flujo de agua a través del suelo; ya que estos dos fenómenos provocan su debilidad en su resistencia o su estabilidad.

Granulometría.

Son los tamaños de los granos que participan (como porcentaje de peso total) de la composición del suelo que representan. Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos

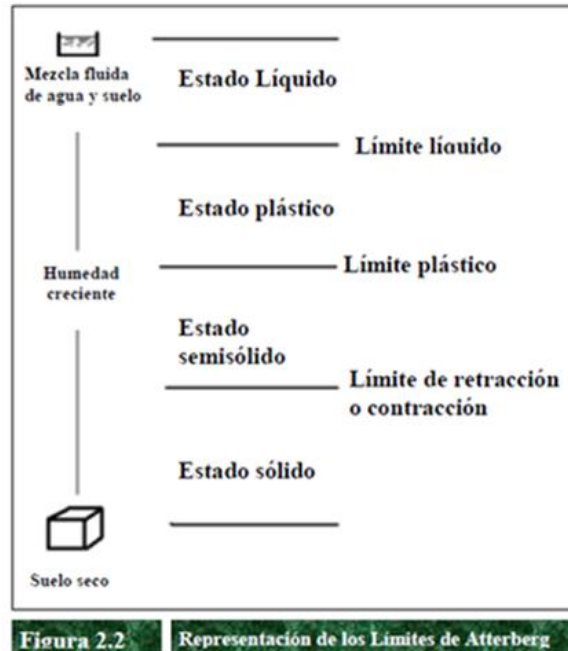
Plasticidad.

La plasticidad es la propiedad que tiene el suelo para cambiar de forma (dentro de un rango de humedad dado) y mantener sin perder volumen ni romperse cuando se someten a fuerzas de compresión.

Límites de A. Atterberg.

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Maurita Atterberg. (1846-1916). Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. A estos cambios de humedad de un estado al otro son denominados límites de Atterberg.

Grafico 2.4 Representación de los límites de atterbert



Fuente: Propia

Límite líquido (LL).

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico.

Límite plástico (LP).

El límite plástico de un suelo es el más bajo contenido de agua en el que el suelo sigue presentando plasticidad.

Límite de contracción (Pc).

Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.

Índice de plasticidad (IP).

El Índice de Plasticidad (IP) es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil.

- Parámetros de estado.

Estos parámetros no son propios de las características del suelo sino de las condiciones ambientales en que se encuentran. El método más conocido para indicar el estado hídrico de un suelo es referirse a los valores de los ensayos PROCTOR y CBR, realizados sobre cada suelo o clase de suelo a estudiar.

Resistencia mecánica.

En los suelos la humedad es muy importante porque determinan la capacidad de estos para resistir las cargas y mantener su estructura en condiciones estables de trabajo hasta ciertas humedades, los suelos pueden mantener resistencias aceptables pero cuando hay excesos de agua se debilitan y pierden la resistencia, que se manifiestan en hundimientos, grietas, cuarteamientos, hinchamientos, etc.

La compactación (ensayo proctor).

Cuando se compacta un suelo con una energía de compactación dada, se comprueba que su densidad seca, referida al suelo en estado seco, varía en función del contenido en agua hasta alcanzar un máximo de densidad correspondiente a un contenido de humedad que se denomina óptimo.

La capacidad portante (ensayo CBR).

El ensayo CBR (California Bering Ratio), consiste en medir la resistencia a un suelo sobre las probetas confeccionadas por el procedimiento del ensayo proctor y comparar los valores obtenidos con un valor de referencia patrón. Se mide así

la capacidad portante del suelo o lo que es lo mismo su capacidad de soportar una carga para cada pareja de valores de densidad-humedad. Se expresa por el índice portante CBR en % del valor de referencia. Cuanto más elevado es el CBR más capacidad portante tiene el suelo.

Definición de la Cal.

Es un producto que se obtiene de la descomposición de las rocas calizas por la acción del calor. Estas rocas calentadas entre 900 y 1000° C se obtienen el óxido de calcio, conocido con el nombre de cal viva, producto sólido de color blanco y peso específico de 3.4 kg./dm. Bajo esta denominación se incluyen todos los productos de calizas sometidas al proceso de cocción.

Estos productos aportan el calcio (Ca) en forma de óxido de calcio (CaO), conocido con el nombre de cal viva, y el hidróxido de calcio Ca(OH₂), conocido con el nombre de cal apagada.

Fabricación de la cal

La caliza es una roca sedimentaria porosa de origen químico, formada mineralógicamente por carbonatos. Cuando tiene alta proporción de carbonatos de magnesio se le conoce como dolomita. Petrográficamente tiene tres tipos de componentes: granos, matriz y cemento.

Es una roca muy importante como reservorio de petróleo, dada su gran porosidad. Tiene una gran resistencia a la meteorización, eso ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en dichas rocas hayan llegado hasta nosotros. A continuación se indican los procesos de fabricación.

1. Extracción
2. Trituración
3. Calcinación
4. Enfriamiento
5. Inspección
6. Cribado, trituración y pulverización
- 7 Hidratación
8. Envase y embarque

Tipos de cal.

La palabra cal es un término general con el que se designan formas físicas y químicas de Las diferentes variedades en que pueden presentarse los óxidos e hidróxidos de calcio y magnesio. A efectos de clasificación se distinguen los siguientes tipos de cal:

Cales Vivas

Cales que se componen principalmente de óxido e hidróxido de calcio y magnesio, los cuales endurecen lentamente al aire por la acción del CO₂ de la atmosfera. No presentan propiedades hidráulicas, es decir, no endurecen con el agua y se obtienen a partir de rocas calizas con contenidos en carbonatos superiores al 95%.

Cales hidratadas.

Se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante.

Cal hidráulica

Cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO₂) y alúmina Al₂O₃) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua.

Cales utilizadas para la estabilización de suelos.

Las calles utilizadas en la estabilización de suelos son CALES AEREAS. Estas presentan las siguientes formas:

Cales vivas.

Son cales aéreas que se componen principalmente de óxido de calcio y óxido de Magnesio producido por calcinación de la caliza.

Cales hidratadas.

Se conoce con el nombre comercial de cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio. Son cales aéreas que se componen principalmente de hidróxido de calcio. Proviene de la hidratación controlada de cales vivas.

Cal en forma de lechada.

Es la suspensión de cal hidratada en agua, también puede obtenerse a partir de la cal viva que al mezclarla con agua dará cal hidratada, formándose a continuación con el resto del agua la suspensión de lechada de cal.

La cal puede ser utilizada bajo forma de lechada en el tratamiento de los suelos cuando se quieran conseguir las siguientes ventajas:

- Supresión del polvo producido en el extendido de la cal,
- Humidificación de los suelos secos.

Definición de cemento portland

Los cementos portland se llaman hidráulicos porque fraguan y endurecen al reaccionar con el agua. Esta reacción se llama hidratación es una reacción química en que se combinan el cemento y el agua para formar una masa parecida a la piedra. Generalmente se le atribuye el invento del cemento portland a Joseph Aspdin un albañil inglés. En 1824 obtuvo una patente y lo llamó a su producto cemento portland porque producía un concreto que se parecía a la caliza natural que se extraía de Inglaterra en la isla de portland.

Fabricación del cemento portland

Las materias primas usadas deben contener las proporciones adecuadas de cal, sílice, alúmina y componentes de hierro. A continuación se indican los procesos de fabricación.

1. Se reduce la piedra a un tamaño de 5", luego a 3/4" y se almacena
2. Las materias primas se muelen hasta pulverizarse, luego se mezclan con agua formando una pasta y se combinan.
3. El calor a 1450C° convierte, por reacciones químicas, a las materias primas en escoria de cemento (CLINKER).
4. La escoria (CLINKER) se le añade yeso se muele y forma el cemento portland que se embarca.

Tipos de cemento portland

Los Cementos Portland por lo general, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de las especificaciones ASTM de normas para Cemento Portland (c 150). Los tipos se distinguen según los requisitos tanto físicos como químicos.

Portland tipo I:

Es un cemento normal, se produce por la adición de clinker más yeso. De uso general en todas las obras de ingeniería donde no se requiera miembros especiales. De 1 a 28 días realiza 1 al 100% de su resistencia relativa.

Portland tipo II:

Cemento modificado para usos generales. Resiste moderadamente la acción de los sulfatos, se emplea también cuando se requiere un calor moderado de hidratación. El cemento Tipo II adquiere resistencia más lentamente que el Tipo I, pero al final alcanza la misma resistencia.

Portland tipo III:

Cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. El concreto hecho con el cemento Tipo III desarrolla una resistencia en tres días, igual a la desarrollada en 28 días para concretos hechos con cementos Tipo I y Tipo II ; se debe saber que el cemento Tipo III aumenta la resistencia inicial por encima de lo normal, luego se va normalizando hasta alcanzar la resistencia normal.

Portland tipo IV:

Cemento de bajo calor de hidratación puede usarse en concretos masivos es decir en grandes obras, en presas o túneles. Su resistencia relativa de 1 a 28 días es de 55 a 75%.

Portland tipo V:

Cemento con alta resistencia a la acción de los sulfatos, se cuándo hay exposición intensa a los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar.

Definición de Estabilización

La estabilización se define como un proceso de mejorar el comportamiento del suelo (modificar sus propiedades mecánicas) mediante la reducción de sus susceptibilidades a la influencia del agua y a las condiciones del tránsito, cambiando considerablemente las características del mismo, produciendo un aumento en su resistencia y estabilidad a largo plazo; es decir durabilidad.

Definición de Estabilización con Suelo - Cemento Portland

Se define como suelo-cemento a la mezcla de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una

compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente.

Definición de Estabilización con suelo - Cal

Se define como suelo-cal a la mezcla de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas cales se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:

- Definición de pavimento.

Un pavimento es una estructura conformada por una serie capas, de diferentes espesores y materiales de diferentes calidades, las cuales al interactuar unas con otras ofrecen un grado de resistencia al paso de los vehículos.

- Elementos que conforman la estructura del pavimento.

Según el Manual del MTC 2014, lo dividen en flexibles, semirrígidos o semiflexibles, pavimentos rígidos y articulados (adoquines). Para fines del desarrollo de este trabajo se analizarán los tipos de pavimentos más comunes como lo son los pavimentos flexibles y pavimentos rígidos.

- Pavimento flexible.

Sub-rasante.

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Sub-base.

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento.

Sub- base estabilizadas.

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores.

Base.

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la sub-base y a través de esta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

Base granular.

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento.

Base estabilizada.

Al igual que en una sub-base estabilizada esta capa se forma de la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores.

Superficie de rodadura.

Capa superior de la estructura del pavimento construida de mezcla asfáltica.

Capa de Afirmado

El material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río. El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre. Se distinguen cuatro tipos de afirmado y su espesor y aplicación estará en función del IMD, la capa del afirmado estará adecuadamente perfilada y compactada.

Pavimento Rígido.

Sub-rasante y sub-base.

En los pavimentos Rígidos, la sub-rasante y sub-base cumplen las mismas funciones que en los Pavimentos Flexibles, y pueden ser generadas de igual manera, tal como se describió anteriormente.

Superficie de rodadura.

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la sub-base y sub-rasante, dado que no usan capa de base.

Definición de Suelo.

Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, es un material térmico no homogéneo y poroso cuyas propiedades son influenciadas por los cambios de humedad y densidad.

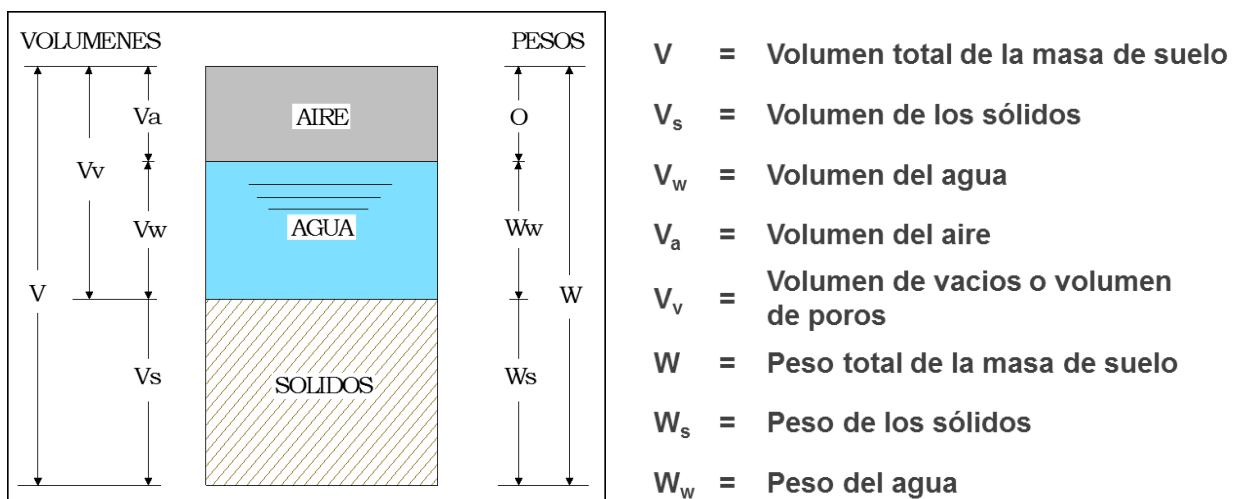
Se considera el suelo como un sistema multifase formado por:

- Fase sólida, que constituyen el esqueleto de la estructura del suelo.
- Fase líquida (generalmente agua).
- Fase gaseosa (generalmente aire) que ocupan los intersticios entre los sólidos.

Composición de los Suelos

Un suelo está constituido por tres partes, una parte sólida, otra líquida y otra gaseosa. La parte sólida está formada en su mayoría por minerales del suelo, la parte líquida está compuesta por el agua, aunque en el suelo puedan existir otros líquidos de menor significación, la parte gaseosa la comprende principalmente el aire, pero también pueden estar presentes otros gases (vapores sulfuros, anhídrido carbonico, etc.).

La siguiente figura representa un esquema de una muestra de suelo, con sus partes principales:



Fuente: Propia

Relaciones de importancia en la ingeniería de pavimentos

1. Contenido de agua o humedad del suelo.

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

2. Relación de vacíos.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

3. Porosidad.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

4. Grado de saturación.

$$S(\%) = \frac{W_w}{V_v} * 100$$

5. Contenido de aire del suelo.

$$a_c = \frac{V_a}{V_v} * 100$$

6. Peso unitario total o densidad húmeda del suelo.

7. Peso unitario seco o densidad Seca del suelo.

Autor: Bach. LUIS ALBERTO HERNANDEZ GONZALES

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

8. Peso unitario de las partículas sólidas.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$



$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W}{100}}$$

9. Peso específico relativo de los sólidos o gravedad específica.

$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_o} = \frac{W_s}{V_s * \gamma_o}$$

γ_o es el peso unitario o densidad del agua.

10. Índice de grupo

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde

- IG = Índice de grupo
- F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz N° 200, expresado como número entero.
- LL = Límite líquido.
- IP = Índice de plasticidad

Tipos de Suelos

Suelos plásticos.

Existen suelos que al cambiar su contenido de agua, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado plasticidad. Estos suelos han sido llamados arcillas. La plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido para clasificar suelos en forma puramente descriptiva.

Las arenas y las gravas:

Son suelos de fragmentos granulares, redondos o angulosos, poco o nada alterados de rocas minerales. Estos suelos no poseen cohesión entre sus fragmentos.

Los limos:

Son suelos de grano fino (material que pasa malla No 200), pero con plasticidad menor a la que presenta una arcilla, los cuales generalmente cuentan con materia orgánica finamente dividida.

Las arcillas:

Son suelos formados de partículas derivadas de la descomposición química y mineralógica que sufren los constituyentes de las rocas, generalmente por Intemperismo. Son suelos plásticos cuando están húmedos y cuando están secos son muy duros, tienen además permeabilidad extremadamente baja.

Clasificación de los suelos

Existen varios sistemas de clasificación de los cuales los más utilizados en el país son:

- Sistema de clasificación de los suelos según AASHTO.
- Sistema de clasificación unificada de los suelos según SUCS.
- Ambos métodos se basan en la determinación de la composición granulométrica del suelo y de los límites de Atterberg de la fracción fina de los mismos.

Nota: La clasificación de suelos según la AASHTO se utiliza en vías, y la clasificación de suelos según SUCS se utiliza para cimentaciones.

- Esta clasificación se basa en los resultados obtenidos como el límite líquido, índice de plasticidad y material que pasa el tamiz No. 10, 40 y 200.
- De acuerdo con este sistema los suelos están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8. Los suelos inorgánicos se clasifican en siete grupos que van del A-1 al A-7 y los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8.

Clasificación de los suelos en base a norma AASHTO M- 145.

Se efectuara bajo el sistema AASHTO M-145 que ha sido concebido para estudios de caminos. De acuerdo con el tamaño de las partículas que forman los suelos, la norma AASHTO M-145, los clasifica de la siguiente manera:

Grava: de un tamaño menor a 76.2mm (3") hasta el tamiz No 10 (2mm).

Arena Gruesa: de un tamaño menor a 2mm hasta el tamiz No 40 (0.425mm).

Arena Fina: de un tamaño menor a 0.425mm hasta el tamiz No 200 (0.075mm).

Limos y Arcillas: tamaños menores de 0.075mm.

La norma AASHTO M-145, clasifica los suelos basándose en sus propiedades mecánicas principalmente, los divide en siete grupos diferentes, designados desde el A-1 hasta A-7.

El suelo A-1, es un suelo de propiedades óptimas para ser usado en las capas que conforman la estructura de un pavimento y en su orden ascendente de numeración, su comportamiento va decreciendo hasta llegar al suelo A-7, cuya aplicación en carreteras no es recomendable. Descripción de los grupos y sub grupos contemplados en la norma AASHTO M-145:

Suelos granulares:

Son aquellos que tienen el 35% o menos, del material fino que pasa por el tamiz N° 200, estos suelos forman los grupos A-1, A-2, A-3.

Grupo A-1:

Son mezclas de suelos bien gradados, de fragmentos de piedra, grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también en este grupo mezclas bien gradadas que no tienen material ligante.

Subgrupo A-1a: Son materiales formados por roca o grava, con o sin material ligante. Subgrupo A-1b: Son materiales formados por arena gruesa bien gradada, con o sin ligante.

Grupo A-2:

Comprende una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino, y que no pueden ser clasificados como A-1 y A-3. El grupo A-2 se subdividen en A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7.

Grupo A-3:

En este grupo se encuentran incluidas las arenas finas de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Se encuentran a menudo y son muy inestables excepto cuando están húmedos, cuando se encuentran confinados son apropiados como bases para cualquier tipo de pavimentos.

Suelos finos:

Son suelos limo-arcillosos que tienen más del 35% que pasa el tamiz N° 200. A este tipo de suelos les corresponde los grupos A-4, A-5, A-6, A-7.

Grupo A-4:

Son suelos limosos poco o nada plásticos, que tiene un 75% o más del material fino que pasa el tamiz N° 200. Además se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena en un 64%.

Grupo A-5:

Son suelos semejantes al grupo A-4, son elásticos y tienen un límite líquido elevado por lo se vuelven muy elásticos e inestables aun en estado seco, lo que los hace tenaces a la compactación.

Grupo A-6:

A este grupo pertenecen las arcillas plásticas. Por lo menos el 75% de estos suelos deben pasar el tamiz de 0.075mm (No 200), pero se incluyen también las mezclas arcillo - arenosas, cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%. Los materiales de este grupo suelen tener gran cambio volumétrico, cuando se tiene presencia de humedades altas en el suelo, debido a la presencia de arcillas.

Tabla 2.1

Clasificación de suelos según AASHTO M-145

Clasificación General	Suelos Granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075mm							Suelos Finos mas del 35% pasa por el tamiz de 0.075mm			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% Que pasa por el tamiz de: 2mm (No10) 0.0425 (No 40) 0.075mm (No 200)	50 max 30 max 15 max	— 50 max 25 max	— 51 min 10 max	— — 35 max	— — 35 max	— — 35 max	— — 35 max	— — 36 min	— — 36 min	— — 36 min	— — 36 min
Características de fracción que pasa el tamiz 0.045mm (No 40) Límite Líquido Índice de Plasticidad	— 6 max		— NP	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Tipo de material	piedras, grava y arena		arena fina	gravas y arenas limosas o arcillosas				suelos limosos		suelos arcillosos	
Estimación general de suelo	Excelente a Bueno							De pobre a malo			

Fuente: Clasificación de suelos (Norma AASHTO M-145)

Grupo A-7:

Los suelos de este grupo son semejantes a los suelos A-6, pero son elásticos. Sus límites líquidos son elevados, y se subdividen en A-7-5 y A-7-6. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30, y el índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30. Las características de los diferentes grupos y subgrupos.

Clasificación unificada de suelos (sucs) en base a norma ASTM D-2487.

Suelos gruesos:

Son aquellos suelos que más del 50% de las partículas son retenidas en el tamiz N° 200. Un suelo grueso será grava, si la mayor parte de la fracción gruesa queda retenida en el tamiz N° 4 y se considera como arena en el caso contrario.

Suelos finos:

Son aquellos suelos que más del 50% de las partículas pasan el tamiz N° 200. Para distinguir si la fracción fina es de carácter limoso o arcilloso.

El sistema unificado utiliza símbolos para identificar los suelos y determinar su comportamiento como material de construcción. Las letras que se emplean para distinguir los suelos son:

- G - grava
- S - arena
- M - limo
- W - bien gradada
- P - pobremente gradada
- C - arcilla
- O - limos y arcillas orgánicas
- L - baja y media plasticidad
- H - alta plasticidad
- Pt - turbas o fangos.

Las combinaciones de las letras antes mencionadas son las que permiten la clasificación del suelo. Por ejemplo SW designa una arena bien gradada. La

Tabla 2.2		Clasificación de suelos según ASTM D 2487		
DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS MAS DEL 50% ES RETENIDO EN LA MALLA 200	GRAVAS 50% O MAS DE LA FRACCION GRUESA SE RETIENE EN LA MALLA No 4	GRAVAS LIMPIAS	GW	GRAVAS BIEN GRADUADAS. MEZCLAS DE GRAVAS Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS
		GRAVAS CON FINOS	GP	GRAVAS MAL GRADUADAS. MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS
			GM	GRAVAS LIMOSAS. MEZCLAS DE GRAVA ARENA Y LIMO.
		ARENAS MAS DEL 50% DE LA FRACCION GRUESA PASA LA MALLA No 4	ARENAS LIMPIAS	GC
	SW			ARENAS BIEN GRADUADAS. ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS
	ARENAS CON FINOS		SP	ARENAS MAL GRADUADAS. ARENA CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS
			SM	ARENAS LIMOSAS. MEZCLA DE ARENA Y ARCILLA.
	SUELOS DE GRANO FINO 50% O MAS PASA LA MALLA 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO LL < 50%	SC	ARENAS ARCILLOSAS. MEZCLAS DE ARENA Y ARCILLA
ML			LIMOS INORGÁNICOS. ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, LIMOS ARENOSOS O ARCILLOSOS LIGERAMENTE PLÁSTICOS.	
CL			ARCILLAS INORGANICAS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD. ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS	
LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO LL ≥ 50%		OL	LIMOS ORGANICOS. ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD.	
		MH	LIMOS INORGÁNICOS. LIMOS MICÁCEOS Y DIATOMÁCEOS. LIMOS ELÁSTICOS	
		CH	ARCILLAS INORGANICAS DE ALTA PLASTICIDAD. ARCILLAS FRANCAS	
SUELOS CON ELEVADA PROPORCION DE MATERIA ORGANICA		OH	ARCILLAS ORGANICAS DE MEDIA A ALTA PLASTICIDAD. LIMOS ORGANICOS DE MEDIA PLASTICIDAD	
		PT	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	

Fuente Manual del MTC

identificación de los suelos se facilita con el empleo de la tabla, que se presenta a continuación

En el siguiente cuadro se presenta la clasificación de suelos según AASHTO M-145 y su correlación con la clasificación de suelos SUCS (ASTM D 2487) y la capacidad.

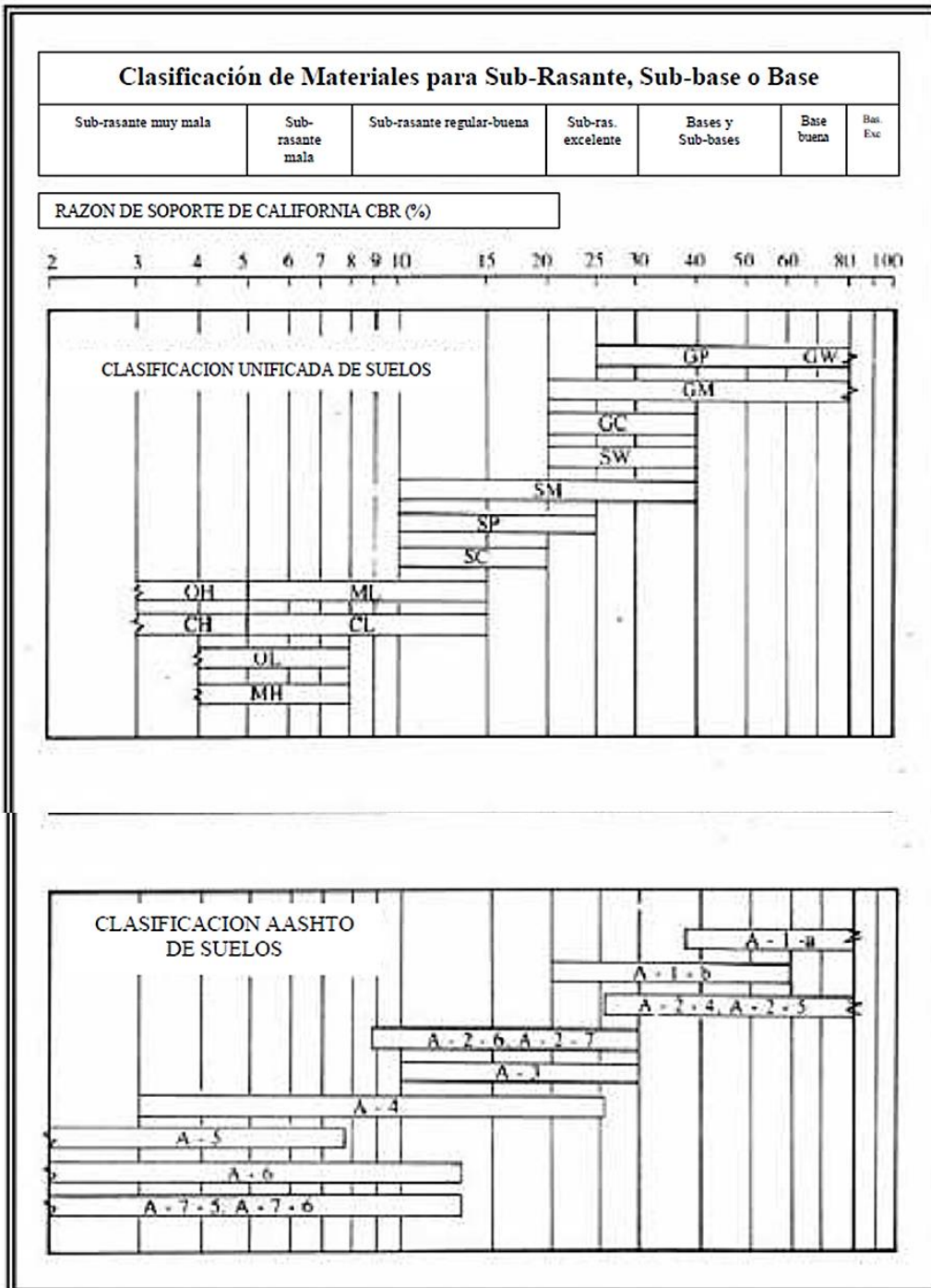


Figura 2.3

Correlación entre AASHTO M-145, clasificación SUCS y CBR

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1 CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

UBICACIÓN DEL PROYECTO

Aspecto político

Región	:	Cajamarca
Provincia	:	San Ignacio
Distrito	:	Huarango
Localidades de Paso	:	La libertad, El Arenal, Piñas, Miraflores, Buena Esperanza y Burgos.

Aspecto geográfico – ambiental

Región Natural	:	Yunga Marítima (500msnm – 2,500 msnm)
Cuenca	:	Río Chirinos o Rio Chinchipe – Margen Izquierda

Aspecto Cartográfico

Punto Inicial	:	Localidad de La Libertad
Altitud	:	1350.00 msnm
Coordenadas UTM Norte	:	9432100.000
Coordenadas UTM Este	:	745900.000
Punto Final	:	Caserío Burgos
Altitud	:	910.00 msnm
Coordenadas UTM Norte	:	9443800.000
Coordenadas UTM Este	:	745800.00

Grafico 1.1 Micro localización del proyecto

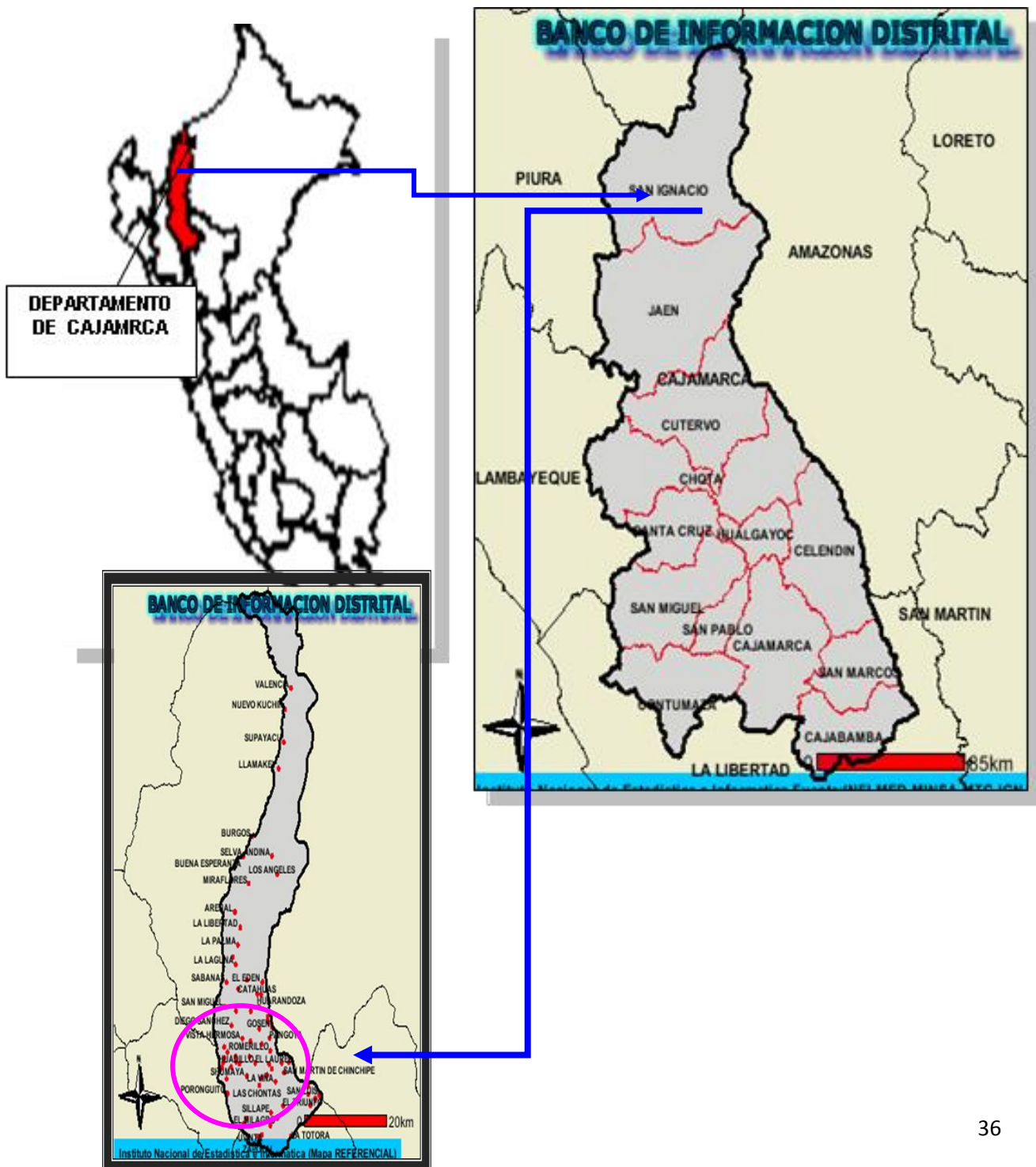
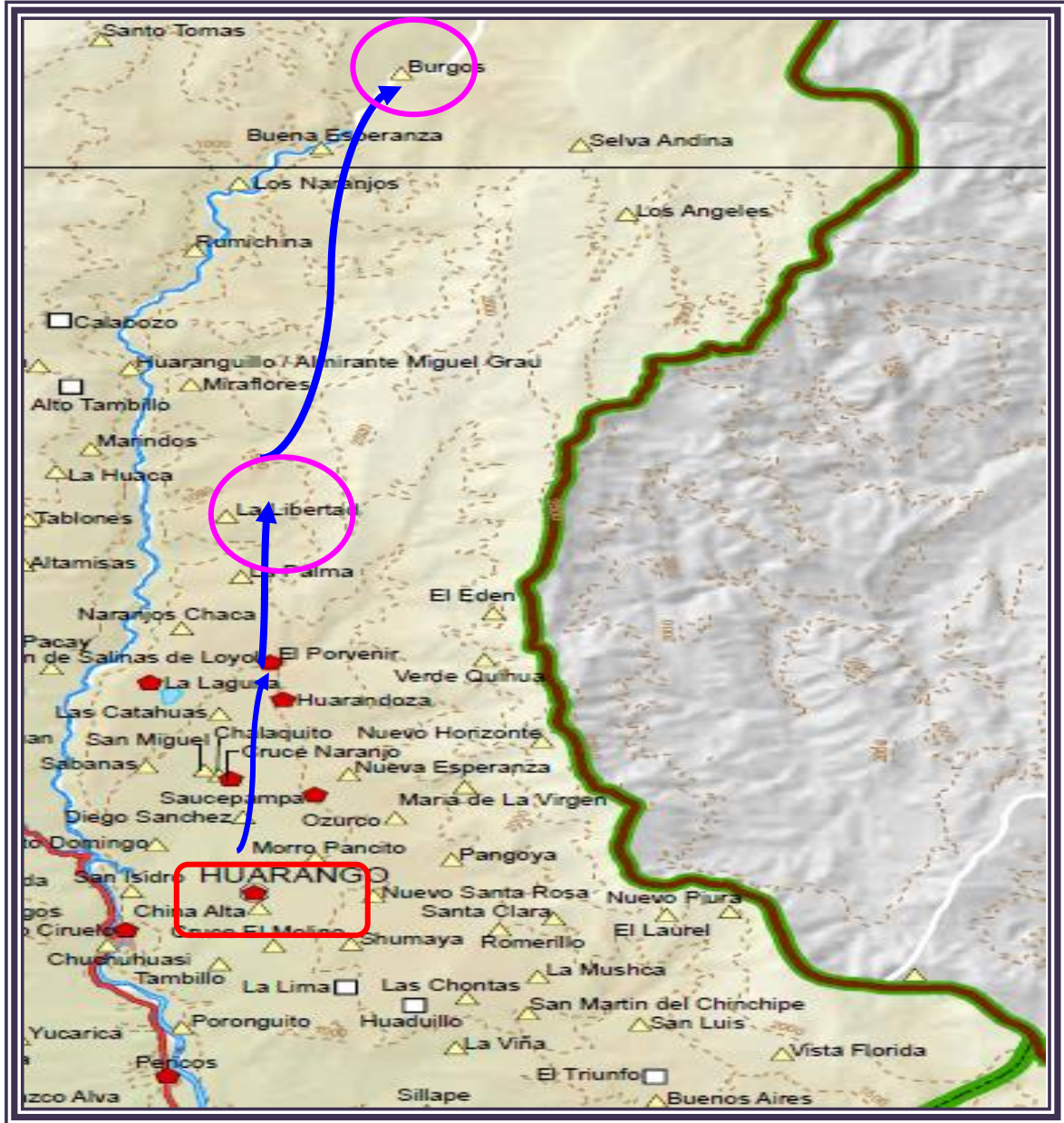


Gráfico N° 1.2: Acceso a la zona del proyecto



Fuente: Propia

Acceso a la Zona del Proyecto

El área materia del presente estudio se encuentra localizada geográficamente en el Departamento de Cajamarca, en la provincia de San Ignacio del departamento de Cajamarca, en la región Nor Oriental del País.

El eje de la vía materia del presente estudio corresponde al camino vecinal La Libertad – Burgos, que mediante la ejecución del presente proyecto se mejorará y conectará con las localidades de El Arenal, Las Piñas, Miraflores y Buena Esperanza; presenta una longitud total aproximada de 26.67 Kilómetros y a la fecha se encuentra sin afirmado y sin lastrada en forma parcial.

Es accesible por vía terrestre desde la ciudad de Lima a través de la carretera Panamericana Norte que llega hasta el Cruce Olmos y desde allí por la vía Olmos – Chamaya que empalma con la carretera Chamaya – San Ignacio, vía asfaltada hasta la localidad de Puerto Ciruelo, desde donde se sigue por un camino vecinal afirmado de 12Km. de longitud para llegar a la localidad de Huarango, desde allí recorre 25 km los caseríos de Ozurco, Huarandoza, El Porvenir, La Palma Hasta llegar al tramo inicial del Proyecto el Caserío La Libertad.(Ver gráfico N°1.1)

La distancia y el tiempo de llegada a la zona del proyecto, se aprecia en el cuadro siguiente:

TABLA N° 1.1: DISTANCIA A LA ZONA DEL PROYECTO

Ruta	Distancia (Km)	Tiempo	TIPO DE VIA
Lima – Olmos	700.00	14 Hrs, 00.00 Min.	Carpeta asfáltica
Olmos – Chamaya	160.00	3 Hrs, 30.00 Min.	Carpeta asfáltica
Chamaya – Jaén	17.00	0 Hrs, 25.00 Min.	Carpeta asfáltica
Jaén – Chuchuhuasi		0 Hrs, 45.00 Min.	Carpeta asfáltica
Chuchuhuasi-Puerto ciruelo	26.00	0 Hrs, 05.00 Min.	Balsa Fluvial
Puerto Ciruelo-La Libertad	00.30 28.00	0 Hrs, 15.00 Min.	Trocha Carrozable
Total	931.30	20 Hrs, 00.00 Min.	20 Hrs, 00.00 Min.

Fuente: Mapa Vial Cajamarca - MTC

Aspectos socioeconómicos:

La población afectada es eminentemente de raza mestiza, su principal trabajo es la actividad agrícola y ganadera a gran escala. Además la gran explotación de grandes extensiones de cultivos tales como: cacao, café, naranja, maíz amarillo, plátano, yuca, arroz, limón, papaya, frijol, caña, etc. En términos generales el comercio y la producción agropecuaria está destinada para abastecer los mercados de San Ignacio, Jaén y Chiclayo.

❖ CARACTERÍSTICAS Y TÉCNICAS DEL CAMINO MEJORADO

Longitud	26.67 Km
Clasificación por su IMDA	T1 42 veh/día (16-50 veh/día)
Clasificación por su Función	Carreteras de la Red Vial Vecinal o Rural. (Carretera de BVT)
Clasificación por el Tipo de Relieve	Carretera en Terreno Accidentado BM C/500M
Clasificación por el Tipo de Clima	Carretera en Zona Lluviosa (Sierra)
Clasificación por el Tipo de Obra por Ejecutarse	Mejoramiento, con la colocación de AFIRMADO. El efecto esperado es mejorar el nivel operativo del camino haciéndolo transitable todo el año.
Velocidad Directriz	20 Km/h
Radio Mínimo	15m (Se emplean radios excepcionales de 10m)
Ancho de Calzada	4.00 m
Ancho de Bermas	No se incluyen
Pendiente Longitudinal Máxima	>12%, en tramos de máximo 180m
Bombeo	2.5 %
Cunetas Triangulares	1.00mx0.50m, sin revestir en tramos con pendiente longitudinal menor a 8%

Tasa de Crecimiento	7.10%
Periodo de Diseño	10 años
Esal de diseño	26 000-78 000 ejes equivalentes
CBR de diseño por sectores	3%,,4%,5%,6%,9%

Propiedades Físico-Mecánicas de los Suelos

- Las propiedades físico - mecánicas son las características usadas para la selección de los materiales, para las especificaciones de construcción y para el control de calidad.
- Para conocer las propiedades físico - mecánicas de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras para posteriormente determinar sus propiedades en el laboratorio.

Calculo del espesor de reemplazo en función a la resistencia del suelo

Este procedimiento de cálculo para determinar en sectores localizados, el espesor de material a reemplazar se aplicará solo en casos de subrasantes pobres, con suelos de plasticidad media, no expansivos y con valores de soporte entre $CBR \geq 3\%$ y $CBR < 6\%$.

Suelos Estabilizados con Cemento Portland

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, a diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí.

Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

- a) Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- b) Ejecución.

c) Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A 1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad

CUADRO 2.9 RANGO REQUERIDO PARA ESTABILIZAR SUELO CEMENTO

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 - 5
A-1-b	5 - 8
A-2	5 - 9
A-3	7 - 11
A-4	7 - 12
A-5	8 - 13
A-6	9 - 15
A-7	10 - 16

Fuente MTC

Norma Técnica de estabilizaciones sección 306B (2008) y ejecución con cemento portland

Materiales

306B.01 Suelos

El material por estabilizar con cemento podrá provenir de la escarificación de la capa superficial existente o ser un suelo natural proveniente de:

- (a) Excavaciones o zonas de préstamo.
- (b) Agregados locales de baja calidad.
- (c) Mezclas de ellos.

306B.02 Cemento

El cemento para estabilización será del tipo Portland, el cual deberá cumplir lo especificado en la subsección 610B.02.

306B.03 Agua

El agua deberá ser limpia y estará libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma ASTM D-1293, deberá estar comprendido entre 5.5 – 8%.

306B.04 Diseño de la mezcla

Como parámetros de diseño se tomarán los ensayos de resistencia a compresión simple y humedecimiento-secado (normas MTC E 1103 y MTC E 1104). En el primero de ellos, se deberá garantizar una resistencia mínima de 18 Kg/cm², luego de siete (7) días de curado húmedo.

Equipo

306B.05

Es aplicable lo indicado en la subsección 300B.03. El equipo será el requerido para ejecutar las siguientes actividades:

- Escarificación. • Disgregación. • Adición de cemento Portland y mezclado.
- Adición del agua. • Extendido, compactado y acabado de la superficie de la capa.
- Curado (fraguado). • Control de calidad

Requerimiento de construcción

306B.06 Preparación de la superficie existente

Si el material por estabilizar es totalmente de préstamo, antes de proceder con la estabilización, se comprobará que la superficie que va a servir de apoyo tenga la densidad de 95% del ensayo de laboratorio según MTC E 115 así como las cotas indicadas en los planos.

306B.07 Transporte de suelos y agregados

Cuando la estabilización incluya suelos o agregados de préstamo, éstos se transportarán a la vía protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, asegurados a la carrocería y humedecidos.

306B.8 Pulverización del suelo

Antes de aplicar el cemento, el suelo por tratar, sea que haya sido escarificado en el lugar o transportado desde los sitios de origen aprobados, se pulverizará utilizando métodos mecánicos como los arados de rastras o de discos, en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en los planos.

306B.9 Aplicación del cemento

El cemento podrá aplicarse en bolsas o a granel. En cualquier caso, se esparcirá sobre el suelo pulverizado empleando el procedimiento aceptado por el supervisor durante la fase de prueba.

306B.10 Mezcla

Inmediatamente después de ser esparcido el cemento, se efectuará la mezcla, empleando el equipo aprobado, en todo el espesor establecido en los planos. El número de pasadas dependerá del equipo utilizado y será el necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea.

306B.11 Compactación

La compactación de la mezcla se realizará de acuerdo con el equipo propuesto por el contratista y aprobado por el supervisor durante la ejecución del tramo de prueba.

306B.12 Juntas de trabajo

Al término de la jornada de trabajo se formará una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado.

306B.13 Curado de la capa estabilizada

Terminada la conformación y compactación del suelo estabilizado con cemento, ésta deberá protegerse contra pérdidas de humedad por un periodo no menor de siete (7) días

306B.14 Tramo de prueba

Se aplica lo indicado en la subsección 300B.05 de este documento.

306B.15 Apertura al tránsito

El suelo estabilizado con cemento sólo podrá abrirse al tránsito público y al de los equipos de construcción a los siete (7) días de su compactación.

306B.16 Conservación

El contratista deberá conservar el suelo estabilizado en perfectas condiciones, hasta la recepción de obra o hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto.

306B.17 Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con cemento sólo se podrán llevar a cabo cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a diez grados (10°C) y cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella se produzca.

Suelos Estabilizados con Cal

La cal que se use para la construcción de Suelo-Cal puede ser Cal viva o hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en la Sección 301.B de las especificaciones Técnicas Generales para construcción de Carreteras del MTC (vigente), la Especificación AASHTO M-216 o ASTM C-977.

Propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal

- 1) Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un Incremento del límite plástico.
 - 2) Reducción considerable del gigante natural del suelo por aglomeración de partículas.
 - 3) Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
 - 4) La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
 - 5) Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
 - 6) Incremento de la resistencia a la comprensión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
 - 7) Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
 - 8) Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
 - 9) Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.
- La experiencia americana ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:

- a) Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla para su uso como capa granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en peso.
- b) Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 a 10% de cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso).

Norma Técnica de estabilizaciones sección 307B (2008) y ejecución con Cal

Materiales

307B.01 Suelo

Los suelos que se usen para la construcción del suelo-cal deben ser de la propia carretera o provenir, en todo o en parte, de préstamos seleccionados. Los sitios de préstamo estarán considerados en el proyecto.

307B.02 Cal

La cal que se use para la construcción de suelo-cal puede ser cal viva o hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en la especificación AASHTO M-216 ó ASTM C-977.

307B.03 Agua

El agua que se use para la construcción de capas de suelo – cal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de sales, aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

307B.04 Mezcla

Los ensayos para determinar el porcentaje de cal y los demás requisitos que debe satisfacer la mezcla de suelo-cal deben ser ejecutados con los materiales que se vayan a usar, incluyendo el agua de mezclado, de acuerdo a la norma ASTM D 6276, pudiendo variar entre 2 y 8% en peso seco de los materiales.

Equipo

307B.05

Es aplicable lo indicado en la subsección 300B.03. El equipo será el requerido para ejecutar las siguientes actividades:

- Escarificación. • Disgregación. • Adición de Cal. • Adición del agua.
- Mezclado. • Extendido, compactado y acabado de la superficie de la capa.
- Curado. • Control de calidad.

Requerimiento de construcción

307B.06

El supervisor debe autorizar, por escrito, el inicio de los trabajos de construcción del suelo-cal, luego de constatar que han sido satisfechos los requisitos previos establecidos en esta especificación, y lo establecido en el contrato de la obra.

307B.07 Preparación de la mezcla

La mezcla de suelo-cal puede ser preparada en cualquiera de las formas siguientes:

Mezcla sobre la vía (in-situ)

La mezcla sobre la vía es el conjunto de operaciones que, mediante el mezclado sobre la plataforma de la vía del suelo con la cal y con el agua, utilizando el equipo requerido, permite obtener la mezcla de suelo-cal que satisfaga los requisitos establecidos.

(1) la cal se debe distribuir uniformemente en montones, luego se procederá al mezclado con el suelo, y a pulverizar la mezcla, utilizando métodos mecánicos como los arados de rastras o de discos, el mezclado se ejecutará con motoniveladora. El contratista podrá emplear otros equipos adecuados, como el pulvimixer.

(2) La aplicación del agua se debe hacer mediante la barra de riego del camión tanque o con el empleo de cualquier otro método que garantice un riego uniforme.

(3) Antes de iniciar la compactación de la mezcla y mediante el proceso de pulverizaciones se debe lograr que, por lo menos, el 60% del suelo pase la malla N° 4.

(4) Cuando el porcentaje de pulverización no se logre por medios mecánicos se debe disponer un período de curado, previo a la compactación, con objeto de permitir que la cal y el agua desintegren los terrones de arcilla. La duración del período de curado debe determinarse en la obra y en ningún caso debe ser menos de una hora.

Mezcla en planta

La mezcla en planta consiste en la utilización de una instalación de una planta mezcladora fija que permita obtener la mezcla suelo-cal. Una vez preparada, la mezcla se carga en camiones volquetes para llevarla a los sitios de colocación.

La mezcla de suelo-cal preparada en planta mezcladora fija, el área a ser cubierta debe ser humedecida uniformemente, y debe ser extendida sobre la vía en franjas paralelas al eje, mediante el uso de esparcidores adecuados, en un proceso antes de una hora de haber sido compactada la franja anterior. De forma tal que se logren los espesores deseados. Se debe evitar la presencia de sitios con exceso de agua.

No debe utilizar motoniveladora(s) en el extendido de la mezcla, el traslado de la mezcla de suelo-cal en planta, la mezcla será protegida con lonas u otros cobertores adecuados, asegurados a la carrocería y humedecidos.

307B.08 Requisitos de campo de la mezcla de suelo-cal

(a) La humedad de la mezcla debe ser la humedad óptima de compactación con una tolerancia de $\pm 1.5\%$.

(b) Al finalizar el proceso de mezclado húmedo el 60% en peso de la mezcla, excluyendo los fragmentos de grava y piedra, debe pasar la Malla N° 4.

(c) Se deberán verificar la calidad de la mezcla y diseño, ensayos C.B.R.

307B.9 Compactación

El proceso de compactación deberá ser tal, que evite la formación de una costra o capa superior delgada, débilmente adherida al resto del suelo estabilizado. Los trabajos de compactación deberán ser terminados en un lapso no mayor de dos (2) horas desde el inicio de la mezcla. Una vez terminada la compactación, la superficie deberá mantenerse húmeda hasta que se aplique el riego de curado.

307B.10 Juntas de trabajo

Al final del trabajo de cada día y/o cuando haya transcurrido más de una hora desde el momento en que se haya ejecutado la compactación final de cualquier borde de franja, se deben construir juntas de construcción, longitudinales o transversales, según sea el caso. Las juntas de construcción se deben construir, cortando verticalmente el suelo-cal compactado, según una línea situada a 7 cm., al menos, del borde de la franja.

307B.11 Curado

Cualquier capa compactada de suelo-cal, se debe curar. En este periodo no se permitirá el tránsito de vehículos sobre la capa estabilizada, manteniendo húmeda su superficie, durante un lapso de 72 horas contado a partir del momento en que se terminó la compactación de la capa. Para el curado se usará agua a presión por medio de una barra equipada de boquillas que aseguren un riego uniforme.

307B.12 Tramo de prueba

Se aplica lo indicado en la subsección 300B.05 de este documento.

307B.13 Apertura al tránsito

El suelo estabilizado con cal sólo podrá abrirse al tránsito público y al de los equipos de construcción a los siete (7) días de su compactación. La apertura será inicialmente durante un tiempo corto que permita verificar el comportamiento de la capa compactada y localizar las áreas que deban ser objeto de corrección.

307B.14 Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con cal sólo se podrán llevar a cabo cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a diez grados (10°C) y cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella se produzca.

TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES O DE LA CONSTRUCCIÓN

- **Estabilización con Cal**

La estabilización de suelos con cal puede hacerse principalmente de dos formas diferentes:

- Mezcla in situ (vía seca / húmeda).
 - Mezcla en plantas centrales o planta móvil.
- ❖ El mezclado en planta puede resultar idóneo si el suelo utilizado proviene de préstamo en el cual se puede mezclar la cal con el suelo y almacenarlo para su posterior puesta en obra mediante las técnicas normales de terraplenado. El problema que se plantea es que el amasado que realizan estas plantas es ejecutado en una mezcladora de palas, que no es muy eficaz con los tipos de suelos susceptibles de tratar con cal, es decir, con suelos arcillosos.
 - ❖ El sistema de mezclado in situ es el más utilizado hasta el día de hoy. La maquinaria disponible actualmente para la estabilización de suelos permite obtener resultados excelentes con esta técnica. Su calidad en cuanto a la finura, dosificaciones y homogeneidad del mezclado es muy buena.

- Proceso Constructivo con Cal

Preparación del suelo y almacenamiento de la cal.

La preparación de los suelos consiste en una serie de operaciones previas cuya ejecución es necesaria y muy importante, para mejorar los rendimientos del tratamiento propiamente dicho. La escarificación y esponjamiento de los suelos para mejorar los rendimientos del mezclado. Se realiza con riper montado en motoniveladora o tractor de orugas, o bien mediante escarificadores de gradas o de discos. Este aspecto es determinante para lograr la profundidad y homogeneidad de mezclado requerida. Aireación de los suelos, en el caso de que sea necesario; es decir una vez escarificado el material dejarlo en reposo a fin de perder humedad mediante la exposición al sol del mismo.



Foto 2.1 humedecimiento previa a su estabilización

Humectación (colocación de agua) de los suelos en el caso de suelos demasiado secos mediante los sistemas de riego tradicionales. Este aspecto es muy importante ya que sobre un suelo esponjado y humedecido, la cal, según cae, se quedara adherida, evitando el riesgo de dispersión a causa del viento, y comenzara a actuar inmediatamente sobre el suelo, incluso, antes de empezar

la mezcla. En el caso de utilizar equipos pulvimezcladores, puede inyectarse el agua directamente en el proceso de mezclado, dentro de la cámara. La eliminación de grandes terrones, frecuentes en algunos suelos arcillosos, se hará mediante riper, rastrillos. De esta forma se favorece la homogeneidad del mezclado y se evitan numerosas averías y desgaste de piezas en los mezcladores.

Extendido de la cal.

Cuando la superficie a tratar es reducida, es posible recibir suministros de cal en sacos, tal es el caso de nuestro tramo de prueba analizado. Para este caso el extendido se realiza manualmente en dos etapas:

1era Etapa: Colocación de las bolsas de cal en el terreno según una distribución adecuada en filas y columnas de las bolsas efectuada con anterioridad con el objeto de cumplir la dosificación establecida, tal como se muestra en la siguiente fotografía.



Foto 2.2 Distribución de la cal en tramos

Es de suma importancia tomar en cuenta en esta etapa del proceso, que la distribución de las bolsas de cal se realizara a criterio del ingeniero encargado

del proceso constructivo de la capa suelo-cal, y para lo cual deberá considerar parámetros importantes como: Ancho y longitud del tramo de vía que será estabilizado.

2a Etapa: Apertura de las bolsas y extendido de la cal con palas o auxiliándose de equipo como motoniveladora. Luego de la distribución más adecuada de las bolsas de cal sobre el suelo que será estabilizado, se procede al rompimiento de las mismas, tomado en cuenta las medidas de seguridad respectiva para evitar la inhalación del producto por el personal ocupadas en esta parte del proceso.



Foto 2.3 Extendido de cal previo a su mezclado

Mezclado.

Esta fase consiste en mezclar la cal con el material a estabilizar, para lo cual en caminos de baja intensidad vehicular una motoniveladora es suficiente; se puede considerar una mezcla homogénea cuando el suelo ya no presenta grumos visibles de cal o hasta que el suelo tenga el mismo color, evidenciando un color gris en todo el tramo de estabilización.

En nuestro caso el equipo ocupado para la realización del mezclado del suelo con la cal fue una motoniveladora; tomando en cuenta para este proceso los siguientes aspectos:

- a) La hoja de la motoniveladora, se introduciría hasta una profundidad de 0.3mts (espesor de capa suelo-cal), a fin de cumplir con los parámetros de diseño.
- b) El número de pasadas de mezclado con la motoniveladora, dependerá del criterio del ingeniero a cargo de la obra, garantizando que estas finalizaran cuando se tenga una mezcla homogénea de suelo-cal en todo el tramo estabilizado.

En la siguiente fotografía se muestra el proceso de mezclado ocupado en el tramo de prueba realizado para fines de esta investigación.



Foto 2.4 Proceso de mezclado suelo- cal

Es importante tomar en cuenta el espesor de la capa suelo-cal en esta etapa del proceso constructivo, principalmente por los siguientes aspectos:

- a) El espesor máximo de la capa suelo-cal vendrá dado, principalmente por la capacidad y rendimiento del equipo utilizado en los procesos de mezclado y compactación.
- b) La calidad de la capa suelo-cal, no solo dependerá de trabajar con un espesor de capa en base al rendimiento del equipo implementado en los procesos antes mencionados.

Nota: En el caso de que el extendido de cal se realice por vía seca, en zonas con vientos moderados, deberán coordinarse adecuadamente los procesos de extendido y mezclado de la cal, de tal forma que ambos actúen uno inmediatamente a continuación del otro, para evitar el levantamiento de la cal en polvo extendida sobre el suelo a causa del viento.

Compactación y terminación.

La compactación de las capas tratadas se realiza tras su nivelación con motoniveladora hasta la altura requerida de la capa suelo-cal, mediante las técnicas convencionales en el movimiento de tierras. Es importante que el espesor de las capas sea compatible con el rendimiento de los compactadores a utilizar; es decir no exceder los espesores de las capas de compactación.



Foto 2.5 Proceso de compactación suelo-cal

La capa suelo-cal compactada, deberá ser curada durante un periodo de 3 a 7 días para permitir su endurecimiento antes de colocar la correspondiente capa de sub-base o base.

Curado de la Cal

- a) Manteniendo la superficie en condiciones húmedas mediante un regado ligero y compactando de agua.
- b) Mediante una membrana de curado formada por un sellado de la superficie de la capa suelo-cal con un riego asfáltico.

- **Estabilización con Cemento Portland**

La estabilización de suelos con con cemento portland puede hacerse principalmente de dos formas diferentes:

- Mezcla in situ (vía seca / húmeda).
- Mezcla en plantas centrales o planta móvil.

- **Proceso constructivo con Cemento Portland**

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.

Consta de los siguientes procesos:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1) Limitación de la zona de trabajo: | 2) pulverización del suelo: |
| 3) distribución del cemento: | 4) mezclado uniforme: |
| 5) adición del agua: | 6) compactación |

7) terminación:

8) curado por 7 días

Preparación del suelo y almacenamiento de cemento portland.

El suelo a estabilizar debe ser escarificado y pulverizado con anterioridad a la mezcla, la misma que se realizará in situ. Se distribuirá el aditivo y el agua sobre el suelo extendido de la forma más uniforme posible.

Extendido del cemento portland.

El cemento portland podrá aplicarse en bolsas o a granel. En cualquier caso, se esparcirá sobre el suelo pulverizado empleando el procedimiento aceptado por el supervisor durante la fase de prueba.

Mezclado.

La mezcla puede realizarse con motoniveladora y se darán las pasadas y vueltas necesarias para garantizar la obtención de una mezcla homogénea.



Foto 2.6 Proceso de extendido y mezclado de cemento

Compactación y terminación.

La compactación de la mezcla se realizará de acuerdo con el equipo propuesto por el contratista y aprobado por el supervisor durante la ejecución del tramo de prueba.



Foto 2.6 Estabilización con cemento portland

Curado del Cemento Portland

Terminada la conformación y compactación del suelo estabilizado con cemento, ésta deberá protegerse contra pérdidas de humedad por un periodo no menor de siete (7) días.

INGENIERIA DEL PROYECTO

✓ Métodos de Estabilización de Suelos.

Estos métodos o procesos van desde la incorporación a los suelos de materiales o nuevos elementos que proporcionen estabilidad, hasta la formación de verdaderos mecanismos de defensa contra la acción de las fuerzas climáticas. Los métodos más comunes para lograrlo son las siguientes como: Mecánicos, Físicos, Químicos, Hidráulicos y Térmicos.

Grafico 3.1: Métodos de estabilización

Métodos	Físicos	Confinamiento (suelos no cohesivos).
		Preconsolidación (suelos cohesivos).
		Mezclas (suelo con suelo).
		Vibroflotación.
	Químicos (Estabilizaciones)	Con cemento.
		Con asfalto.
		Con sal.
		Con cal.
		Con otras sustancias: (Sales como la Bischofita).
	Mecánicos	Compactación.

Fuente: Propia

✓ Métodos Mecánicos

Se define como un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre una masa de suelo parcialmente saturado, para ésta acción se utilizan equipos llamados compactadores, los cuales tienen como fin lograr aumentar la resistencia al corte. Es muy común exigir por lo menos el 95% del Proctor Modificado.

Al compactar un suelo se obtiene:

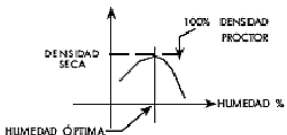
- Mayor densidad, por lo que tendremos una mejor distribución de fuerzas que actúan sobre el suelo.
- Mayor estabilidad, pues al no compactar un suelo se tendrán asentamientos desiguales por lo tanto inestabilidad de la estructura.

- Disminución de la contracción del suelo, al existir espacios vacíos, provocando en suelos arcillosos la contracción y dilatación del suelo y por último ocasionará una disminución de los asentamientos.

Factores que intervienen en el proceso de compactación de los suelos son:

- Las características físicas de los suelos.
- El equipo de compactación.
- La forma de empleo del equipo seleccionado para un tipo de suelo en particular.

Gráfico 3.2 Tipo de suelo con sus respectivo método de compactación

Tipo de suelos	Características	Compactación
Suelo granular	Suelo formado por gravas y arenas limpias o con pocos finos (menor a 5%)	Se compactan totalmente secos o con abundante agua.
Suelo fino	Suelo gravosos o arenosa con más de un 12% de finos, o bien, suelo netamente fino.	Se compactan con humedad. La humedad óptima se determina con el ensayo Proctor. 

Fuente Propia

✓ **Métodos Físicos**

Que persigue la obtención de una adecuada granulometría, mediante el agregado de materiales granulares o cohesivos o ambos a la vez, al primitivo suelo.

✓ **Métodos Químicos**

La estabilización química, se refiere al cambio de las propiedades del suelo por efectos físico-químicos de superficie mediante la adición de cal, cemento portland, entre otros. Un ejemplo claro es en el desarrollo de un proyecto de vía; estas adiciones químicas se la aplica principalmente a bases, sub-bases y capa de rodadura para proveerle una estabilización garantizada a la vía.

Los estabilizadores químicos pueden tener tres categorías:

- Para cubrir e impermeabilizar los granos del suelo o proveer de fuerza cohesiva.
- Para formar una adhesión cementante entre las partículas del suelo; proporcionándoles fuerza y durabilidad.
- Para suelos finos tipo arcillas; generarán una alteración en la naturaleza del sistema agua-arcilla, con la cual se tendrá como resultado una baja en la plasticidad; posibles cambios de volumen; hará que se formen uniones cementantes y por último se mejorará la resistencia aumentándola

CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.

Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos.

En cambio cuando se estabiliza una subbase granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como súbbase o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.).

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más

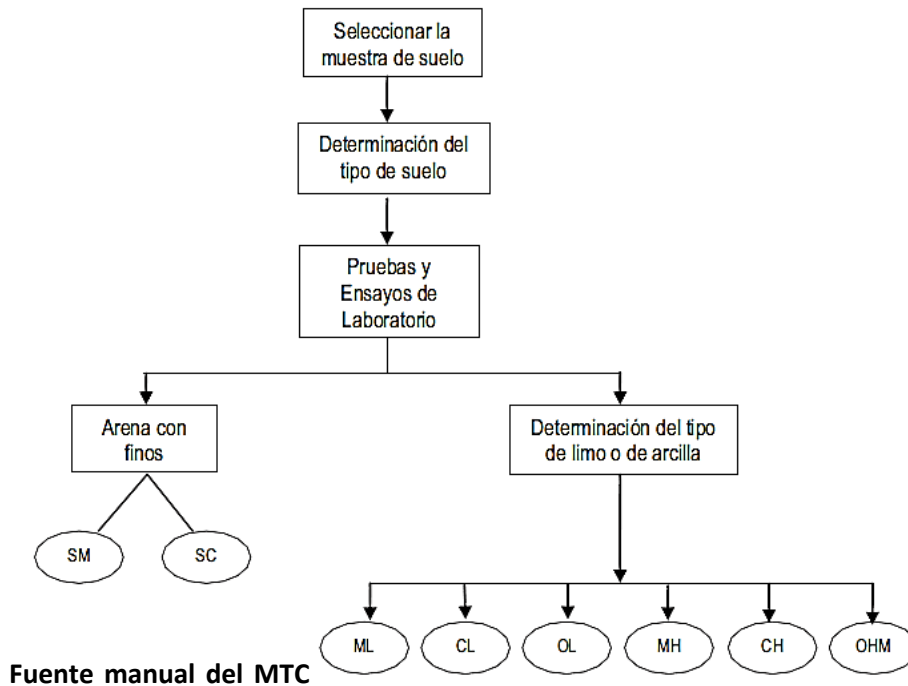
agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

- 1) Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un estudio especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el Ingeniero responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de solución.
- 2) Estabilización mecánica, reemplazo del suelo de cimentación, Estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, Estabilización con geo sintéticos (geo textiles, geomallas u otros), terraplenes, Capas de arena, elevar. La rasante o cambiar el trazo vial si las alternativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas.
- 3) Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10cm. de espesor como mínimo o un geo textil, según lo justifique el Ingeniero responsable.
- 4) La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la capa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada. En caso necesario, se colocarán subredes o capas anticontaminantes y/o dren antes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.

- 5) En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la capa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Si la profundidad de la capa freática es mayor a la indicada anteriormente (1.20 m), la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la subrasante (últimos 0.60 m) suelos susceptibles al congelamiento, se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario.
- 6) de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (Nº 200) se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios (según Norma MTC E109).
- 7) Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas

GRAFICO: 2.6 PROCESO PARA LA IDENTIFICACION DEL TIPO DE SUELO

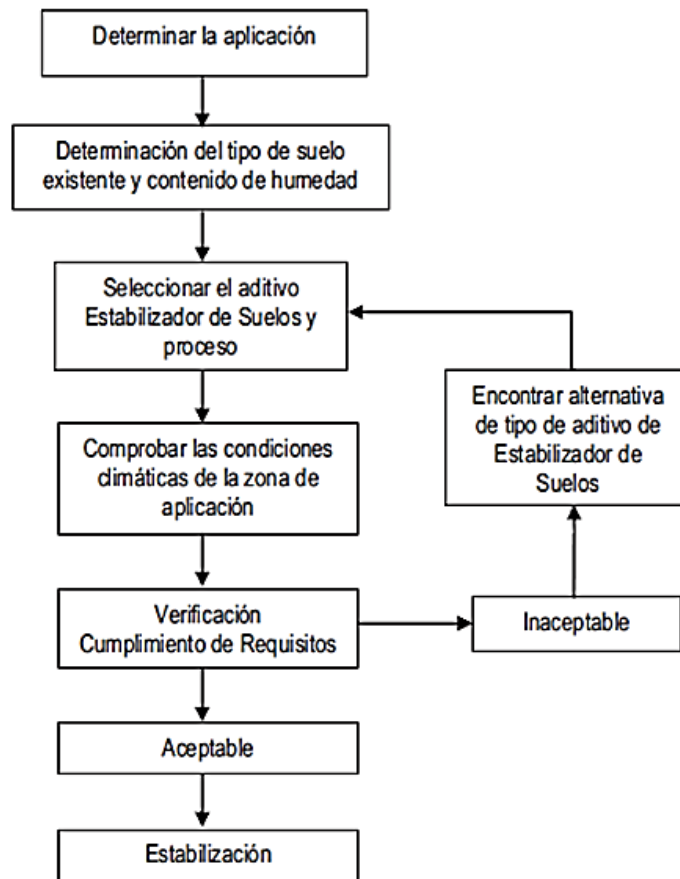


8) Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- a. Tipo de suelo a estabilizar
- b. Uso propuesto del suelo estabilizado
- c. Tipo de aditivo estabilizador de suelos
- d. Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
- e. Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador
- f. Disponibilidad del equipo adecuado
- g. Costos comparativos

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización.

Grafico 2.7 proceso de la selección del tipo de estabilizador



Fuente manual del MTC

- 9) A continuación se presentan dos guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo.

GRAFICO 2.8 SELECCION PARA EL TIPO DE ESTABILIZACION

ÁREA	CLASE DE SUELO	TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	RESTRICCIÓN EN LL Y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN EL PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200	OBSERVACIONES
1A	SW ó SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Pórtland			
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1B	SW - SM ó SP - SM ó SW - SC ó SP - PC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		
		(2) Cemento Pórtland	IP no excede de 30		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1C	SM ó SC ó SM-SC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2) Cemento Pórtland	(b)		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2A	GW ó GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Pórtland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2B	GW - GM ó GP - GM ó GW - GC ó GP-GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		graduado.
		(2) Cemento Pórtland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2C	GM ó GC ó GM - GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado..
		(2) Cemento Pórtland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Ceniza	IP no excede de 25		
3	CH ó CL ó MH ó ML ó OH ó OL ó ML-CL	(1) Cemento Pórtland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2) Cal	IP no menor de 12		
IP = Índice Plástico (b) $IP = 20 + (50 - \text{porcentaje que pasa la Malla N° 200}) / 4$			Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador	Fuente: US Army Corps of Engineers	

Cuadro 9.2
Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador

TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	NORMAS TÉCNICAS	SUELO ⁽¹⁾	DOSIFICACIÓN ⁽²⁾	CURADO (APERTURA AL TRÁNSITO) ⁽³⁾	OBSERVACIONES
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6 y A-7 LL < 40% IP ≤ 18% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 ó AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO ⁽²⁾ No debe contener Abrasión < 50% % < N° 200: 10 - 35%	1L / 30-33 m ³	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO ⁽²⁾ < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Fuente: Estudios Especiales del MTC

- (1) Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8"
Tamaño máximo: 2", debe carecer de restos vegetales
Los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del Proyecto
- (2) CMO: Contenido de materia orgánica
- (3) Los diseños o dosificaciones deben indicar: fórmula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o Illinois, según corresponda al tipo de estabilizador aplicado
- (4) Para altitudes mayores a 3000 msnm
- (5) Después de finalizado el proceso de compactación

Estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo.

El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere.

Estabilización por sustitución de los suelos

Cuando se prevea la construcción de la subrasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición.

Algunas técnicas para estabilización de suelos.

La razón primordial que acompaña a todas las estabilizaciones, es el de mejorar y cambiar las propiedades de un suelo. Existen muchas formas de estabilizar un material, un método muy usado de estabilización es la de mezclar a un material de granulometría gruesa, otro que carece de esa característica. Finalmente, esta el recurso de estabilizar un suelo mezclándole cemento portland, cal, asfalto entre otros.

Casos que pueden justificar una estabilización:

- a) Un suelo de sub rasante desfavorable, o muy arenoso, o muy arcilloso.
- b) Materiales para base o sub base en el límite de especificaciones
- c) Condiciones de humedad.
- d) Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.

e) Para el aprovechamiento de los materiales existentes del lugar de construcción de la obra. Los agentes estabilizadores más usados para mezclarlos con suelo y formar capas de pavimento son: el cemento, la cal y el asfalto.

- ✓ Estabilización de suelos plásticos en caminos de bajo volumen de tránsito

Cuando se mezcla en obra un suelo arcilloso con cal viva o apagada, se modifica de forma inmediata el comportamiento del suelo. Éste pasa bruscamente de un estado plástico, es decir, deformable y viscoso, a un estado sólido, es decir, más rígido y friable. Es indispensable antes de comenzar cualquier trabajo con un suelo, tener el conocimiento más preciso posible sobre las características de los materiales que lo componen.

- ✓ Propiedades de los suelos estabilizados con cal

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.

- ✓ Suelos aptos para la estabilización con cal

Es indispensable antes de comenzar cualquier trabajo con un suelo, tener el conocimiento más preciso posible sobre las características de los materiales que lo componen, de los problemas que estos materiales van a generar y de las soluciones que pueden adoptarse (por ejemplo el tratamiento de estabilización con cal y cemento portland).

- ✓ Propiedades de suelos estabilizados con cemento portland

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.

- Tiene mayor módulo de elasticidad.
- Es más impermeable.
- Es muy resistente a la erosión del agua.
- En presencia de la humedad, en lugar de perder resistencia, la aumenta.
- Su resistencia aumenta con el tiempo.

✓ Suelos aptos para la estabilización con Cemento portland

Pueden usarse todos los suelos para efectuarla, excepto los altamente orgánicos, los más convenientes son los granulares, de fácil disgregado. Los limos, las arenas limosas y arcillas, todas las gravas y las arenas, son agregados adecuados para producir la mezcla suelo-cemento.

✓ Cementos Portland más adecuados

Los cementos más adecuados para estabilizar suelos son los que tienen un elevado plazo de trabajabilidad, un moderado calor de hidratación para limitar los efectos de la fisuración por retracción y un desarrollo lento de resistencias y módulos de rigidez a edades tempranas, recuperándolas a largo plazo.

ESTUDIOS BASICOS

Topografía

El plano topográfico es la representación gráfica del terreno, de sus accidentes, del sistema hidrográfico, y de la instalación y edificaciones existentes, puestas por el hombre. El relevamiento topográfico muestra las distancias horizontales y las diferentes cotas o elevaciones de los elementos representados en el plano mediante curvas de nivel, a escalas convenientes para la interpretación del plano por el Ingeniero y para la adecuada representación del camino y de las diversas estructuras que lo componen.

Geología

Las investigaciones ejecutadas comprendieron las fases de campo y laboratorio, que abarcaron las siguientes actividades:

- Reconocimiento preliminar
- Levantamiento geológico de superficie
- Exploración de áreas de préstamo
- Clasificaciones geomecánicas
- Clasificación de materiales para excavación
- Elaboración de planos de ubicación de canteras fuentes de agua y botaderos.

Suelos y Geotecnia

Sectorización geológica

Los porcentajes de los tipos de materiales se han estimado en función de las excavaciones y afloramientos naturales, clasificándose en: Roca fija, roca suelta o descompuesta y material suelto.

Caserío La Libertad: UTM 9432100N-745900E WGS84
ZONA 17 HEMISFERIO SUR
Ubicación: 0+00 km
Cota 1350.00

Caserío El arenal: UTM 9433800N- 746300E WGS84
ZONA 17 HEMISFERIO SUR
Ubicación: 2+950 km
Cota 1523.00

Caserío Las Piñas: UTM 9455600N- 745100E WGS84
ZONA 17 HEMISFERIO SUR
Ubicación: 9+600 km
Cota 2090.00

Caserío Miraflores:	UTM 9436800N- 744400E WGS84 ZONA 17 HEMISFERIO SUR Ubicación: 12+700 km Cota 2450.00
Caserío Buena Esperanza:	UTM 9440000N- 743700E WGS84 ZONA 17 HEMISFERIO SUR Ubicación: 21+000 km Cota 1260.00
Caserío Burgos:	UTM 9443800N- 745800E WGS84 ZONA 17 HEMISFERIO SUR Ubicación: 26+600 km Cota 910.00

Exploración del subsuelo

Los ensayos estándar de laboratorio se ejecutaron en un Laboratorio especializado de la ciudad de Jaén; entre los principales ensayos ejecutados para definir las propiedades de los suelos investigados, se tienen:

- Granulometría de agregados..... (ASTM-D-422)
- Humedad Natural..... (ASTM-D-2216)
- Límite Líquido..... (ASTM-D-423)
- Límite Plástico..... (ASTM-D-424)
- Proctor Modificado y CBR..... (ASTM-D-1557 Y 1883)

Como base, sub base, relleno. Se estima un porcentaje de utilización del 90% considerando una potencia de explotación 5.0m en promedio. Para alcanzar valores óptimos en cuanto a plasticidad se podrá utilizar aditivos químicos (CON CAL CEMENTO PORTLAND, etc.) cuyo uso está muy difundido y son de fácil aplicación, permitiendo disminuir el IP a la vez que incrementa su valor CBR.

Diseño de Pavimento

Los factores más importantes que deben tenerse en cuenta en el diseño de pavimentos debido a que afectan la eficiencia de la estructura, ya sean pavimentos rígidos o flexibles, son: Por Tráfico Por Clima: tipo de traficoT1 42 veh/día(16-50 veh/día)

GRAFICO 3.3. CARACTERISTICAS DELPAVIMENTO					
UBICACION		ES PESOR AFIRMADO " e "(m)	ES PESOR SUBRASANTE OVER (m)	ANCHO SUBRASANTE OVER " a " (m)	ANCHO CALZADA (m)
Prog. Inicial	Prog. Final				
00-000.00	02-500.00	0.25	0.15	5.10	4.00
02-500.00	05-900.00	0.20	—	5.20	4.00
05-900.00	06-800.00	0.15	0.15	5.00	4.00
06-800.00	15-000.00	0.20	—	5.10	4.00
15-000.00	26-673.50	0.30	—	5.30	4.00

Hidrología y Drenaje

El sistema de drenaje existente está constituido principalmente por obras de drenaje superficial tipo alcantarillas, badenes de concreto, y cunetas de tierra, las que en su mayoría se encuentran estructuralmente en mal estado, evitando obstrucciones con material de arrastre depositados en el cauce y con vegetación por el inadecuado e inoportuno mantenimiento y limpieza.

Impacto Ambiental

- Evaluar el potencial y estado actual del medio ambiente en el que se desarrollará el proyecto vial.
- Determinar los impactos ambientales que puede generar el proyecto durante las etapas de rehabilitación y operación.
- Establecer un plan de manejo ambiental (Plan de Control Ambiental) que implique la ejecución de acciones de prevención y/o control ambiental, como son las medidas de mitigación ambiental.

ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

Análisis de vulnerabilidad y riesgo

El presente análisis de vulnerabilidad y riesgo del Proyecto, se ha realizado en base al documento técnico "Programa de Reducción de Vulnerabilidad de Desastres Naturales", elaborado en 1996 en el marco del convenio suscrito entre el Instituto Nacional de Desarrollo – INADE, Programa de Desarrollo de las

Naciones Unidas – PNUD y la Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Organización de los Estados Americanos – OEA.

Los grados de severidad considerados son los siguientes:

- LEVE Impacto de poca importancia
- MODERADO Impacto mínimo
- GRAVE Impacto severo
- MUY GRAVE Impacto desastroso

Por su parte la probabilidad de ocurrencia, se mide de la manera siguiente:

- 1 % Es casi imposible que se presente el fenómeno
- 25 % Es poco posible que se presente el fenómeno
- 50 % Es posible que se presente el fenómeno
- 75 % Es muy posible que se presente el fenómeno
- 100 % Es seguro que se presente el fenómeno

Señalización y seguridad vial

La Señalización en todos los proyectos viales está dirigido a la implantación de diversos dispositivos de control del tránsito vehicular, mediante el establecimiento de normas pertinentes para la prevención.

Señal reglamentaria

Las señales de Reglamentación indican una orden y por lo tanto hacen conocer al usuario del camino la existencia de ciertas limitaciones y prohibiciones que regulan el uso de él, para el proyecto la señal reglamentaria "Velocidad Máxima" (R-20), al inicio de la vía, a 500 m y antes del final del tramo respectivamente.

Señal velocidad máxima (r-30)

De forma y colores correspondientes a las señales prohibitivas o restrictivas, se utilizará para indicar la velocidad máxima permitida a la cual podrán circular los vehículos.

Señales preventivas

Las señales preventivas son aquellas que se utilizan para indicar con la debida anticipación, la aproximación a ciertas condiciones especiales de la vía, como son las curvas circulares, o en las vías concurrentes a ella.

Señal informativa

Las señales informativas tienen como finalidad principal guiar al conductor de un vehículo a través de la ruta de tránsito, como son ciudades, ríos, lugares históricos, puentes, etc.

Postes kilométricos (i-8)

Se colocarán 27 postes kilométricos cada 1 Km., en toda la longitud del tramo, los pares en la margen derecha y los impares en la margen izquierda.

Obras de arte de drenaje proyectadas

74 Alcantarillas de TMC 36", 15 badenes, 8 banquetas y 24,287.02 mt. de cunetas de tierra de sección triangular con una profundidad de 0.50 m y ancho de 1.00 m.

Presupuesto de obra y plazo de ejecución

El presupuesto total asciende a **2, 729,452.40**, **plazo de ejecución de obra de 120 días calendario.**

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con este trabajo se mostraran los resultados, costo beneficio y propuestas para estabilizar con cal y cemento portland.

5.1. RESULTADOS AL ESTABILIZAR CON CAL

Humedad optima de compactación

- Para la compactación se deberá usar rodillos pata de cabra, y luego rodillos lisos de tres ruedas de acero o rodillos neumáticos. El espesor de cada capa compactada no deberá ser mayor a 15 cm.
- La compactación se iniciará a los costados de la vía e irá progresando hacia el centro hasta lograr un 95% de la densidad máxima obtenida en el laboratorio, (AASHTO T- 147).

Curado

- La capa mezclada y compactada debe ser curada por un lapso de 3 a 7 días.
- El curado de todas las capas estabilizadas podrá efectuarse mediante riegos ligeros de agua, que mantengan la superficie húmeda mientras se rodilla con compactadores neumáticos hasta su curado completo.

Ayuda a secar suelos húmedos

La cal viva (óxido de calcio) químicamente combinada con el agua, puede ser utilizada muy efectivamente para el secado de cualquier suelo con humedad.

La combinación del óxido de calcio + agua, genera una reacción exotérmica, provocando calor que evapora el agua del suelo.

Modificado

Ocurre después de hacer el mezclado inicial del óxido de calcio y los materiales arcillosos presentes en el suelo. Los iones de calcio (Ca^{++}) de la cal se

intercambian con las partículas de arcilla, con el agua y otros iones. Gracias al intercambio iónico, el suelo arcilloso se modifica, resultando:

- Reducción del Índice de Plasticidad.
- El suelo se hace friable y granular.
- Mejora la estabilidad y compactación.
- Se reduce la expansividad del suelo.

Trabajabilidad

Mejor trabajabilidad para suelos húmedos y arcillosos bajándole significativamente su índice de plasticidad.

Estabilizante

- La cal es utilizada para estabilizar y las subbases y bases debajo del pavimento.
- Durabilidad a largo tiempo en muy adversas condiciones.
- Se crea una barrera resistente al agua.
- Reducción del índice de plasticidad.
- Reduce las características de expansión y agrietamientos.
- Incrementa substancialmente la capacidad de carga.

Durabilidad

Método económico y útil de aplicación a suelos arcillosos para reducir su plasticidad.

Ventajas y Beneficios

- Mejora gradualmente la resistencia y características naturales del suelo, de modo significativo pues baja la humedad, reduce el índice de plasticidad que debe ser menor a 10%.

- Provee una variedad de beneficios, pues puede ser utilizada en suelos inestables para: secar, modificar y estabilizar suelos húmedos y arcillosos y es muy económica, útil y duradera.
- Para la estabilizar suelos se deben emplear cales aéreas, cales hidratadas que son las que actúan sobre los suelos arcillosos mejorando sus características mecánicas y forma una fuerte matriz cementante resultado una plataforma para la construcción de caminos.
- Los suelos que comúnmente se estabilizan con cal son los suelos clasificados como: CH, CL, MH, SM, SC, GC, con un índice de plasticidad mayor de 19 y con un porcentaje del 25% de finos que pasan la malla N° 20.
- 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.

5.2. Resultados al Estabilizar con Cemento Portland

Incremento de la Resistencia a la tracción, compresión y al esfuerzo cortante

Mayor resistencia, rigidez; aplicable para estabilizar suelos arcillosos de baja plasticidad, suelos arenosos y suelos granulares.

Compactación

El suelo-cemento consiste en mezclar suelo con cemento portland, y compactarlo en su contenido óptimo de humedad, de forma uniforme hasta lograr un 95% de la densidad máxima obtenida en el laboratorio, (AASHTO T- 147).

Trabajabilidad

Mejor trabajabilidad, los suelos más adecuados para estabilizar con cemento portland son los granulares tipos A 1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

Curado

Terminada la conformación y compactación del suelo estabilizado con cemento, ésta deberá protegerse contra pérdidas de humedad por un periodo no menor de siete 7 días, por métodos y/o aditivos adecuados aprobados por la supervisión.

Dosificación

Al añadir cemento portland a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente, su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

Modificado

Modifica sus propiedades químicas, físicas y mecánicas obteniendo mejores resistencias y rigideces a suelos arcillosos de baja plasticidad, suelos arenosos y suelos granulares.

Secado

Mejora los ciclos de humedecimiento, su resistencia a la compresión, a la flexión y a tracción

Durabilidad

Método económico y útil muy sencilla de realizar y es la más utilizada en el mundo y no se necesita equipo especial de construcción Consiste comúnmente en agregar cemento portland en proporción de un 7 % a un 16 % por volumen de masa y compactarlo en su contenido óptimo de humedad.

Ventajas y Beneficios

- 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 para incrementar sus resistencias.
- El suelo/cemento es un material estructural; el cual es la unión de suelo convenientemente pulverizado más cemento portland normalmente se utiliza el cemento tipo II (ya que permite alcanzar mayor resistencia por su contenido de aluminio tricálcico y sulfato de calcio), mezclado de manera íntima y homogénea y compactado a una densidad máxima con un contenido de humedad óptimo.
- Al hidratarse el cemento, la mezcla se convierte en un material de pavimento resistente y durable capaz de soportar las tensiones a las que se le someten por las cargas del tránsito y las acciones del clima.

- Para que se pueda utilizar la mezcla suelo/cemento; los suelos estudiados deben tener un IP menor a 20 y un mínimo de 45% de material pasante de la malla N° 40.
- La función del cemento es aglutinar el material y convertirlo en una masa endurecida de carácter estable. El agua hidrata y el cemento ayuda a obtener la máxima densidad lubricando los granos y partículas de suelo. Una vez que el suelo y el cemento han sido mezclados y compactado, inicia la acción del cemento la cual provoca el endurecimiento de la masa.
- La incorporación de cemento en cantidad suficiente a un suelo permite obtener un material con una resistencia mecánica apreciable a corto-medio-largo plazo. La dotación mínima de conglomerante depende del tipo de suelo, siendo los más adecuados los de tipo granular con finos poco plásticos.
- Los cementos más adecuados para estabilizar suelos son aquellos con mayor contenido de adiciones activas, como pueden ser los cementos tipo III, IV, V. Su utilización se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar sus condiciones mecánicas

Tramos Viales Mejorados Camino Vecinal la Libertad-Burgos

Caserío El arenal:

Ubicación: 3+300 km-3+360

Cota 1610.00 CBR: 3.5%

Tipo de suelo: arcilloso, limoso
arenoso, gravoso

Caserío Miraflores:

Ubicación: 14+200 km-14+300

Cota 2310.00 CBR: 1.5%

Tipo de suelo: arenoso-limoso

Caserío el piñas:

Ubicación: 10+200 km-10+270

Cota 2250.00 CBR: 2%

Tipo de suelo: arcilloso,

Caserío Buena Esperanza:

Ubicación: 23+200 km-23+280

Cota 1200.00 CBR: 4%

Tipo de suelo: limoso, arenoso,
arcilloso

CONCLUSIONES

- ✓ Mejoramiento el suelo en tramos viales con cal y cemento portland; para mejorar e incrementar su resistencia, rigidez, durabilidad y su valor de CBR. Así como modificar el comportamiento de sus propiedades físicas-mecánicas del suelo, haciendo un adecuado nivel de transitabilidad que facilite el traslado de la producción agropecuaria, carga y pasajeros.
- ✓ El mejoramiento del camino vecinal La libertad-Miraflores-Burgos su ejecución traerá muchos beneficios como la explotación de grandes extensiones de cultivos, cuya producción agropecuaria está destinada a abastecer los mercados de San Ignacio, Jaén y Chiclayo. Además mejorara el acceso a los servicios básicos de educación y salud, incremento del valor de las tierras, mejores niveles de vida de los pobladores de la zona y traerá ventajas económicas, sociales, culturales y turísticas.
- ✓ La estabilización química de suelos en carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito ($IMD \leq 200$ veh/día) es limitado frente al uso del afirmado que es más habitual, a pesar que son las más numerosas en la red vial vecinal; Son las que más se construyen a nivel nacional, actualmente existe en el mercado una gama de productos químicos estabilizadores de suelos tales como cemento portland, cal, enzimas, cloruro de magnesio, cenizas, ligninas asfalto, sales, polímeros, etc. El uso de estos productos trae ventajas significativas al costo beneficio del proyecto en ejecución ya que reduce los costos de construcción, operación y mantenimiento.
- ✓ la cal reacciona con suelos plásticos que tengan un IP Entre 10 a 50, reduciendo así significativamente el IP, creando de esta manera un nuevo

material con resistencia estructural. Suelos con IP menores a 10, usualmente, no reaccionan tan fácilmente con la cal.

- ✓ El conglomerante empleado debe ser cemento si el suelo es poco plástico, mientras que si es fino y cohesivo debe utilizarse cal aérea, aunque en ocasiones puede convenir un tratamiento mixto, primero con cal para restar plasticidad y después con cemento, para aumentar la capacidad de soporte o alcanzar resistencias.
- ✓ Uno de los efectos más importantes de la cal en el suelo es el de cambiar apreciablemente su plasticidad. Con suelos de baja plasticidad ($IP < 15$), aumentan tanto el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP. En cambio en los suelos de plasticidad media y elevada ($IP > 15$) disminuye el IP.
- ✓ Un suelo arcilloso promedio puede requerir aproximadamente 1 saco de 25kg de cal, por metro cúbico de suelo estabilizado. Esto dependerá de cuán arcilloso sea el suelo, por lo que es necesario realizar pruebas de laboratorio al suelo, para lograr una dosificación adecuada.
- ✓ Todos los suelos arcillosos, que pasan arriba del 25% tamiz 200 y con índice de plasticidad mayor que 10 o con más de 7% de arcilla, se modifican y estabilizan mediante un proceso químico eficiente con cal. Se debe utilizar la cantidad apropiada y de una calidad que cumpla con la norma ASTM C-977 (Norma de cal para estabilización de suelos) y ASTM C-25 (ensayos de laboratorio para cal).

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que el material a ser estabilizado con cal, no cuente con más del 1% de materia orgánica; esto porque suelos que contengan cantidades superiores al 1% de materia orgánica pueden requerir porcentajes de cal adicionales considerables y/o procedimientos de construcción especiales.
- ✓ Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento portland son los granulares tipos A 1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$). La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente, y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente según el tipo de suelo.
- ✓ Como norma general se puede señalar que para que la estabilización con cal sea eficaz, los suelos deben ser plásticos, y en este sentido se considera que a partir de un índice de plasticidad (IP) igual o mayor a 10, el suelo es adecuado para reaccionar satisfactoriamente con este agente estabilizante.
- ✓ Se debe construir un tramo de prueba para cada proyecto donde sea implementada una técnica de estabilización y ajustar, coordinar a escala real, todos y cada uno de los parámetros de ejecución.
- ✓ Se recomienda como mínimo realizar tres pasadas de mezclado cuando el equipo utilizado para esta etapa del proceso constructivo sea una "motoniveladora".
- ✓ Se recomienda la revisión periódica de las normas ASTM y AASHTO, para estar al día con los cambios que se realicen a estas.
- ✓ Se recomienda hacer y seguir un plan de control de calidad, para el diseño, proceso constructivo y control final de la capa suelo-cal, donde se defina claramente cuáles son los ensayos de control de calidad a realizar y la frecuencia de los mismos, con el cual todas las partes involucradas en el proyecto estén conformes.
- ✓ Se recomienda que la dosificación del porcentaje de cal y cemento portland a utilizar en obra, dependerá de las características y propiedades que presente cada tipo de suelo en particular, de tal modo que haya un control adecuado del diseño de la mezcla ya que debe cumplir con las normas peruanas de estabilizadores químicos del MTC-2014.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- ✓ Castillo, R. d. (2005). *LA INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPISTAS VOLUMEN 2*. Mexico: Limusa.
- ✓ Comunicaciones, M. d. (2004). Norma TECNICA DE ESTABILIZACIONES DE SUELOS DE CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRAFICO. EN M. D. COMUNICACIONES, *NORMA TECNICA DE ESTABILIZACIONES DE SUELOS DE CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRAFICO* (pág. 302). Lima: MTC-2004.
- ✓ Comunicaciones, M. d. (2008). *MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO EG-CBT 2008 SECCION 308 B (2008)*. Lima: MTC.
- ✓ Heber Manrique Huevo Maldonado, a. c. (2009). *GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN EL SALVADOR*". El Salvador.
- ✓ Madrid, S. d. (24 de abril de 2009). *ESTABILIZACION QUIMICA DE SUELOS*. Obtenido de <http://www.ingenieria-civil 2009>
- ✓ Madrid, U. d. (2002). *Estabilizacion con Cal y Cemento Portland*. Madrid: Universidad de Madrid.
- ✓ Marquez, S. (2005). *ESTABILIZACIÓN QUIMICA DE SUELOS CON CAL O CEMENTO*. Argentina: Universidad Nacional de Patagonia San Bosco.
- ✓ Materiales, E. y. (24-05 de mayo de 1993). *es.slideshare.net.../mejoramiento de suelos con adiciones quimicas*. Obtenido de <http://www.ingenieria-civil.com>
- ✓ Merino, M. R. (23 de Agosto de 2010). *es.slideshare.net.../mejoramiento de suelos con adiciones quimicas*. Obtenido de <http://www.slideshare.net>
- ✓ Nicholas J. Garber, L. A. (2005). *INGENIERÍA DE ESTABILIZACION DE SUELOS Y TRÁNSITO DE CARRETERAS 3ª EDICION*. Ecuador: Thomson.
- ✓ Peru, M. d. (2008). CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO,SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL Y CEMENTO PORTLAND. EN D. G. FERROCARRILES, *CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO* (pág. 238). Lima: MTC.
- ✓ R., A. T. (2002). *ESTABILIZACION DE SUBRASANTES CON CAL.TESIS EN CURSO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL UNIVERSIDAD DE PIURA*. Piura.
- ✓ Ramones, I. J. (2010). *TEMAS 2 Y 3 PRODUCCION DE CAL Y CEMENTO*. Venezuela.

- ✓ Salvador, U. d. (1995). *PROCEDIMIENTO PARA LA ESTABILIZACION Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS DE TIERRA EMPLEANDO CAL Y CEMENTO PORTLAND* . El Salvador: Universidad.

ANEXOS


CUADRO N°4.1: RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO EN CANTERAS

ENSAYOS DE LABORATORIO	CANTERA		
	LIBERTAD	MIRAFLORES	BUENA ESPERANZA
Límite Líquido (%)	29	22	23
Limite Plástico (%)	22	18	19
Índice de Plasticidad (%)	7	4	4
Contenido de Humedad (%)	6.32	4.28	3.62
Peso Específico (gr/cm ³)	2.56	2.61	2.61
Absorción (%)	1.30	1.12	1.15
Equivalente de Arena (%)	17	26	19
Clasificación A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4 (0)	A - 1 - a (0)	A - 1 - a (0)
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.058	2.302	2.178
Optimo Contenido de Humedad (%)	11.00	7.80	9.60
Capacidad de Soporte (C.B.R.) 100% M.D.S	7.60	54.50	19.00
Desgaste a la Abrasión (%)	32.50	38.52	40.86
Volumen Útil (m ³)	20,000	15,000	15,000

FUENTE: ESTUDIO GEOTECNICO

Resultados de ensayos de laboratorio de estudios de suelos

Autor: Bach..

GEOCON VIAL - INGENIEROS CONSULTORES E.I.R.L.										OFICINA DE GESTION Y CONTROL DE CALIDAD		
 GEOCON VIAL INGENIEROS CONSULTORES E.I.R.L. CUADRO GENERAL QCG-GT-02 DATOS DEL PROYECTO										ECTOR	PROYECTOS	
										ODIGO	130-12-GT-CG-002	
DATOS DEL PROYECTO										DATOS DEL PERSONAL		
PROYECTO	MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL LA LIBERTAD - MIRAFLORES - BURGOS									GERENTE GENERAL	ING. RAFAEL QUIROZ CH.	
UBICACIÓN	DISTRITO: HUARANGO, PROVINCIA: SAN IGNACIO, REGION : CAJAMARCA.									JEFE DE CALIDAD	ING. RAFAEL QUIROZ CHIHL	
SOLICITANTE	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUARANGO									TECNICO DE LAB	EMILIO SOBERON DIAZ.	
CUADRO GEOTÉCNICO ESPECIAL												
PROGRESIVA Km.	CALICATA Nº	MUESTRA	PROFUNDIDAD DE CALICATA m.	CLASIFICACION DEL SUELO A.A.S.H.T.O M 145	INDICE DE GRUPO A.A.S.H.T.O M 145 IG	DENSIDAD SECA A.S.T.M. D 2937 A.A.S.H.T.O. T 191 Ds (gr/cm ³)	PORCENTAJE DE COMPACTACION DEL ESTRATO (%)	PROCTOR MODIFICADO A.S.T.M. D 1557		C.B.R. (95 % M.D.S.)	CALIDAD GENERAL COMO SUB RASANTE	TIPO DE TRATAMIENTO
								DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm ³)	CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD (%)			
C - 1	M - 1	00 + 000	0,00 - 1,50	A - 7 - 5	14	1,43	-	-	-	-	MUY POBRE	Km. 00 + 000 - Km. 02 + 500
C - 2	M - 1	00 + 500	0,00 - 1,50	A - 2 - 4	0	1,96	-	-	-	-	POBRE	
C - 3	M - 1	01 + 000	0,00 - 1,50	A - 2 - 4	0	1,76	-	-	-	-	POBRE	
C - 4	M - 1	01 + 500	0,00 - 1,50	A - 4	9	1,42	76	1,870	11,60	1,15 (95 % M.D.S.)	MUY POBRE	
C - 5	M - 1	02 + 000	0,00 - 1,50	A - 4	4	1,51	-	-	-	-	POBRE	
C - 6	M - 1	02 + 500	0,00 - 1,50	A - 4	7	1,35	-	-	-	-	POBRE	
C - 7	M - 1	03 + 000	0,00 - 1,50	A - 4	7	1,37	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	Km. 00 + 000 - Km. 05 + 800
C - 8	M - 1	03 + 500	0,00 - 1,50	A - 4	9	1,39	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	
C - 9	M - 1	04 + 000	0,00 - 1,50	A - 4	7	1,37	72	1,917	11,25	4,00 (95 % M.D.S.)	REGULAR A POBRE	
C - 10	M - 1	04 + 500	0,00 - 1,50	A - 4	6	1,42	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	

Autor: Bach..

C - 11	M - 1	05 + 000	0.00 - 1.50	A - 7 - 5	15	1.46	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	E min = 20 cm
C - 12	M - 1	05 + 500	0.00 - 1.50	A - 7 - 5	20	1.48	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	
C - 13	M - 1	06 + 000	0.00 - 1.50	A - 2 - 4	0	1.44	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	
C - 14	M - 1	06 + 500	0.00 - 1.50	A - 2 - 4	0	1.46	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	Km. 05 + 900 - Km. 06 + 800
C - 15	M - 1	07 + 000	0.00 - 1.50	A - 2 - 4	0	1.45	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	0 cm (15 cm AFIRMADO + 15 cm OVE)
C - 16	M - 1	07 + 500	0.00 - 1.50	A - 4	8	1.38	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	Km. 06 + 800 - Km. 15 + 000
C - 17	M - 1	08 + 000	0.00 - 1.50	A - 4	4	1.36	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	
C - 18	M - 1	08 + 500	0.00 - 1.50	A - 4	4	1.40	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	
C - 19	M - 1	09 + 000	0.00 - 1.50	A - 4	7	1.27	-	-	-	-	REGULAR A POBRE	
C - 20	M - 1	09 + 500	0.00 - 1.50	A - 2 - 4	0	1.29	-	-	-	-	REGULAR	
C - 21	M - 1	10 + 000	0.00 - 1.50	A - 1 - a	0	1.26	-	-	-	-	REGULAR	
C - 22	M - 1	10 + 500	0.00 - 1.50	A - 2 - 4	0	1.24	-	-	-	-	REGULAR	
C - 23	M - 1	11 + 000	0.00 - 1.50	A - 2 - 4	0	1.32	-	-	-	-	REGULAR	
C - 24	M - 1	11 + 500	0.00 - 1.50	A - 2 - 4	0	1.53	-	-	-	-	REGULAR	
C - 25	M - 1	12 + 000	0.00 - 1.50	A - 2 - 4	0	1.31	62	2.104	9.50	9.40 (95 % M.D.S.)	REGULAR	
C - 26	M - 1	12 + 500	0.00 - 1.50	A - 2 - 4	0	1.36	-	-	-	-	REGULAR	

Panel Fotográfico



FOTO 1: SE APRECIA LA VIA EN MAL ESTADO



FOTO 2: SE APRECIA EL ESTADO DE LA VIA



FOTO 3: SE APRECIA LA MAQUINARIA EN LA EJECUCION DEL MEJORAMIENTO



FOTO 4: SE APRECIA LA CONSTRUCCION DE ALCANTARIAS



*Tesis: "CONSOLIDACIÓN QUÍMICA DE SUELOS CON CAL Y CEMENTO PORTLAND EN
TRAMOS VIALES A MÁS DE 2300 MSNM, APLICANDO LA NORMAS DEL
MTC-2014, CASO: CAMINO VECINAL LA LIBERTAD-MIRAFLORES-BURGOS,
HUARANGO, SAN IGNACIO, CAJAMARCA".*

Autor: Bach..