

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Código F-AC-DBL-007	Fecha 10-04-2012	Revisión A
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO	Aprobado	Pág. 1(70)

RESUMEN - TESIS DE GRADO

AUTORES	EDISSON FORERO RAMIREZ
FACULTAD	DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR	NATHALIA RODRIGUEZ URIBE
TÍTULO DE LA TESIS	APOYO EN LA CARACTERIZACION Y CONTROL DE CALIDAD EN CANTERAS Y EN VIA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE LA DOBLE CALZADA RUTA DEL SOL SECTOR 2

RESUMEN (70 palabras aproximadamente)

EN ESTE DOCUMENTO SE PRESENTA UNA SÍNTESIS DEL TRABAJO REALIZADO COMO ESTUDIANTE-PASANTE EN LA EMPRESA CONSTRUCTORA RUTA DEL SOL SECTOR 2; ASÍ COMO LA DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA, DEPENDENCIAS, FUNCIONES Y LAS ACTIVIDADES DE MÁS RELEVANCIA DESARROLLADAS DURANTE ESTE PERÍODO DE PRÁCTICA EN MARCADO UN AMBIENTE TEÓRICO-PRÁCTICO DEL ESTUDIANTE EN ALGUNAS DE LAS ÁREAS DE OCUPACIÓN DE LA INGENIERÍA CIVIL.

DE IGUAL MANERA SE HACE REFERENCIA AL OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN CONCERNIENTE AL APOYO EN LA CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 70	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 5	CD-ROM: 1
--------------------	----------------	-------------------------	------------------



APOYO EN LA CARACTERIZACION Y CONTROL DE CALIDAD EN CANTERAS
Y EN VIA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE LA
DOBLE CALZADA RUTA DEL SOL SECTOR 2

EDISSON FORERO RAMIREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA CIVIL
OCAÑA
2016

APOYO EN LA CARACTERIZACION Y CONTROL DE CALIDAD EN CANTERAS
Y EN VIA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE LA
DOBLE CALZADA RUTA DEL SOL SECTOR 2

EDISSON FORERO RAMIREZ

Trabajo de Grado, modalidad Pasantías, presentada como requisito para optar por el título
de Ingeniero Civil.

Director
NATHALIA RODRIGUEZ URIBE
Ingeniero civil

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA CIVIL
OCAÑA
2016

CONTENIDO

	Pág.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	13
<u>1. APOYO EN LA CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN CANTERAS Y EN VÍA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA DOBLE CALZADA RUTA DEL SOL SECTOR 2</u>	14
<u>1.1 DESCRIPCIÓN BREVE DE LA EMPRESA</u>	14
1.1.1 Misión.	15
1.1.2 Visión.	15
1.1.3 Objetivos de la Empresa	15
1.1.4 Descripción de la estructura organizacional	16
1.1.5 Descripción de la dependencia en la que fue asignado.	16
<u>1.2 DIAGNOSTICO INICIAL DE LA DEPENDENCIA ASIGNADA</u>	16
1.2.1 Planteamiento del problema	17
<u>1.3 OBJETIVOS</u>	17
1.3.1 Objetivo General.	17
1.3.2 Objetivos Específicos.	17
<u>1.4 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN LA PASANTIA.</u>	19
<u>2. ENFOQUE REFERENCIAL</u>	20
<u>2.1 ENFOQUE CONCEPTUAL</u>	20
<u>2.2 ENFOQUE LEGAL</u>	23
<u>3. INFORME CUMPLIMIENTO DE TRABAJO</u>	24
<u>3.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</u>	24
<u>3.2 OBJETIVOS INVESTIGATIVOS</u>	54
<u>4. DIAGNÓSTICO FINAL</u>	62
<u>5. CONCLUSIONES</u>	63
<u>6. RECOMENDACIONES</u>	64
<u>REFERENCIAS DOCUMENTALES ELECTRÓNICAS</u>	65
<u>ANEXOS</u>	67

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Rutas que conforman el proyecto	14
Cuadro 2. Cuadro control de resistencias.	18
Cuadro 3. Actividades a desarrollar	19
Cuadro 4. Formato de Identificación de las Muestras	26
Cuadro 5. Tabla 220 - 2. Verificaciones periódicas de calidad de los materiales	26
Cuadro 6. Símbolos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	27
Cuadro 7. Clasificación se suelos según AASHTO	29
Cuadro 8. Requisitos de los materiales para terraplén	30
Cuadro 9. Serie de tamices.	31
Cuadro 10. Tabla de PH y porcentajes de Cal.	39
Cuadro 11. Tabla dosificación de cal viva en banco.	43
Cuadro 12. Tabla dosificación de cal viva en material suelto.	44
Cuadro 13. Tabla Resumen.	45
Cuadro 14. Formato comparativo con la Norma.	46
Cuadro 15. Especificaciones	51
Cuadro 16. Localización del punto de ensayo.	52
Cuadro 17. Medida de la resistencia	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura organizacional	16
Figura 2. Densidades de campo	48
Figura 3. Perfil de la vía.	57
Figura 4. Granulometría Hito 38E	60
Figura 5. Resistencia sin material adicional	61

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafico 1. Grafica de plasticidad del USCS	27
Grafica 2. Grafica de Proctor Modificado	33
Grafica 3. Grafica de CBR	34
Grafica 4. Curva de PH.	39

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Localización del área a explotar.	24
Fotografía 2. Retroexcavadora Pajarita	25
Fotografía 3. Clasificación de los suelos.	28
Fotografía 4. Lavado de Muestra de Suelo	31
Fotografía 5. Muestras de Suelo-óxido de Calcio+Agua	38
Fotografía 6. Homogenización de la mezcla cal-material natural	40
Fotografía 7. Densidad en Sub-base Granular	48
Fotografía 8. Densidad seca en base granular	50
Fotografía 9. Densidad seca en cuerpo de box-cullver	50
Fotografía 10. Densidad en base cementada50	
Fotografía 11. Ensayo viga benkelman	53
Fotografía 12. INVE 791 textura superficial de un pavimento mediante el método del círculo de arena	53
Fotografía 13. Registró fotográfico de toma de muestra de cilindros de concreto	54
Fotografía 14. Recicladora – estabilizadora de suelos.	55
Fotografía 15. Vibro compactador.	55
Fotografía 16. Motoniveladora.	56
Fotografía 17. Equipos varios: Volquetas, Camión cisterna y cargador múltiple.	56
Fotografía 18. Humedecimiento del material	58
Fotografía 19. Aplicación de cemento	58
Fotografía 20. Compactación	59

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Formato de Densidades y Deflexiones	68
Anexo B. Materiales de la cantera Paraíso con sus respectivos registros	69
Anexo C. Ensayos de Proctor y CBR	70

RESUMEN

En este documento se presenta una síntesis del trabajo realizado como estudiante-pasante en la empresa constructora Ruta del sol sector 2; así como la descripción de las características de la empresa, dependencias, funciones y las actividades de más relevancia desarrolladas durante este período de práctica enmarcado un ambiente teórico-práctico del estudiante en algunas de las áreas de ocupación de la ingeniería civil.

De igual manera se hace referencia al objetivo de investigación concerniente al apoyo en la caracterización y control de calidad en canteras y en vía de los materiales utilizados en la construcción de la doble calzada Ruta del sol sector 2; que comprende 528 kilómetros del área de influencia desde Puerto Salgar (Cundinamarca), hasta San Roque (Cesar).

En aras de mejorar la calidad de vida de los habitantes y generar condiciones óptimas para incrementar el comercio nacional e internacional, la Concesionaria Ruta del Sol S.A.S. y el Consorcio Constructor Ruta del Sol – CONSOL- vienen desarrollando el Proyecto Vial Ruta del Sol Sector 2. Esta Obra busca conectar el centro del país con la Costa Caribe y sus puertos, su propósito es incrementar la competitividad y productividad del país, generar impacto en las diversas regiones de influencia para incentivar el turismo, asegurar el tránsito vehicular así como disminuir tiempos y costos de transporte.

Además de la construcción de la nueva calzada, se desarrollara la rehabilitación de la calzada existente, realizando sus respectivas ampliaciones, puentes, obras de arte y demás que se contemple en los documentos del proyecto.

En la construcción, mejoramiento y rehabilitación y demás obras que se requieran en esta importante vía se presentan diferentes estratos de materiales que en su mayoría contienen un alto porcentaje arcillas, limos y suelos blandos, y es responsabilidad del área de calidad establecer medios para mejorar y estabilizar los diferentes materiales encontrados a lo largo del proyecto. Obliga al área de control de calidad a proponer constantemente programas y proyectos tendientes a la construcción, reconstrucción, mejoramiento, rehabilitación, conservación, de toda la estructura del proyecto desde su mismo cimiento hasta la rasante de la vía.

Por otro lado se detallaran cada una de las actividades realizadas durante este periodo de pasantías, asignados al Área de Calidad, para el respectivo seguimiento de obra, tal como estará relacionado en la bitácora, y soportado mediante el registro fotográfico anexo a este documento, además del respectivo control de calidad aplicado a cada uno de los procesos constructivos que fueron necesarios durante la realización de las obras, siempre tomando como referencia normas tan importantes como la INVIAS 2013.

INTRODUCCIÓN

En la Facultad de Ingeniería la finalidad de las pasantías es contribuir a la formación profesional de los estudiantes, mediante el cumplimiento de las actividades pedagógicas con contenido práctico. Esta modalidad de proyecto de grado permite conocer con detalle el ambiente de trabajo, la interacción con un grupo y la familiarización con el mundo y mercado laboral, brindándole al estudiante la oportunidad de conocer acerca de su futuro profesional; y además demostrando en estos ambientes la participación de la Ingeniería en el desarrollo del País. Para el presente caso, se especifican los aspectos relacionados con la experiencia de pasantía en la empresa Constructora Ruta del Sol sector 2. Al respecto y teniendo en cuenta los diferentes materiales de préstamo que se contempla a lo largo del proyecto para la construcción de terraplenes, coronas y estructura de pavimento, fue necesario estabilizar, mejorar y optimizar los diferentes materiales con productos químicos y mezclas con materiales de alta capacidad portante en diferentes dosificaciones dependiendo de la clasificación del mismo.

La presentación de este informe está estructurada mediante la descripción de varios componentes importantes, en donde se contempla la empresa, mostrando de manera general la misión, visión, objetivos y funciones principales de la misma; las actividades dirigidas en su mayoría a la inspección y seguimiento de las obras asignadas y finalmente se detalla la información del control de calidad y caracterización de los diferentes materiales utilizados en la construcción, mejoramiento y rehabilitación de la doble calzada Ruta del sol sector 2.

1. APOYO EN LA CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN CANTERAS Y EN VÍA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA DOBLE CALZADA RUTA DEL SOL SECTOR 2

1.1 DESCRIPCIÓN BREVE DE LA EMPRESA

La Ruta del Sol es uno de los principales proyectos de infraestructura vial en la República de Colombia, a ser realizado a través de la Agencia Nacional de Infraestructura ANI, vinculada al Ministerio de Transporte. Conectará Bogotá con el Caribe Central a través de un recorrido de más de 1.070 km y consiste en uno de los mayores proyectos en América Latina en la actualidad.

La totalidad del Proyecto Vial Ruta del Sol comprende tres sectores:

Sector 1 - Villeta - Puerto Salgar

Sector 2 - Puerto Salgar - San Roque y

Sector 3 - San Roque - Ye de Ciénaga, Carmen de Bolívar y Valledupar.

El Sector 2 fue adjudicado a la Concesionaria Ruta del Sol S.A.S, integrada por las empresas: Odebrecht, Corficolombiana y CSS Constructores S.A., según la siguiente la composición accionaria:

OBEBRECHT	62,01%
CORFICOLOMBIANA	33,00%
CSS CONSTRUCTORES S.A.	4,99%

La Concesionaria mediante contrato EPC para el diseño, suministro, construcción, mejoramiento y rehabilitación de las obras del sector 2 Puerto Salgar – San Roque del Proyecto Vial Ruta Del Sol, contrata con el CONSORCIO CONSTRUCTOR RUTA DEL SOL – CONSOL (con la misma composición accionaria definida arriba), la realización de estas actividades.

Las Rutas que conforman el proyecto, sus tramos y longitudes, según la denominación del INVIAS, son las siguientes:

Cuadro 1. Rutas que conforman el proyecto

TRAMO	No. de RUTA	P.R. INICIO	P.R. FINAL	LONGITUD (Km)
Puerto Salgar - Caño alegre	4510	PR 34	PR 81	47
Caño alegre – Puerto Araujo	4510	PR 81	PR 134	114
Caño alegre - Puerto Serviéz	4511	PR 00	PR 61	
Puerto Serviéz - Puerto Araujo				
Puerto Araujo - La Lizama	4511	PR 61	PR 149	88

Cuadro 1. (Continuación)

TRAMO	No. de RUTA	P.R. INICIO	P.R. FINAL	LONGITUD (Km)
La Lizama - San Alberto	4513	PR 00	PR 91	91
San Alberto – Aguachica	4514	PR 00	PR 65	65
Aguachica - La Mata	4514	PR 65	PR 100	35
La Mata - San Roque	4515	PR 00	PR 88	88
TOTAL aproximado				528

Fuente. Ruta del sol

1.1.1 Misión. Garantizar a la sociedad la construcción, mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura vial, montaje y gestión de obras civiles, industriales y de tecnología especial, medio ambiente, salud y seguridad en el trabajo, entre otras, contribuyendo así, al desarrollo sostenible y a la integración del país a través de una red eficiente, cómoda y segura.

1.1.2 Visión. Creada en 2009, la Visión de la situación deseada para que la Organización la alcance en 2020 se describe de la siguiente forma:

Odebrecht, preservando el orgullo de su origen brasileño, es una Organización Global, con miles de Personas de Conocimiento de diversas nacionalidades y competencias, unidas por la misma cultura empresarial, la TEO.

Estableciendo compromisos de largo plazo, construye relaciones político-estratégicas pautadas en la confianza y se integra en la sociedad, y se convierte en motivo de orgullo para las Comunidades donde actúa por su contribución al desarrollo sostenible.

Los Líderes educadores de la Organización forman e integran, anualmente, a miles de Personas de Conocimiento, ejercen la plena práctica empresarial y capturan sinergias en la Organización de forma que mejor atienda al Cliente y genere riquezas, lo que proporciona el crecimiento, la diversificación cualificada y la perpetuidad de su Negocio y de la Organización.

Es una de las 50 organizaciones más admiradas del mundo, líder en los negocios o países donde actúa, y referencia en la creación de valor y desarrollo sostenible para Clientes, Accionistas, Integrantes y Sociedad.

1.1.3 Objetivos de la Empresa. El objetivo de la Organización es la generación de riqueza creciente para Clientes, Accionistas, Integrantes y Comunidades, y tiene como rumbo su Supervivencia, su Crecimiento y su Perpetuidad.

Contribuir al desarrollo vial del País.

Propender por la Satisfacción de clientes y usuarios de la infraestructura vial.

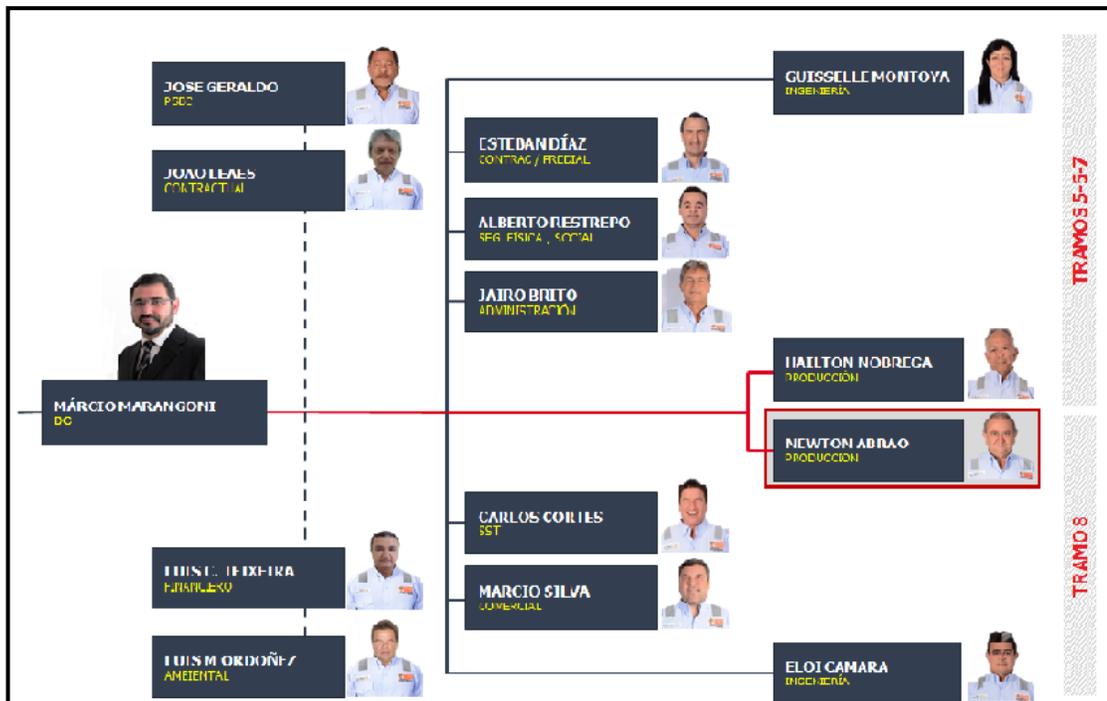
Lograr eficiencia y calidad en los programas y proyectos viales.

Mejoramiento continuo de los procesos.

Potenciar el talento humano.

1.1.4 Descripción de la estructura organizacional

Figura 1. Estructura organizacional



Fuente. Ruta del sol

1.1.5 Descripción de la dependencia en la que fue asignado.

El área de control de calidad del proyecto se encarga de realizar los estudios previos de los diferentes materiales a utilizar en la obra, además controles técnicos en los diferentes proceso y ejecución de las obras de construcción del corredor vial incluyendo las obras de artes y puentes.

1.2 DIAGNOSTICO INICIAL DE LA DEPENDENCIA ASIGNADA

En la actualidad, en el Proyecto de Construcción de la Ruta de Sol sector II, el área de control de calidad es la responsable de buscar las soluciones frente a las características de suelos no aptos para la construcción de la vía encontrados a lo largo de la zona de ejecución de la obra.

La función del área de control de calidad se enfoca en hacer el control de los materiales buscando aplicar uno o varios de los siguientes factores:

Secar el material dado los altos contenidos de humedad propios de cada fuente.

Modificar, logrando un PH mínimo para garantizar una reacción química entre los componentes.

Estabilizar, logrando una mejoría en términos de resistencia al corte de los suelos encontrados.

Para ello se realizan los ensayos que permitan clasificar el suelo para con base en esto proponer la mejor solución técnica y económica.

En el proyecto se han propuesto soluciones como son mezclas con cal, las cuales son variables de acuerdo con las características de los suelos naturales encontrados a lo largo de la zona de construcción del proyecto.

1.2.1 Planteamiento del problema. Los suelos presentes en las zonas de ejecución del proyecto tiene alto contenido de humedad, convirtiéndose en suelos blandos; también encontramos en la zona gran cantidad de suelos arcillosos y limos; siendo estos suelos no aptos para la construcción de una vía con nivel de tránsito 3, ya que son suelos que presentan altas deformaciones generando al mismo tiempo esfuerzos de tensión horizontal.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Apoyar la caracterización y el control de calidad en canteras y en vía de los materiales utilizados en la construcción de la doble calzada Ruta del Sol Sector 2

1.3.2 Objetivos Específicos. Analizar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre suelos naturales y mejorados con cal viva.

Diseñar el porcentaje óptimo de cal viva en laboratorio de acuerdo con la caracterización del suelo natural.

Dosificar en campo el porcentaje de cal óptimo diseñado en Laboratorio.

Diseño de un formato para realizar informe semanal de los resultados obtenidos con los diferentes materiales utilizados en la construcción del terraplén y compararlos con la normativa. (Ver anexos)

Realizar ensayos de campo los cuales permiten liberar o no la ejecución de cada uno de las diferentes capas de relleno, (humedades, Densidades, viga Benkelman)

Objetivos investigativo. Utilizar como capa BGTC (Base Granular Tratada con Cemento), Reciclado de pavimento asfáltico en frío comparte de la capa granular existente, adicionado con cemento hidráulico.

En base a este proceso se realizan los siguientes controles de calidad por parte del pasante.

Homogenización de la mezcla en campo (Reciclado pavimento existente + capa granular existente + cemento hidráulico).

Para efectos de control de calidad y aceptación de los materiales se lleva a laboratorio una vez por semana y/o cada vez que se cambie de tramo, material suelo disgregado con cemento, para realizar los correspondientes ensayos.

Análisis granulométrico, Límites de consistencia, Densidad Máxima de laboratorio (Proctor).

Calidad de la mezcla (Resistencia). De la mezcla elaborada se toma una muestra para compactar 6 probetas de suelo- cemento para verificar resistencia a la compresión simple a 3 días (si es necesario), 7 días (por especificación) y 2 testigos.

La resistencia media de las dos (2) o más probetas que representan el tramo ejecutado, deberá ser igual o superior al noventa y dos por ciento (92 %) de la resistencia de diseño (2,1 MPa), conforme se describe en el numeral 350.4.1. de la especificación I.N.V. 350-13.

Cuadro 2. Cuadro control de resistencias.

REGISTRO	FECHA	LOCALIZACIÓN		RESISTENCIA DE DISEÑO MPA	ESPECIFICACIÓN PARA DISEÑO I.N.V. ART. 350-13		FECHA DE RUTURA	RESISTENCIA A 7 DIAS		ESPECIFICACIÓN DE RESIST. MIN. I.N.V. ART. 350-13
		INICIAL	FINAL		MINIMO	MAXIMO		MPA	%	

Fuente. Pasante del proyecto

Condiciones de Recibo del producto terminado.

Deflexiones

Las deflexiones de la capa, fueron determinadas bajo norma I.N.V. E-795- 13, y se evalúa como capa de Base de Granular tratada con cemento (BGTC) según las especificaciones del proyecto, la deflexión máxima permitida es de 26×10^{-2} mm.

Densidades en campo con densímetro Nuclear

1.4 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN LA PASANTIA.

Cuadro 3. Actividades a desarrollar

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN LA EMPRESA PARA HACER POSIBLE LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS
Desarrollar actividades de apoyo en el área de control de calidad como auxiliar de ingeniería en la RUTA DEL SOL (consol) sector II.	Analizar resultados de los ensayos de suelo natural que se ejecutaron en el laboratorio	Realización de ensayos de clasificación, proctor, capacidades portantes (CBR), materia orgánica entre otras. TABLA 1 se detallan
	Diseñar el porcentaje óptimo de cal viva en laboratorio, para aplicar en los diferentes materiales de relleno en cantera.	Adición en laboratorio diferentes porcentajes de cal viva a un mismo material y realizar los ensayos de capacidad portante (CBR) y humedad, para establecer un porcentaje óptimo de cal.
	Dosificar en cantera el porcentaje de cal teniendo en cuenta la densidad máxima suelta del material y la humedad natural.	Realización en campo el cálculo en kilogramos de cal viva teniendo en cuenta la humedad y la densidad del material. En anexo se muestra el cuadro de detalle de
	Diseño de un formato para realizar informe semanal de los resultados obtenidos con los diferentes materiales utilizados en la construcción del terraplén y compararlos con la normativa.	Elaboración de una tabla donde se detalla lo relacionado a ubicación y ensayos de laboratorio.
	Realizar ensayos de campo para aceptación de las diferentes capas de relleno de terraplén.	Desarrollo de experiencia de campo con equipo (Densímetro Nuclear), humedades y viga Benkelman
	Utilizar como capa BGTC (Base Granular Tratada con Cemento), Reciclado de pavimento asfáltico en frío comparte de la capa granular existente, adicionado con cemento hidráulico.	Elaboración de muestreo de la mezcla para realizar ensayos de clasificación y probetas de resistencia. En anexo se muestra a detalle la tabla 2 de seguimiento de la actividad.

Fuente. Pasante del proyecto

2. ENFOQUE REFERENCIAL

2.1 ENFOQUE CONCEPTUAL

Control de calidad. Implantación de programas, mecanismo, herramientas y/o técnicas en una empresa para la mejora de la calidad de sus productos, servicios y productividad.¹

El control de la calidad es una estrategia para asegurar el cuidado y mejora continua en la calidad ofrecida. Para ello se tienen objetivos como lo es el establecer un control de calidad busca ofrecer y satisfacer a los clientes al máximo y conseguir los objetivos de la empresa. Para ello, el control de calidad suele aplicarse a todos los procesos de la empresa. En primer lugar, se obtiene la información necesaria acerca de los estándares de calidad que el mercado espera y, desde ahí, se controla cada proceso hasta la obtención del producto/servicio, incluyendo servicios posteriores como la distribución. Las actividades del control de calidad son preventiva, control de procesos, verificación y motivación.

El control de calidad debe realizar la Retroalimentación para que las experiencias que se hayan tenido durante la construcción se tomen en cuenta para modificar total o parcialmente las especificaciones y proyectos.

Localización. Se realiza ciñéndose a los planos de localización general del proyecto y a los planos topográficos, para lo cual se emplean sistemas de precisión que permitan fijar adecuadamente los puntos auxiliares, los cuales deben ser verificados por la Interventoría para el replanteo posterior. La localización se hace basándose en los puntos de control vertical y horizontal que sirvieron de base para el levantamiento del lote mediante el empleo de tránsito y nivel de precisión. Se computa como medida general la superficie delineada por los ejes de construcción.²

Excavación. Se considera excavación cuando se retiran volúmenes de tierra u otros materiales para la adecuación de espacios donde serán alojados cimentación, hormigones, mamposterías y secciones de tuberías correspondientes a sistemas hidráulicos, sanitarios, eléctricos y de comunicaciones. La excavación se realizara en forma manual o con maquinaria de acuerdo al tipo de suelo. La excavación será ejecutada de acuerdo a las dimensiones, cotas, niveles y pendientes indicados en los planos del proyecto. Los materiales producto de la excavación serán dispuestos temporalmente a los costados de la excavación a una longitud de 1 m, de forma que no interfiera en los trabajos que se realizan y no generen un riesgo de que caigan de nuevo en la excavación. Cuando en la excavación se presenta un nivel freático muy elevado, se deberá prever el equipo de bombeo. Cuando la altura de excavación es mayor a 1,2 m, deberán utilizarse entibados para evitar posibles

¹ MONTOYA TRUJILLO Juan David. Control de calidad s.l.)[on line]. 18 de Noviembre de 2014 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <https://prezi.com/rzqv3gtvm8xl/control-de-calidad-aseguramiento-de-calidad-control-estadi/>

² CORDOBA (s.l.)[on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://momil-cordoba.gov.co/apc-aa-files/35373838653163623231303765343535/anexo-tecnico-pavimento.pdf>

deslizamientos de las paredes de la excavación. Existen excavaciones en roca, en terreno semi-duro, y excavaciones comunes las cuales se realizan en terrenos blandos, cuando la profundidad de excavación no supere los 2.0 m. La excavación y desalojo del material será realizada manualmente sin el uso de maquinaria.³

Cantera. Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtiene rocas industriales, ornamentales o áridas. Las canteras suelen ser explotaciones de pequeño tamaño, aunque el conjunto de ellas representa, probablemente, el mayor volumen de la minería mundial.⁴

Sondeos. El sondeo geotécnico es un tipo de prospección manual o mecánica, perteneciente a las técnicas de reconocimiento geotécnico del terreno, llevadas a cabo para conocer sus características. Se trata de perforaciones de pequeño diámetro, (entre 65 y 140 mm) que, aunque no permiten la visión "in situ" del terreno, de ellos se pueden obtener testigos del terreno perforado, así como muestras, y realizar determinados ensayos en su interior.

Tratamiento de suelo: Es un término general que se aplica cuando se quiere modificar un suelo para un propósito en específico.⁵

Cal viva. La cal es un término que designa todas las formas físicas en las que pueden aparecer el óxido de calcio (CaO) y el óxido de calcio y magnesio (CaMgO₂), denominados también, cal viva (o generalmente cal) y dolomía calcinada respectivamente. Estos productos se obtienen como resultado de la calcinación de las rocas (calizas o dolomías). Adicionalmente, existe la posibilidad de añadir agua a la cal viva y a la dolomía calcinada obteniendo productos hidratados denominados comúnmente cal apagada o hidróxido de calcio (Ca (OH)₂) y dolomía hidratada (CaMg (OH)₄).

PH. Logaritmo negativo de base 10 de la concentración efectiva del ion hidrogeno o de la actividad del ion hidrogeno, en equivalentes gramos por litros. La escala del PH oscila entre 0 y 14 en solución acuosa siendo acidas las soluciones con PH inferiores a 7 y alcalinas las que tiene PH mayor que 7. El PH igual 7, indica la neutralidad. (INV E- 601-13)

Terraplén. En ingeniería civil se denomina terraplén a la tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.

³ SANTANA Alexander. Excavación (s.l.) [on line]. Actualizado el 05 de febrero 2014 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/190/1/25104.pdf>

⁴ ECOTEC. Cantera (s.l.) [on line]. (s.f.) [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: www.ecotec.edu.ec/...de_clases/27118_pasantia25.doc

⁵ VALDEZ MARTÍNEZ Ariel. Santo Domingo [on line]. (s.f.) [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: http://www.academia.edu/7735474/UNIVERSIDAD_AUT%3%93NOMA_DE_SANTO_DOMINGO_UAS_D_FACULTAD_DE_INGENIER%3%8DA_Y_ARQUITECTURA_DEPARTAMENTO_DE_INGENIER%3%8DA_CIVIL_MONOGRAFICO_DE_INGENIERIA_CIVIL_CIMENTACIONES_EN_ROCA_CALI_ZA_EN_LA_CIUADAD_DE_SANTO_DOMINGO_SECCI%3%93N_01

Las partes del terraplén la conforman el cimientó (parte inferior del terraplén en contacto con la superficie de apoyo), el núcleo (Relleno comprendido entre el cimientó y la corona).⁶

Granulometría. Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.⁷

Densidad máxima de laboratorio. Peso unitario máximo que se logra compactando en laboratorio una muestra de suelo, o agregados, de acuerdo con un método de ensayo establecido (proctor, Estándar o modificado) y que sirve como referencia para el control de la compactación en campo del mismo material.

Relleno Compactado. Es el conjunto de actividades realizadas para la colocación de rellenos con materiales de suelo existente producto de la excavación o de canteras hasta llegar a niveles y cotas requeridas del terreno, para compactar las capas del material que se coloquen, se hará uso de una compactadora mecánica o en su defecto se usará un pisón manual fabricado en obra.

Densímetro Nuclear. Equipo empleado para obtener densidades y porcentajes de compactación de los suelos o capas de pavimento. Este equipo puede realizar mediciones de densidad en materiales de construcción por medio de dos modos de operación. El modo de Retro-transmisión o el modo de transmisión directa, depende del tipo de material y el espesor de la capa correspondiente.

Deflexiones. De la medida de la deflexión y el radio de curvatura del cuenco de deflexión se pueden deducir el estado estructural de las diferentes capas de pavimento. Con esa medida se calcula un espesor de refuerzo de carpeta para obtener la deflexión deseada y aumentar la vida útil de esa carpeta. Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test. Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.⁸

Concreto. Elemento deformable, formado por cemento, grava, arena y agua, en estado plástico toma la forma del recipiente, ocurre una reacción química entre el cemento y el

⁶ PERDOMO Inés. Terraplén (s.l.) [on line]. Actualizado el 21 de abril de 2010 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://construcciondeterraplen.blogspot.com.co/>

⁷ BRAVO GUZMÁN Rosario. México [on line]. Actualizado el 30 de Mayo de 2012 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://cozumel.fi-a.unam.mx/~pinilla/Proyectos/2012-2/PE/05.pdf>

⁸ EURORVA. Deflexiones (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://www.eurorva.mx/deflexiones.html> 2011

agua, esto hace que la mezcla fragüe y se convierte en un elemento rígido, se usa como material de construcción y soporta grandes cargas de compresión. Comúnmente se usa concreto con acero de refuerzo en el interior del elemento para darle resistencia a la tensión y esto recibe el nombre de concreto reforzado.

Asfalto. El asfalto, también denominado betún, es un material viscoso, pegajoso y de color negro. Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos y como revestimiento impermeabilizante de muros y tejados. En las mezclas asfálticas es usado como aglomerante para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de betún bitumen. El asfalto es una sustancia que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo. Se encuentra a veces en grandes depósitos naturales, como en el lago Asphaltites o mar Muerto, lo que se llamó betun de Judea. Su nombre recuerda el lago Asphaltites (el mar Muerto), en la cuenca del Río Jordán.⁹

2.2 ENFOQUE LEGAL

Norma Técnica Colombiana ISO 9001 es una norma internacional que se aplica a los sistemas de gestión de calidad (SGC) y que se centra en todos los elementos de administración de calidad con los que una empresa debe contar para tener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2013

⁹ MATERIALESCONTINENTAL. Asfalto (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://materialescontinental.com/asfaltos.html>

3. INFORME CUMPLIMIENTO DE TRABAJO

3.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Analizar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre suelos naturales. En el presente trabajo se realizarán los ensayos al material natural de la cantera Paraíso, ubicada en el PR 30+000, tramo 5-Ruta Nacional 45-14, de la Ruta del Sol sector 2.

Cantera paraíso

Fotografía 1. Localización del área a explotar.



Fuente. Pasante del proyecto

Antes de iniciar cualquier proyecto de construcción, se deben desarrollar los planos y especificaciones. Para pavimentos de carreteras, el diseño debe ajustarse al tráfico esperado, tomando también en cuenta el medio ambiente, el sitio y las condiciones de los materiales. Todos los diseños estructurales deben basarse en pruebas de laboratorio y parámetros que se ajusten a las demandas del proyecto en particular y además, proveer la alternativa más económica para el uso planeado.

La cantera paraíso está proyectada para la construcción de la variante San Martín Cesar, debido que dicha fuente se encuentra cerca de la zona, la longitud en doble calzada de la variante San Martín es de 3 kilómetros, donde existen zonas de cortes que se estudiarán previamente y saber si el material es apto para utilizar en las zonas de relleno o debe ser transportado a botaderos autorizados por el medio ambiente o como relleno del separador central donde existan rellenos altos de terraplén.

Los ensayos se evaluarán teniendo presente la normativa para la aceptación o rechazo de dicha muestra. El propósito es determinar si el material cumple las especificaciones Art 220, suelos adecuados para terraplén y coronas, de no ser así se busca utilizar dicho material estabilizándolo con cal viva.

El muestreo de los materiales de construcción contempla los siguientes fines: Investigación preliminar de las fuentes de suministro de materiales, Aceptación o rechazo de las fuentes

y control de producción en ellas, Inspección de los materiales en la obra y control de operación de los materiales durante el trabajo

Para realizar el muestreo de los materiales naturales en la cantera de una forma rápida fue necesario contar con maquinaria pesada (Retroexcavadora Pajarita) ver Fig. Y el acompañamiento del ingeniero líder de control de calidad.

Fotografía 2. Retroexcavadora Pajarita



Fuente. Pasante del proyecto

Los apiques se llevaron a cabo en cantera para estudio con profundidades promedios de 2.50 metros, y así obtener muestras que indiquen perfiles, la verdadera naturaleza y las verdaderas características de los materiales que representan. En caso de que se presente materiales rocosos estos deberán si es posible llevarlos en su forma natural para el proceso de abrasión, o someterlos a procesos posteriores de trituración o reducción de tamaño si así lo requiera.

Para conocer los resultados de los materiales y verificar la calidad de la obra es necesaria la utilización de laboratorio de materiales donde se ejecuten las pruebas adecuadas al caso. Para ello la empresa cuenta con laboratorio de suelos ubicado en el campamento Aguachica, y en las plantas industriales (Planta Besote-Planta Torcoroma), laboratorio de concreto, asfalto. Todos los laboratorios con sus equipos correspondientes y modernos para llevar el control de la obra.

La estratigrafía de los materiales encontrados en el área de explotación puede ser diversos. Para ello se toma la siguiente información que reposa en el Formato de Identificación

-
- Punto de referencia de la zona a explotar.
- Distancia que hay desde un punto de referencia hasta la zona.
- Coordenadas de cada uno de los Apiques.
- Profundidad.
- Actividad a realizar a los materiales (Estudio o Control).
- Descripción visual del material.
- Ensayos a realizar.
- Observaciones.

Cuadro 4. Formato de Identificación de las Muestras

 CONSORCIO CONSTRUCTOR RUTA DEL SOL		ETIQUETAS PARA MUESTRAS					
		FECHA	15-may				
PROYECTO	RUTA DEL SOL	TRAMO	5	HITO	39	NUEVO	<input checked="" type="checkbox"/> EXISTENTE
PR INICIAL	30+000	PR FINAL	30+000				
ACTIVIDAD	ESTUDIO						
DESCRIPCION	ARENA ARCILLOSA COLOR AMARILLA						
ENSAYOS	CLASIFICACION, PROCTOR, CBR, INDICE DE COLAPSO						
OBSERVACIONES	Cantera Paraíso Mezcla Ap. 1 M1,2 Prof. 2,00 m (N=01377292 - E=01061790)						

Fuente. Pasante del proyecto

Anexo al formato de identificación de las muestras, se debe realizar el perfil Estratigráfico de cada uno de los apiques realizados, el cual nos muestra más a detalle la información en perfil de la zona.

Se muestrea cantidad suficiente de material escogida de una muestra de campo, en lonas de aproximadamente 30 kg, se referencia la lona y el formato de identificación de muestras que debe llevar toda la información requerida, adicional debe llevar dentro de la lona una muestra de humedad inalterada natural que debe ir bien protegida en bolsa plástica, para el posterior cálculo de porcentaje de humedad natural.

Los apiques realizados en cantera sobre el material natural son de estudios, puesto que no conocemos la caracterización del material, posteriormente en la construcción del relleno del núcleo de terraplén y estructura de pavimento se realizaran ensayos de control diarios, semanales y mensuales Art 220, tabla 220-2.

Cuadro 5. Tabla 220 - 2. Verificaciones periódicas de calidad de los materiales

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Granulometría	E-123	Una (1) vez por jornada
Contenido de materia orgánica	E-121	Una (1) vez a la semana
Límite líquido	E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de plasticidad	E-126	Una (1) vez por jornada
CBR de laboratorio, con expansión	E-148	Una (1) vez por mes
Índice de colapso	E-157	Una (1) vez por mes
Densidad seca máxima	E-142	Una (1) vez por semana
Contenido de sales solubles	E-158	Una (1) vez a la semana

Fuente. INV-E-13

Clasificación del suelo. Para clasificar los suelos debemos tener en cuenta los sistemas de clasificación de suelos, entre los más utilizados se encuentran:

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

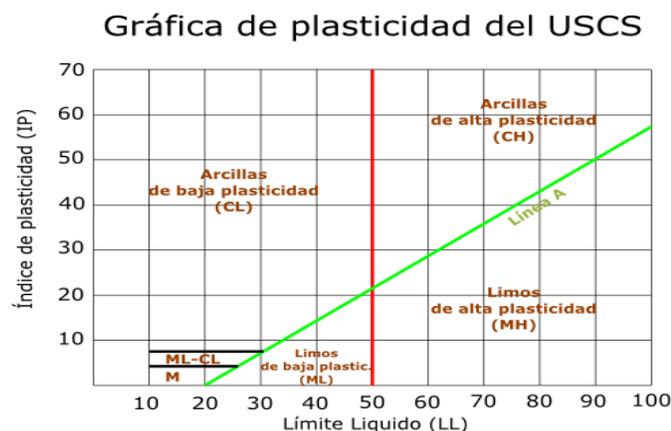
SUCS. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de Pt). Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros.¹⁰

Cuadro 6. Símbolos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Primera y/o segunda letra		Segunda letra	
Símbolo	Definición	Letra	Definición
G	Grava	P	pobremente gradado (tamaño de partícula uniforme)
S	Arena	W	bien gradado (tamaños de partícula diversos)
M	Limo	H	alta plasticidad
C	Arcilla	L	baja plasticidad
O	Orgánico		

Fuente. https://es.wikipedia.org/.../Sistema_Unificado_de_Clasificación_de_Suel..

Grafico 1. Grafica de plasticidad del USCS



Fuente. https://es.wikipedia.org/.../Sistema_Unificado_de_Clasificación_de_Suel..

¹⁰ UNILIBRESOC. SUCS (s.l.)[on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: www.unilibresoc.edu.co/mecsuolos/htm/cap5/52.htm

AASHTO. La American Association of State Highway Officials adoptó este sistema de clasificación de suelos (AASHTO M 145), tras varias revisiones del sistema adoptado por el Bureau of Public Roads de Estados Unidos, en el que los suelos se agrupan en función de su comportamiento como capa de soporte o asiento del firme.

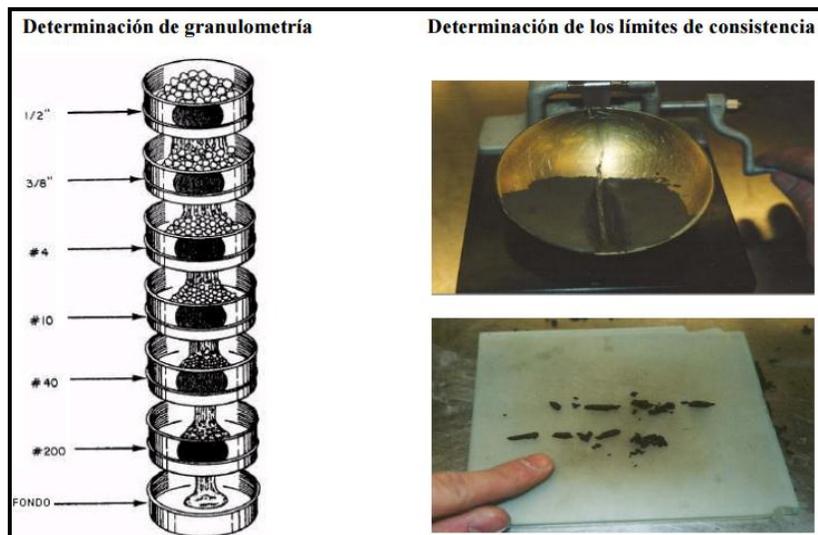
Es el sistema más utilizado en la clasificación de suelos en carreteras.

En esta clasificación los suelos se clasifican en siete grupos (A-1, A-2, ..., A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices nº 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz nº 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz nº 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz nº 200)

La categoría de los suelos granulares; gravas, arenas y zahorras; está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento en explanadas es, en general, de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

La clasificación se basa en buscar la primera columna de izquierda a derecha que haga que todos los requisitos en el suelo encajen dentro de los rangos definidos, de acuerdo a la granulometría por tamizado y los límites de consistencia.

Fotografía 3. Clasificación de los suelos.



Fuente. https://es.wikipedia.org/.../Sistema_Unificado_de_Clasificación_de_Suel.

Cuadro 7. Clasificación se suelos según AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Fuente: https://es.wikipedia.org/.../Sistema_Unificado_de_Clasificación_de_Suel.

A continuación se relacionaran ensayos de laboratorio y requisitos de los materiales para terraplén en caracterización e identificación de cada una de las muestras de campo de la cantera Paraíso.

Clasificación (humedad, granulometría, límites de Atterberg)

Proctor

CBR

Materia orgánica

Índice de colapso

Contenido de sales solubles

Cuadro 8. Requisitos de los materiales para terraplén

CARACTERISTICA	NORMA ENSAYO INV	SUELOS SELECCIONADOS	SUELOS ADECUADOS	SUELOS TOLERABLES
Partes del terraplén a las que se aplica		Todas	Todas	Cimiento y Núcleo
Tamaño Máximo (mm)	E - 123	75	100	150
porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No 10) en masa, máximo	E - 123	80	80	–
porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No 200) en masa, máximo	E - 123	25	35	35
Contenido de Materia orgánica, máximo %	E - 121	0	1.0	1.0
Limite Liquido (%)	E - 125	30	40	40
Índice de Plasticidad (%)	E - 126	10	15	–
CBR de laboratorio mínimo (%)	E - 148	10	5	3
Expansión en prueba CBR, máximo (%)	E - 148	0.0	2.0	2.0
Índice de colapso máximo (%)	E - 157	2.0	2.0	2.0
contenido de sales solubles máximo (%)	E - 158	0.2	0.2	–

Fuente. INV-E-13

Del muestreo realizado en la cantera paraíso, y con el fin de cumplir el primer punto de mi objetivo específico como pasante, se tomaron 5 muestras de diferentes apiques para realizar el estudio correspondiente. A cada uno de los apiques se le asignó un número de registro, con el fin de referenciar las diferentes muestras.

Se realizara una breve explicación de cada uno de los ensayos a realizar con su respectiva norma y posteriormente se mostrara los resultados del material estudiado.

Ensayo de granulometría

Norma INV E-123-13. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (Granulometría), la cual refiere a la determinación cuantitativa de la distribución del tamaño de las partículas de un suelo.

Procedimiento. Se escoge una muestra representativa por medio del cuarteo, el tamaño de la muestra cuarteada debe ser suficiente para proveer la cantidad necesaria para realizar el análisis granulométrico de la muestra. Se realiza el proceso de lavado de la muestra el cual consta de saturarlo completamente hasta que se ablanden los grumos.

Fotografía 4. Lavado de Muestra de Suelo



Fuente. Pasante del proyecto

Luego que el material este empapado se pasa por el tamiz No 10, pasándolo a una bandeja limpia, se lava con agua limpia y revolviéndolo con los dedos mientras se agita hacia arriba y hacia abajo, se desintegra o se tritura cualquier terrón que no se haya desleído.

Realizado el proceso de lavado y secado al horno a una temperatura que no supere 60° C, se pasa por una serie de tamices tal que, al dibujar la curva granulométrica, se obtenga una separación uniforme entre los puntos del gráfico.

Cuadro 9. Serie de tamices.

PULGADA	mm
3"	76,1
2 ½"	64,00
2"	50,80
1 ½"	38,10
1"	25,40
¾"	19,00
½"	12,70
3/8"	9,51
No. 4	4,76
No.10	2,00
No. 40	0,42
No. 200	0,074
P/200	P/0,074

Fuente. Pasante del proyecto

Ensayo de límites de Atterberg

INV E-125-13 (limite líquido)

INV E-126-13 (limite plástico)

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 Mauritz Atterberg.

Los ensayos se realizan en el laboratorio en base a la norma INV E-123-13, el cual miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen tres límites:

Límite líquido. Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

Límite plástico. Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

Límite de retracción o contracción. Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad.

Límite líquido

Procedimiento. Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande o Copa de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha recortado, se cierre en una longitud de 12.7 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre el surco es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido. INV-E-125-13

Límite Plástico

Procedimiento. Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. INV-E-126-13

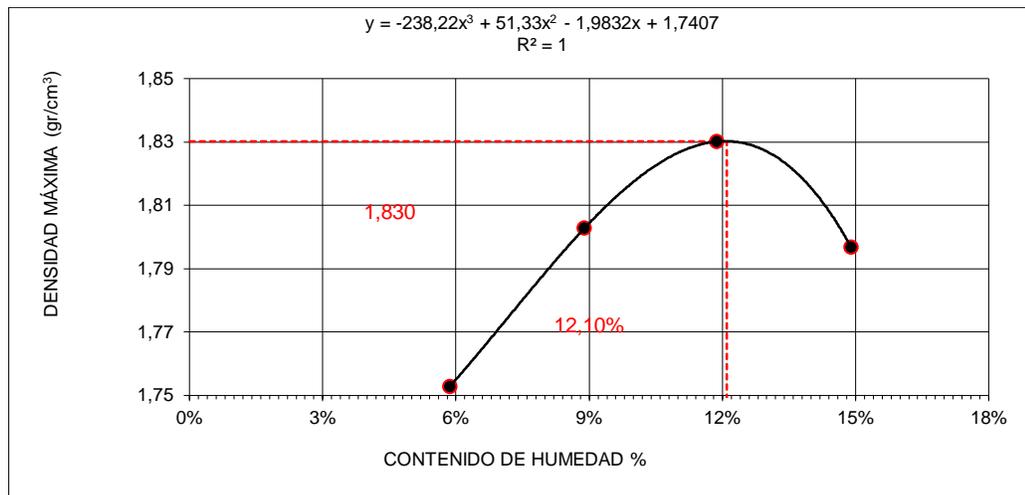
Ensayo Proctor modificado.

INV E-142-13. En mecánica de suelos el ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, el ensayo se emplea para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) condición que optimiza el inicio de la obra con relación al costo y el desarrollo estructural e hidráulico.

Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Normal", y el "Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos estriba en la distinta energía utilizada, debido a una mayor masa del pisón y mayor altura de caída en el Proctor modificado.

Procedimiento. El ensayo consiste en compactar una muestra de suelo con una humedad de molde seleccionada, se coloca cinco capas dentro de un molde con volumen conocido, sometiendo cada capa a 56 golpes de un martillo de 44.48 N, que cae desde una altura de 457.3 mm (8"), produciendo una energía de compactación aproximada de 2700 KN-m/m³. Se determina el peso unitario seco resultante (densidad máxima seca), el procedimiento se repite con un número suficiente de humedades de molde, para establecer una curva que relacione a estas con los respectivos pesos unitarios secos obtenidos. Esta curva se llama curva de compactación (ver fig.) y su vértice determina la humedad óptima y la densidad máxima seca, para el ensayo normal de compactación. INV E-142-13

Grafica 2. Grafica de Proctor Modificado



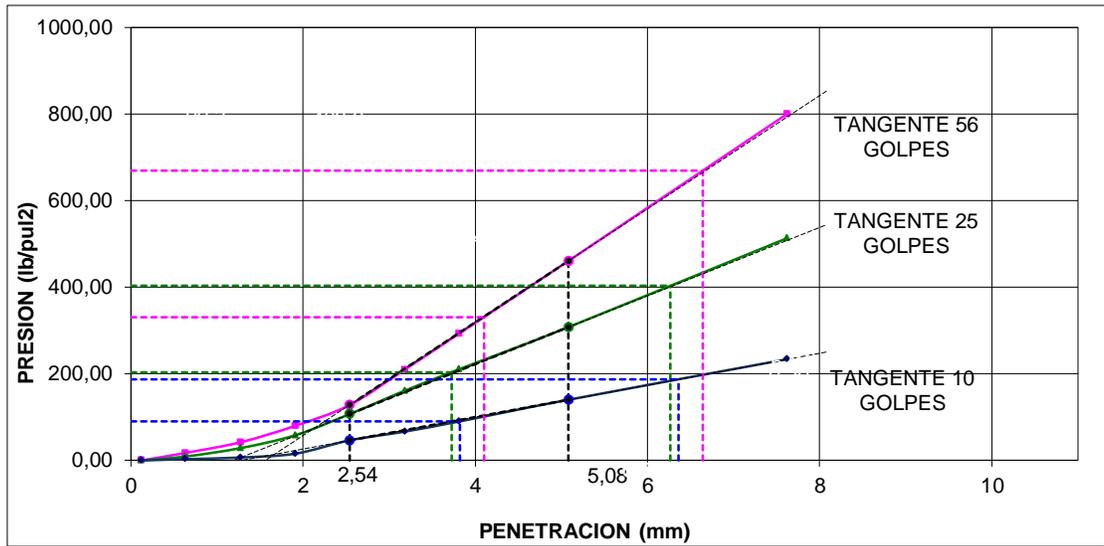
Fuente. INV E-142-13

Ensayo de CBR

INV E-148-13. El ensayo de C.B.R. (California Bearing Ratio) mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub – bases y bases granulares, que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19 mm (3/4).

Para realizar el ensayo de CBR, previamente se debe tener la densidad máxima seca y la humedad óptima de acuerdo a la INV E-142-13

Grafica 3. Grafica de CBR



Fuente. INV E-148-13.

A continuación se relaciona cada uno de los resultados de clasificación de los materiales de la cantera Paraíso con sus respectivos registros.

Diseñar el porcentaje óptimo de cal viva en laboratorio de acuerdo con la caracterización del suelo natural. Los suelos inestables pueden crear problemas significativos en las estructuras y pavimentos. Con el diseño y técnicas de construcción apropiados, el tratamiento con cal transforma químicamente los suelos inestables en materiales utilizables.

La cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos, en varios grados o cantidades, dependiendo del objetivo. Una mínima cantidad de cal para tratamiento se utiliza para secar y modificar temporalmente los suelos. Tal tratamiento produce una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales. Un mayor grado de tratamiento – respaldado por las pruebas, diseño y las técnicas apropiadas de construcción – producen la estabilización estructural permanente del suelo.

Algunas veces el término “cal” se utiliza para referirse a la cal agrícola que, por lo general, es piedra caliza finamente molida, un útil correctivo agrícola que no tiene la suficiente reactividad química para lograr la estabilización del suelo.

Se debe tomar en cuenta que el uso de cal para el secado de suelos, la modificación temporal y la estabilización permanente no está limitado a la construcción de carreteras. Para el tratamiento de suelos se puede utilizar:

Cal viva (óxido de calcio. CaO).

Cal hidratada (hidróxido de calcio – Ca[OH]₂).

Lechada de cal. En el presente trabajo como pasante estudiaremos la cal viva, la cual se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO₃) en óxido de calcio.

La cal es el único producto capaz de proveer una variedad de beneficios, puede ser utilizada en suelos inestables para: Secar, Modificar, Estabilizar

Precauciones de seguridad al utilizar cal. Las directrices de seguridad que se mencionan a continuación son generales. Las precauciones para el producto de cal específico utilizado pueden encontrarse en la hoja de seguridad (MSDS por sus siglas en inglés), que está disponible con el productor de cal o proveedor.¹¹

Seguridad del trabajador. La cal, en particular la cal viva, es un material alcalino que es reactivo en presencia de humedad. Los trabajadores que manipulan cal deben ser entrenados y utilizar el equipo protector apropiado. Las aplicaciones en suelos pueden crear la exposición al polvo de cal a través del aire, lo que debería ser evitado.

Riesgos para los ojos. La cal puede causar la irritación severa de los ojos o quemaduras, incluyendo daño permanente. La protección ocular (gafas protectoras químicas, gafas de seguridad y/o careta) debería ser utilizada donde exista un riesgo de exposición a la cal. Los lentes de contacto no se deben utilizar mientras se trabaja con cal.

Riesgos para la piel. La cal puede causar irritación y quemaduras en la piel sin protección, especialmente en presencia de humedad. El contacto prolongado con la piel sin protección debe evitarse. Se recomienda la utilización de guantes protectores y ropa que cubra totalmente brazos y piernas. Se debe prestar cuidado especial con la cal viva porque su reacción con la humedad genera el calor suficiente para causar quemaduras.

Riesgos de inhalación. El polvo de cal es irritante si se inhala. En la mayoría de casos, las mascarillas anti polvo proporcionan la protección adecuada. En situaciones de alta exposición, es apropiado contar con una mayor la protección respiratoria, dependiendo de la concentración y el tiempo de exposición (consulte la MSDS para los límites de exposición aplicables).

Seguridad del Producto. Se debe tener cuidado para evitar la mezcla accidental de cal viva y agua (en cualquier forma, incluyendo sustancias químicas que contienen agua de hidratación) para evitar crear calor excesivo. El calor liberado por esta reacción puede encender materiales combustibles o causar daño térmico a propiedades o personas.

¹¹ LIME.OR. Precauciones de seguridad al utilizar cal. (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <https://lime.org/documents/.../free.../construct-manual-spanish2004.pdf>, pág. 5

Primeros auxilios. La hoja de seguridad del producto específico de cal deberá consultarse siempre para obtener información detallada de primeros auxilios. Las siguientes directrices son de carácter general.

Si ocurre contacto con la piel, limpie la cal de tal forma que la elimine de la piel y posteriormente lave la piel expuesta con grandes cantidades de agua. Si ocurren quemaduras en la piel, administre los primeros auxilios y busque la asistencia médica, si fuera necesario.¹²

Si la cal entra en contacto con los ojos, primero deben lavarse con grandes cantidades de agua. Busque asistencia médica inmediatamente después de la administración de los primeros auxilios.

En caso de inhalación, exponga a la persona afectada al aire fresco. Busque asistencia médica inmediatamente después de administrar los primeros auxilios.

Para mayor información, consulte la hoja de seguridad y siga las instrucciones del personal médico.

La estabilización del suelo cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua.

Las propiedades mineralógicas de los suelos determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadas desarrollarán. En general, los suelos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25 por ciento que pasa el tamiz 200 -75µm- y un Índice de Plasticidad mayor que 10) se consideran buenos candidatos para la estabilización. Los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico (mayor que 1 por ciento) o sulfatos (mayor que el 0.3 por ciento) pueden requerir cal adicional y/o procedimientos de construcción especiales.

Teniendo presente la caracterización y las capacidades portantes del suelo natural, procedemos diseñar la cantidad de cal que nos pueda cambiar las propiedades físicas y químicas del suelo que nos brinde una estabilización permanente. Para el cálculo del porcentaje óptimo de cal viva del material se realizó en laboratorio el PH del material natural y de la mezcla suelo-cal a diferentes dosificaciones de la cantera paraíso.

El PH del material natural y suelo-cal. Cuando las cantidades de cal y agua son agregadas adecuadamente, el pH del suelo rápidamente incrementa arriba del 10.5, siendo favorable para la formación de hidratos cálcicos de sílice y alúmina. Estos compuestos forman una matriz que contribuye a la resistencia del suelo. A como se forma esta matriz ó estructura, el suelo es transformado de su alta expansividad, de un estado natural indeseable, a un material relativamente impermeable que puede ser compactado en una

¹² Ibid., p.30

superficie con una capacidad de soporte de carga. La controlada reacción puzolánica crea un material que es permanente, durable, resistente a los agrietamientos y significativamente impermeable. La capa estructural que se forma es fuerte y flexible.¹³

Mecanismo de reacción. Las denominadas arcillas están compuestas por una multitud de pequeñas láminas que posee una gran área superficial (150 a 400 m² / gr). Estas arcillas posee una carga superficial negativa y para alcanzar neutralidad atraen partículas de sodio (+) y de agua (bipolares). Entre mayor sea el área superficial de una arcilla, mayor será su capacidad de atraer agua y mayor también será su comportamiento expansivo. A menos que se modifique la superficie de las arcillas, éstas se expandirán y contraerán de acuerdo a los cambios climáticos causando daños.

Cuando se agrega óxido de calcio a un suelo arcilloso, el calcio (++) reemplaza al sodio y las partículas de arcilla se transforman en hidratos cálcicos de sílice y alúmina. Este intercambio iónico expulsa también las partículas de cal que se hallaban acumuladas en la superficie de la arcilla. Los hidratos cálcicos de sílice y alúmina forman una estructura permanente y fuerte con características cementantes que gana resistencia a la compresión progresivamente.

Los tratamientos de estabilización pueden ser aplicados sobre una amplia variedad de suelos. La efectividad del tratamiento dependerá del nivel de arcilla presente (mínimo 7%) y de su capacidad para reaccionar. El diseño del tratamiento más adecuado se desprende de un análisis del suelo, para conocer la cantidad de óxido de calcio adicionada para lograr un PH de 12.454.¹⁴

Pruebas para la estabilización de suelos (preparación de muestras en laboratorio). En el estudio realizado en la cantera paraíso II, y analizando los resultados obtenidos en el laboratorio se puede observar que la fuente tiene suelos arcillosos, con índice de plasticidad mayores de 10, lo cual nos indica que es un suelo potencial para la reacción con cal viva.

Para el diseño óptimo de cal viva o la cantidad de óxido de calcio que se le debe adicionar a un suelo es necesario conocer el PH, del suelo natural y de la mezcla de suelo-cal.

Preparación de la muestra. Para realizar la prueba de estabilización de suelo, fue necesario seleccionar una muestra representativa de la cantera paraíso II, secado al aire de acuerdo con la norma **INV E-106**, o secado en el horno a una temperatura no mayor de 60° C, y obtener una muestra de 350 gramos que pasa por la malla No 40 (0.425 milímetros).

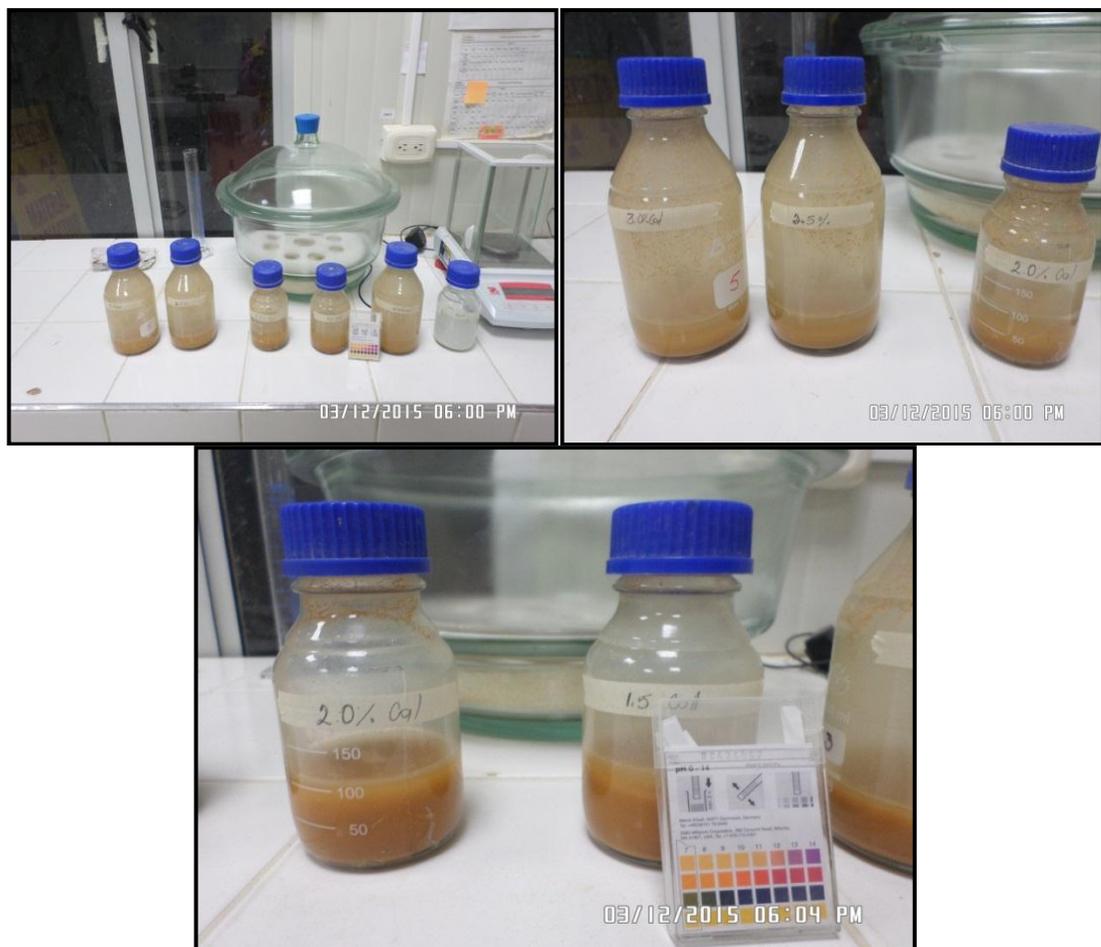
Se toman 5 muestras para ensayo, cada una de ellas equivale a 25 gramos de suelo secado al horno. Se coloca cada muestra de ensayo en una botella plástica la cual se cierra

¹³ ANFACAL. Mecanismo de reacción (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: anfocal.org/...Suelos/Estabilizacion_de_suelos_con_cal-REBASA-Present. pág. 20-21 y 23

¹⁴ *Ibíd.*, p. 23

firmemente. Se toman 6 muestras representativas de cal viva que cumpla los requisitos químicos y físicos. Cinco de ellas con las proporciones del 1, 2, 3, 4,5% respecto de la masa de suelo seco. La sexta muestra de cal se usara para preparar una solución saturada de cal, dicha muestra de 2.0 gramos, se guarda dentro de una botella plástica la cual se cierra firmemente, se agregan cada muestra de cal al a cada muestra de suelo y se marca cada muestra con su respectivo proporción de cal viva. Se mezcla completamente su contenido mediante agitado. Se abre el recipiente y se añade 100 ml. de agua destilada por muestra. Luego se mezcla las muestras de suelo-óxido de calcio+agua durante 30 seg, cada 10 minutos durante una hora. Posteriormente con un potenciómetro se obtienen los valores de PH de la mezcla suelo+óxido de calcio+agua.

Fotografía 5. Muestras de Suelo-óxido de Calcio+Agua



Fuente. Pasante del proyecto

Cuando el valor de PH de la mezcla suelo+óxido de calcio+agua se aproxime a 12.4, esta nos indica la cantidad de cal viva necesaria para estabilizar el suelo a tratar.

(INV E-601-13)

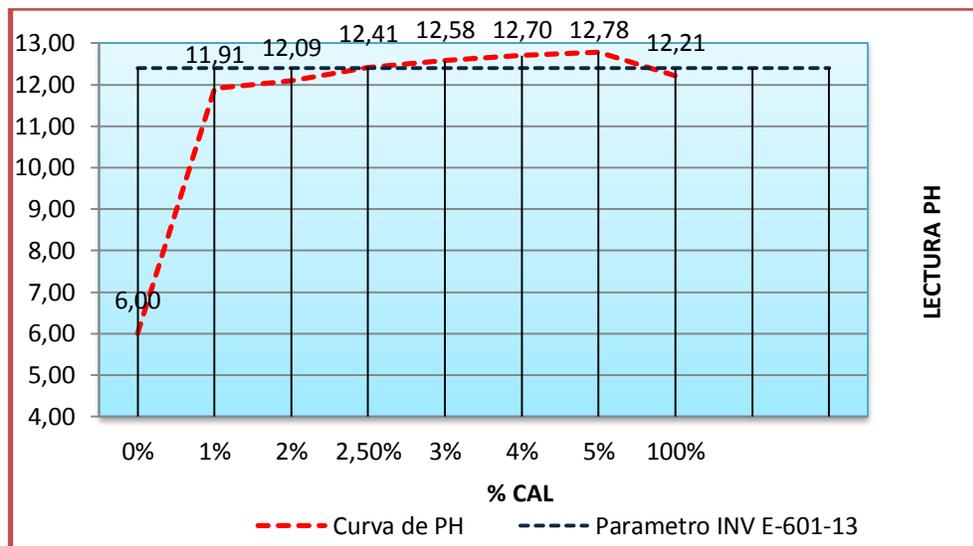
A continuación se muestra en la tabla los diferentes porcentajes de cal que se adicionaron a una muestra y su respectiva gráfica.

Cuadro 10. Tabla de PH y porcentajes de Cal.

Temperatura toma del pH: 25°C (Muestra) pH agua utilizada: 7					
Peso de la Muestra (gramos)	% Cal	Dosificación de Cal (gramos)	Agua destilada (Mililitros)	Lectura pH	Obs.
25	0%	0	100	6,00	Natural
25	1%	0,25	100	11,91	Mezcla suelo + Cal + Agua
25	2%	0,5	100	12,09	
25	2,5%	0,625	100	12,41	
25	3,0%	0,75	100	12,58	
25	4,0%	1	100	12,70	
25	5,0%	1,25	100	12,78	
2	100%	2	100	12,21	Mezcla: Cal + Agua

Fuente. Pasante del proyecto

Gráfica 4. Curva de PH.



Fuente. Pasante del proyecto

Como muestra la figura el porcentaje óptimo para el material estudiado sería de 2.5% de cal viva, sin embargo si el porcentaje de humedad en la cantera está muy por encima del óptimo calculado previamente, se le adicionaría 1 o 2% más de cal si así lo requiera, solo para controlar humedades y ser más rápida la ejecución de las diferentes capas, puesto que con el 2.5% de cal es necesaria para estabilizar dicho material.

Con la adición de cal viva al suelo podemos ver en campo la eficacia para secar suelos con alto porcentaje de humedad, el calor generado por esta reacción contribuye a secar los suelos mojados, de allí la razón de adicionar un poco más de cal al material para bajarle la humedad. La adición de cal viva al material nos ayuda además de secar las áreas húmedas, mejora la capacidad de soporte, proporciona una plataforma de trabajo para la construcción subsiguiente, acondicionar el suelo (hacerlo trabajable), mejorar considerablemente la trabajabilidad y la resistencia a corto plazo del suelo, de tal forma que permite que los proyectos puedan ser ejecutados más fácilmente.

La reacción química de la cal con las arcillas seca aún más los suelos, el efecto es que el secado ocurre rápidamente, dentro de un lapso de horas, lo cual permite optimizar el tiempo de compactación del suelo que si se esperara la evaporación natural o el mezclado con tractor de disco.

Como la cal viva puede ser utilizada para tratar suelos de distintos tipos, el primer paso en la evaluación de las opciones de tratamiento del suelo es identificar claramente el objetivo. Los pasos en la construcción implicados en la estabilización de un suelo son. Los pasos básicos incluyen:

Si se va a realizar en situ. Escarificar o pulverizar parcialmente el suelo, llevar el suelo a una humedad 2% al 3% por encima del optimo, esparcir la cal viva, mezclar suelo cal hasta obtener una buena homogenización, luego de la mezcla verificar humedades con los equipos correspondientes (humedometro, densímetro ect), si lo requiere se le adicionara agua en cisterna teniendo presente la humedad optima, compactar hasta la densidad máxima práctica, curado antes de la colocación de la siguiente capa o capa de protección. Cuando se realiza la mezcla en cantera se cubica la zona a mezclar, se realiza el respectivo calculo óptimo de cal viva, obteniendo previamente la humedad del suelo y la densidad máxima natural del suelo, esparcir la cal, mezclar cal-material natural, hasta lograr una homogenización con la ayuda de las maquinaria. Ver fig.,

Fotografía 6. Homogenización de la mezcla cal-material natural



Fuente. Pasante del proyecto

Para luego proceder al cargue del material para su posterior colocación en la vía. El agua preferiblemente se le adiciona en la colocación si fuera necesario puesto que si el material esta pasado del porcentaje óptimo de humedad, la reacción de la cal viva la llevara cerca de la humedad deseada de compactación, de no en la vía se le adicionara agua dependiendo de la cantidad que necesite.

Dosificar en campo el porcentaje de cal óptimo diseñado en Laboratorio. El porcentaje óptimo de cal es aquel que permite aprovechar al máximo los efectos de la cal sobre el suelo a tratar, con un sobre costo mínimo con respecto a las dotaciones mínimas. De esta forma, se logrará un material con unas propiedades geotécnicas y resistentes adecuadas, que no sólo cumpla con las especificaciones necesarias sino que, además, tenga unas prestaciones y durabilidad aún mayores. Este porcentaje será aquel que logre sobre el suelo original, de forma conjunta reducir, e incluso anular, su índice de plasticidad, disminuir su hinchamiento potencial, incrementar de forma apreciable el índice CBR del suelo, o cualquier otro que evalúe su capacidad de soporte.

Para la dosificación, bien sea para la obtención del porcentaje mínimo de cal o del porcentaje óptimo de esta, fue necesario ensayar en el laboratorio el PH tanto del suelo natural como el de la mezcla suelo-cal con distintos contenidos de cal, del cual se obtuvo un porcentaje óptimo de cal viva del 2.5%

Para la respectiva dosificación en campo debemos realizar ensayos adicionales como obtener la densidad Bulk (peso unitario) o porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto o compacto **INV E-217**. Para este caso se realizara el ensayo por el método de paladas para determinar la densidad Bulk suelta, mediante dicho proceso obtenemos la densidad suelta del material en unidades **SI** (kg/m³), puesto que el material será transportado en volquetas para un acopio debidamente autorizado por el constructor donde posteriormente se le adiciona la cal viva en su porcentaje óptimo para su proceso de mezclado.

Calculo de la densidad Bulk (INV E-217-13). Con los equipos necesarios para realizar el ensayo de la densidad suelta, como la balanza, el recipiente debidamente calibrado en peso y volumen, se procede a ejecutar el ensayo el cual se llena el recipiente de medida con una pala o cucharón de modo que se descargue a una altura no mayor de 2 pulgadas, una vez lleno se enrasa la superficie con una regla, se determina el peso del recipiente lleno, así como la del recipiente vacío y se anotan los valores correspondientes. Se realizan 3 pesos de la muestra y se promedian.

La densidad de banco, la obtenemos mediante la realización del ensayo de densidad de campo, ya sea por el método del cono y arena o bien con el densímetro nuclear, este resultado nos permitirá la dosificación en campo en el caso que se realice la mezcla sobre suelo compactado naturalmente en el cual el proceso será de esparcir la cal viva sobre el suelo natural previamente cubicado y proceder a mezclar suelo-cal, con la ayuda de la maquinaria. Este proceso debe ser revisado y autorizado por el personal de control calidad.

El suministro y almacenamiento de la cal debe hacerse teniendo en cuenta los criterios de accesibilidad, distancias, espacio necesario, seguridad y ritmo de producción de la obra. El almacenamiento de la cal en obra debe hacerse en contenedores estancos y dotados de sistemas de filtros que eviten el contacto con la humedad y con el aire para evitar la re-carbonatación con el CO₂. Debido a esto y para garantizar que la cal que se está utilizando en la obra conserve las propiedades de reacción, se realizaran ensayos de reactividad a la cal tanto en el momento de llegada a la obra, para verificación del proveedor, como ensayos periódicos de control del lote.

Determinación de reactividad o velocidad de apagado de la cal viva. La elevación de la temperatura en 30 segundos es una medida de la reactividad de la porción más blanda de la cal apagada. El tiempo total de apagado o hidratación, da una medida del grado de reactividad total del material. La elevación total de la temperatura es muy dependiente del contenido de cal disponible en la muestra. Estos parámetros de apagado o hidratación proveen información del desempeño que tendrá la cal viva en los sistemas de apagado industrial. Las características del apagado tienen un efecto sobre las propiedades de la lechada de cal tales como características de fraguado, viscosidad, tamaño de partícula y velocidad de reacción.¹⁵

Luego, de tener los datos necesarios para dosificar en campo el porcentaje óptimo de cal viva, procederemos a realizar la dosificación.

En la siguiente tabla mostrara el cálculo de la cantidad de bultos de cal viva (1650 Kg), necesarios para estabilizar el suelo teniendo en cuenta que la dosificación se hace en suelo compactado naturalmente o en banco.

¹⁵ RESOURCE. Determinación de reactividad o velocidad de apagado de la cal viva (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2589.2011.pdf>

Cuadro 11. Tabla dosificación de cal viva en banco.

TABLA DOSIFICACION DE CAL EN BANCO												
BASE DE DATOS DE CALCULO DE M3 DE MATERIAL NATURAL			REGISTRO	FECHA	LOCALIZACION		DENSIDAD DEL SUELO EN Kg/m3	MATERIAL NATURAL m3 LargoXAnchoX Prof	MATERIAL NATURAL EN KILOGRAMOS	% OPTIMO DE CAL VIVA EN DECIMALES	BULTO DE CAL VIVA EN KILOGRAMOS	CANTIDAD DE BULTO DE CAL ADICIONAR
					INICIAL	FINAL	BANCO					
LARGO	ANCHO	PROFUNDO					B	C	D	E	F	H
10	10	2	1	05/09/2015	30+000	30+000	1540	200	308000	0,025	1650	5
10	8	2,5	2	09/09/2015	30+000	30+000	1490	200	298000	0,025	1650	5
8	12	2	3	15/09/2015	30+000	30+000	1500	192	288000	0,025	1650	4
12	8	1,5	4	25/09/2015	30+000	30+000	1435	144	206640	0,025	1650	3
10	10	2,5	5	01/10/2015	30+000	30+000	1502	250	375500	0,025	1650	6
8	8	2	6	05/10/2015	30+000	30+000	1468	128	187904	0,025	1650	3
15	10	2	7	20/10/2015	30+000	30+000	1500	300	450000	0,025	1650	7
10	10	1,5	8	30/10/2015	30+000	30+000	1430	150	214500	0,025	1650	3
15	8	2	9	08/11/2015	30+000	30+000	1500	240	360000	0,025	1650	5
15	12	1,8	10	05/11/2015	30+000	30+000	1486	324	481464	0,025	1650	7

Fuente. Pasante del proyecto

Tabla de dosificación de la cantidad de cal viva en bultos (1650 Kg), necesaria para estabilizar un suelo teniendo en cuenta la densidad Bulk suelta del material.

Cuadro 12. Tabla dosificación de cal viva en material suelto.

TABLA DOSIFICACION DE CAL VIVA EN MATERIAL SUELTO											
REGISTRO	FECHA	LOCALIZACION		DENSIDAD DEL SUELO EN Kg/m ³	No de viajes	cantidad de m ³ por volqueta	MATERIAL NATURAL m ³	MATERIAL NATURAL EN KILOGRAMOS	% OPTIMO DE CAL VIVA EN DECIMALES	BULTO DE CAL VIVA EN KILOGRAMOS	CANTIDAD DE BULTO DE CAL ADICIONAR
		INICIAL	FINAL	SUELTA							
				B			C	D	E	F	H
1	08/09/2015	30+000	30+000	1400	80	14	1120	1568000	0,025	1650	24
2	15/09/2015	30+000	30+000	1380	70	14	980	1352400	0,025	1650	20
3	20/09/2015	30+000	30+000	1354	50	14	700	947800	0,025	1650	14
4	27/09/2015	30+000	30+000	1403	100	14	1400	1964200	0,025	1650	30
5	03/10/2015	30+000	30+000	1390	80	14	1120	1556800	0,025	1650	24
6	05/10/2015	30+000	30+000	1320	76	14	1064	1404480	0,025	1650	21
7	20/10/2015	30+000	30+000	1385	55	14	770	1066450	0,025	1650	16
8	30/10/2015	30+000	30+000	1402	85	14	1190	1668380	0,025	1650	25
9	10/11/2015	30+000	30+000	1397	100	14	1400	1955800	0,025	1650	30
10	15/11/2015	30+000	30+000	1400	90	14	1260	1764000	0,025	1650	27

Fuente. Pasante del proyecto

Diseño de un formato para realizar informe semanal de los resultados obtenidos con los diferentes materiales utilizados en la construcción del terraplén y compararlos con la normativa. El formato especifica todos los ensayos que se realizan a los materiales ya sean de estudio o de control, luego de obtener los resultados del suelo se procede a compararlos con la norma INV que corresponde a cada ensayo, dicha comparación se realizara a continuación en un formato diseñado en Excel por el pasante, donde se muestra a detalle cada una de las normas y si cumple o es rechazado.

Cuadro 13. Tabla Resumen.

REGISTRO		FECHA	IDENTIFICACIÓN	PR	Límites Físicos			Humedad natural	GRANULOMETRÍA												I.G	Clasificación		Compactación		EXPANSIÓN			CBR			Materia Orgánica por Iniciación
					L.L.	LP	I.P		% QUE PASAN													Aasho	U.S.C.S	Golpes		56	25	10	CBR 100%	CBR 95%	CBR 90%	
								3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No.10	No. 40	No. 200			h %	Densid.	GOLPES	GOLPES	GOLPES	100%	95%	90%			
999	10-jun-15	Ap 1 M1 Prof. 1,60 (variante san martin)	28+140	42	21	21	9,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,48	97,77	95,99	92,08	76,11	57,50	11	A-7-6	CL	11,40%	1,815	2,27	2,95	4,25	10,05%	6,57%	3,37%	0,64%		
1000	10-jun-15	Ap 1 M2 Prof. 3,00 (variante san martin)	28+140	35	21	14	2,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,08	98,37	96,13	91,64	66,88	45,69	3	A-6	SC	12,00%	1,826	1,81	1,92	2,03	38,38%	20,55%	9,36%	0,87%		
1001	10-jun-15	Ap 2 Muestra Única (variante san martin)	27+980	57	28	29	3,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,71	97,71	96,48	95,29	92,15	86,21	66,48	43,40	8	A-7-6	SC	15,50%	1,735	2,95	4,10	4,28	8,81%	5,37%	2,34%	1,97%	
1002	10-jun-15	Ap 3 M1 Prof. 1,70 m (variante san martin)	27+600	49	25	25	4,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,52	96,61	82,05	55,00	13	A-7-6	CL	12,70%	1,791	3,91	4,91	5,91	7,77%	4,50%	2,44%	2,35%		
1003	10-jun-15	Ap 3 M2 Prof. 3,00 m Variante san martin	27+600	40	22	18	2,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,88	98,90	74,11	42,18	4	A-6	SC	14,60%	1,784	0,44	1,18	1,31	56,50%	25,97%	11,15%	1,73%			
1004	10-jun-15	Ap 4 Muestra Única Prof. 3,00 m (variante san martin)	27+300	NP	NP	NP	5,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,79	98,06	83,25	62,55	6	A-4	ML	11,20%	1,795	3,62	4,06	6,52	1,39%	1,15%	0,74%	0,89%		
1005	10-jun-15	Ap 5 Muestra Única Prof. 3,00 m (Variante san martin)	-	36	20	16	4,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,91	99,81	98,19	81,75	61,60	8	A-6	CL	11,80%	1,765	3,76	4,20	6,82	1,39%	1,15%	0,74%	2,65%		
1006	10-jun-15	Ap 6 (Variante san martin)	26+900	42	28	14	2,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,16	98,87	98,28	95,46	71,05	49,83	5	A-7-6	SM	15,00%	1,749	1,51	2,64	2,79	17,60%	11,06%	7,12%	-		

Fuente. Pasante del proyecto

Cuadro 14. Formato comparativo con la Norma.

		FORMATO COMPARATIVO CON NORMATIVA DE ENSAYOS DE TERRAPLEN, CORONA Y RECICLADO			
CONSORCIO CONSTRUCTOR RUTA DEL SOL					
PROYECTO : RUTA DEL SOL		LOCALIZACION : VARIANTE SAN MARTIN CESAR			
PROCEDENCIA: CANTERA PARAISO		PR INICIAL: 28+140	PR FINAL: 28+140	LADO: DERECHO	
ACTIVIDAD: ESTUDIO		FECHA: 10-jun-15	REGISTRO : 1000		
DESCRIPCION Ap. 1 M2 Prof. 3,0 (variante san Martín)					
CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV-13	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN	CUMPLIMIENTO	
CORONA DE TERRAPLEN					
TIPO DE TERRAPLÉN	SUELO ADECUADO				
TAMAÑO MAXIMO (mm)	E-123	30	≤ 100	CUMPLE	
PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ DE 2 mm (No. 10)	E-123	92	≤ 80	NO CUMPLE	
PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ DE 75 μm (No. 200)	E-123	46	≤ 35	NO CUMPLE	
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA, %	E-121	0,870%	≤ 1	CUMPLE	
LIMITE LIQUIDO (%)	E-125	35	≤ 40	CUMPLE	
INDICE DE PLATICIDAD (%)	E-126	14	≤ 15	CUMPLE	
CBR DE LABORATORIO (%)	E-148	20,55%	≤ 5	CUMPLE	
EXPANSIÓN EN CBR (%)	E-149	1,81	≤ 2	CUMPLE	
				CUMPLE	

Fuente. Pasante del proyecto

Realizar ensayos de campo los cuales permiten liberar o no la ejecución de cada uno de las diferentes capas de relleno, (humedades, Densidades, viga Benkelman). Para que una obra sea satisfactoria, no basta que en la estructuración transversal y longitudinal de la vía terrestre se hayan usado los métodos de proyecto más complejos y con la mejor correlación laboratorio-campo para aprobar una obra, sino que además es indispensable hacer una buena construcción conforme a los procedimientos correctos y que se realice con los materiales indicados en el proyecto; así mismo, la conservación deberá ser adecuada y oportuna. Para cumplir con estos aspectos es necesario contar con una eficiente organización de control de calidad.

Al igual que cualquier otra estructura, una carretera se funda en el suelo; y durante la etapa de construcción se efectúan movimientos de tierra en toda la subrasante encontrándose en determinados sectores suelos con características diferentes a los considerados durante la etapa de estudio. El cual deberá ser evaluado y analizado para determinar el procedimiento a seguir con la finalidad de garantizar una subrasante óptima y un pavimento que cumpla con todas las exigencias de calidad.

Es aquí, donde la mecánica de suelos, tiene una participación importante dentro de la planificación y ejecución de una carretera.

El control de calidad en campo relaciona cada una de las actividades desarrolladas en la construcción de la vía, por esto el personal de calidad debe revisar cada proceso que se realice desde el descapote hasta la estructura de pavimento.

Luego de realizar apiques en la longitud y anchó de la construcción de la vía, y tener presente el suelo que vamos a encontrar a la hora de intervenir el descapote y excavación, se procede a determinar los tramos que presentan niveles freáticos altos y proyectar la utilización de materiales gruesos para la estabilización del cimiento de terraplén y permitir el paso del agua en su forma natural, si no existen niveles freáticos se realizan mejoramientos con material de río o material filtrante que permitan el paso del agua.

Controles de campo. Durante la ejecución de los trabajos, se adelantaran los siguientes controles principales.

Verificar que los materiales utilizados en las diferentes capas de terraplén y corona cumplan los requisitos de calidad exigidos en el numeral 220.2. INV-E-13

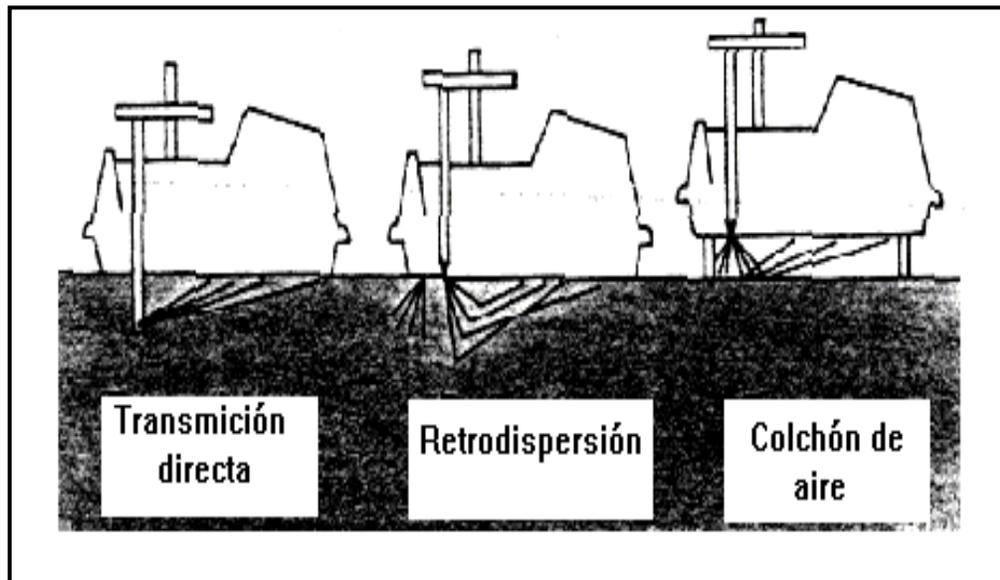
Realizar los ensayos de Densidades de campo con el densímetro nuclear a las diferentes capas de construcción de terraplén y corona.

Deflexiones en las capas ultima de Terraplén, Coronas, sub-base, Base, Asfalto.

Verificación de Materiales. Se debe realizar el respectivo control de campo a los materiales utilizados en la obra, para verificar que el material colocado en la vía para el proceso de construcción de terraplén sea el autorizado por el área de calidad.

Densidades de Campo. Los ensayos de densidad seca, bien sea con el equipo de cono y Arena o con densímetro nuclear, se realizan en las capas de relleno de terraplén, coronas, sub-base, base y asfalto, este ultimo la densidad solo se toma con densímetro nuclear por el método de Retrodispersion.

Figura 2. Densidades de campo



Fuente. Pasante del proyecto

El equipo utilizado para este ensayo, determina la Densidad mediante la trasmisión, directa o retro-dispersada, de los rayos gamma, cuantificando el número de fotones emitidos por una fuente de Cesio-137. Los detectores ubicados en la base del medidor detectan los rayos gamma y un microprocesador convierte los conteos en una medida de Densidad.

Por el contrario, para determinar la Humedad de los suelos y materiales semejantes, se utiliza el principio de termalización de neutrones. El Hidrógeno (agua) en el material frena los neutrones emitidos por una fuente construida de Americio 241: Berilio. La detección de los neutrones frenados se hace mediante detectores de Helio-3 situados en la base de la sonda.

Antes de iniciar la construcción de los terraplenes, deben estar terminadas las labores de desmonte y limpieza, según se especifica en el artículo 200, “Desmonte y Limpieza”, se debe excavar y retirar la capa vegetal y todo material inadecuado Artículo 210, cuando el terreno base este satisfactoriamente limpio y drenado, se deberá escarificar 15 cm y compactar, luego se procede a la colocación de la primera capa de terraplén con un material aceptado y autorizado por el área de control de calidad. En el proyecto se utilizan capas de 30 cm (compactadas), no se extenderá ninguna capa mientras no se haya comprobado que la subyacente cumple las condiciones de compactación exigidas. La superficie del terraplén

deberá estar compactada y bien nivelada con declive suficiente que permita el escurrimiento de aguas lluvias y sin peligro de erosión.

Para efectos de la verificación de la compactación de cada una de las capas de terraplén, se define como “lote”. Los sitios para la determinación de la densidad seca de cada capa de terraplén en el terreno se elegirán al azar según la norma de ensayo INV 730 “selección al azar del sitio para la toma de muestra” pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. Se deberán efectuar como mínimo 5 ensayos por lote.

Para materiales de terraplén y corona el valor del grado de compactación se aceptara siempre y cuando sea mayor de 95%, en sub-base 98%, y bases 100%, los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación deberán ser escarificados, homogenizados llevados a la humedad óptima y compactados nuevamente hasta obtener el valor de la densidad seca especificada.

La corona del terraplén no deberá quedar expuesta a las condiciones atmosféricas; por lo tanto se deberá construir en forma inmediata la capa superior proyectada una vez sea liberada por el personal de control de calidad, si se presenta daños en la capa será responsabilidad del área de producción y tendrán que asumir dicha reparación.

Fotografía 7. Densidad en Sub-base Granular



Fuente. Pasante del proyecto

Fotografía 8. Densidad en base granular Cullver



Fuente. Pasante del proyecto

Fotografía 9. Densidad cuerpo de Box-



Fuente. Pasante del proyecto

Fotografía 10. Densidad en base cementada



Fuente. Pasante del proyecto

Deflexiones con el equipo de Viga Benkelman

Viga Benkelman. En el proyecto se realizan el ensayo de viga Benkelman, dicho ensayo como estipula la norma INV-795-13, “Medida de deflexión de un pavimento asfáltico empleando la viga Benkelman”, se realiza sobre el pavimento asfáltico, pero en la obra se realizan controles de las capas de última de terraplén hasta la capa de Rodadura, teniendo en cuenta las especificaciones del consultor para cada tramo tal como lo muestra la siguiente tabla.

Cuadro 15. Especificaciones

ESPECIFICACIONES															
CONSULTOR	TRAMO	PR INICIAL	PR FINAL	CARPETA ASFALTICA FINAL		BASE GRANULAR		LULAR CEMENTADA 21 Kg/cm ² A		CEMENTO 28 Kg/cm ² A LOS 7		MIENTO DE SUBRASANTE (C.B.		SUBRASANTE (C.B.R≥12%)	
				E. capa (cm)	flexión (10 cm)	E. capa (cm)	flexión (10 cm)	E. capa (cm)	flexión (10 cm)	E. capa (cm)	flexión (10 cm)	E. capa (cm)	flexión (10 cm)	E. capa (cm)	flexión (10 cm)
BRACOL	SAN ALBERTO-AGUACHICA (PR 0+000-PR 65+000)	PR 0+000	PR 65+000	9	24	16	28	16	26	20	31	30	67	60	75
	AGUACHICA-LA MATA (PR 65+000-PR 100+000)	PR 65+000	PR 100+000	9	24	12	28	16	26	20	31	28	67	60	75
	LA MATA-SAN ROQUE (PR 0+000-PR 44+000)	PR 0+000	PR 27+500	9	22	12	25	17	20	18	28	20	53	60	54
		PR 27+500	PR 31+500	9	27	12	32	20	31	20	35	35	77	60	97
		PR 31+500	PR 44+000	9	22	12	25	17	20	18	28	20	53	60	54
	LA MATA-SAN ROQUE (PR 44+000-PR 88+000)	PR 44+000	PR 66+800	9	22	12	25	17	20	18	28	20	53	60	54
		PR 66+800	PR 68+300	9	25	12	30	16	26	18	34	30	67	60	75
		PR 68+300	PR 74+000	9	29	12	33	21	34	25	35	35	90	60	131
		PR 74+000	PR 76+100	9	22	12	25	17	20	18	28	20	53	60	54
		PR 76+100	PR 82+200	9	25	12	30	16	26	18	34	30	67	60	75
	PR 82+200	PR 88+000	9	22	12	25	17	20	18	28	20	53	60	54	

Fuente. Consultor BRACOL

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test. Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas. El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se

recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes.

Procedimiento. La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 8.2 ton (8200 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida 40 KN (9000 lb).

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto. Estacionados los neumáticos se coloca la viga tras las ruedas, de manera que el extremo de su brazo de medida quede exactamente en el centro del espacio comprendido entre los dos neumáticos de la rueda dual, ajustando a cero y se verifica la lectura golpeándolo suavemente con un lápiz. Se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia no menor de 5 metros y se lee el dial cada 60 segundos, golpeándolo suavemente con un lápiz. Cuando dos lecturas sucesivas no difieran en más de 0.01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose la última lectura observada. Si se está empleando una viga Benkelman doble, se registra, además, la lectura del segundo dial. El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda utilizar la distancia indicadas en la tabla **795-1**.

Cuadro 16. Localización del punto de ensayo.

ANCHO DEL CARRIL	DISTANCIA DESDE EL BORDE DEL PAVIMENTO
2,7 m	0,45 m
3,0 m	0,6 m
3,3 m	0,75 m
3,60 m o mas	0,9 m

Fuente. Pasante del proyecto

Fotografía 11. Ensayo viga Benkelman.



Fuente. Pasante del proyecto

Otros ensayos de campo.

Fotografía 12. INVE 791 textura superficial de un pavimento mediante el método del círculo de arena



Fuente. Pasante del proyecto .

Fotografía 13. Registró fotográfico de toma de muestra de cilindros de concreto



Fuente. Pasante del proyecto

3.2 OBJETIVOS INVESTIGATIVO

Actividad. Reciclado de pavimento asfáltico en frío con parte de la capa granular existente, adicionado con cemento hidráulico.

Descripción. Este trabajo consiste en la disgregación de las capas asfálticas y parte de la base granular de un pavimento existente, de acuerdo con las profundidades de corte señaladas en los documentos del proyecto; la eventual adición de nuevos materiales pétreos, agua y la incorporación de cemento hidráulico; extensión, compactación y curado de los materiales tratados.

Materiales. Agregados pétreos resultantes de la pulverización mecánica de las capas de pavimento y base granular existente, y eventual adición de materiales pétreos para completar el volumen según el diseño, para el Hito 38E:

Mezcla de material Clasificado de 1½", Triturado de ¾" y Triturado de ½" o Triturado de 1½" en vez de Triturado de ¾" (material procesado y mezclado en Planta Torcoroma), para

el hito 46E hasta el momento no ha necesitado material de adición, ya que el material de fresado retirado y acopiado en planta Torcoroma fue nuevamente transportado al sitio para completar el volumen.

Cemento Hidráulico de uso general marca Holcim en presentación de 1600-kg.

El agua requerida para el humedecimiento previo de los agregados pétreos y el adicional si se requiere, para llegar a la humedad adoptada (2% por encima de la óptima promedio = 9%).

EQUIPOS:

Fotografía 14. Recicladora – estabilizadora de suelos.



MARCA	CATERPILLAR
MODELO	RM-300
MOTOR	C11 ACERT
POTENCIA BRUTA kw/hp	261/355
MASA DE EMBARQUE (kg)	24,450
ANCHURA DE CORTE (m)	2,438
PROFUNDIDAD DE CORTE (m)	0,508

Fuente. Pasante del proyecto

Fotografía 15. Vibro compactador.



MARCA	DYNAPAC
MODELO	CUMMINS 4BT 3.9-C
MAX. PESO OPERATIVO (kg)	12100
PESO OPERATIVO (INCLUIDO ROPS)	11200
PESO MÓDULO DELAN./TRASERO (kg)	6300/ 4900
RANGO DE VELOCIDAD (km/h)	0 - 10
CARGA LINEAL ESTÁTICA (kg/cm)	30
AMPLITUD NOMINAL (mm)	1,7/ 0,8
FRECUENCIA DE VIBRACIÓN (Hz)	33/ 33
FUERZA CENTRÍFUGA (kN)	248/ 121
ANCHO DEL TAMBOR (mm)	2130
POTENCIA NOMINAL (kW)	76 (102 hp) / 2300 rpm

Fuente. Pasante del proyecto

Fotografía 16. Motoniveladora.



MARCA	CATERPILLAR
MODELO	140K
MOTOR	CAT [®] C7 ACERT
POTENCIA	128 Kw
CILINDRADA	7,2 L
CALIBRE	105 mm
CARRERA	127 mm
MARCHA AVANCE/ RETROCESO	8 FORWARD/ 6 REVERSE
VELOCIDAD DE AVANCE	47,3 km/h
VELOCIDAD DE RETROCESO	37 km/h
RADIO DE GIRO	7,5 m
GAMA DE DIRECCIÓN	47,5°
ANGULO DE ARTICULACIÓN	20°
ANCHO DE HOJA	3,7 m
ALTURA DE VERTEDERA	610 mm
GROSOR DE VERTEDERA	22 mm
RADIO DE ARCO	413 mm
ALTURA LIBRE	120 mm
ANCHO DE ESCARIFICACIÓN	1184 mm
PROFUNDIDAD DE ESCARIFICACIÓN	260 mm
PESO BRUTO	22870 kg
ALTURA	3354 mm

Fuente. Pasante del proyecto

Fotografía 17. Equipos varios: Volquetas, Camión cisterna y cargador múltiple.



Fuente. Pasante del proyecto

Ejecución de los trabajos.

Preparación de la superficie existente. En el Hito 46E la construcción se realiza únicamente con el material existente en la calzada, puesto que los estudios previos realizados en este tramo nos muestra que el material existente cumple como material de base y los espesores se ajustan a la cotas de diseño.

Este se Recicla en todo el ancho de la capa que se va a mezclar, hasta una profundidad suficiente para que una vez compactada, la capa de reciclado alcance el espesor señalado por topografía.

Si fuese necesaria la adición del material de aporte para mejorar el existente o para completar el volumen en toda la calzada (Hito 38E), ambos se deben mezclar uniformemente, antes de iniciar la pulverización del material. En todos los casos en que el proceso involucre el material del lugar, parcial o totalmente, se comprueba que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente adecuadas condiciones de resistencia y, en caso de no tenerlas, se ordenarán las modificaciones previas que se consideren necesarias.

En todos los casos deberá estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada que requieran ser construidos, previamente a la construcción de la capa de reciclado.

Figura 3. Perfil de la vía.

PROFUNDIDAD m	ESPESOR E	GRAFICA	DESCRIPCIÓN	LL	IP	CLASIFICACIÓN		% CBR		
						SUCS	AASTHO	90%	95%	100%
0										
0,05	0,15		Capa de asfalto							
0,10										
0,15										
0,20										
0,25										
0,30										
0,35	0,40		Grava limosa bien graduada color gris claro	NP	NP	GW - GM	A-1-a	39	51	66
0,40										
0,45										
0,50										
0,55										
0,60										
0,65										
0,70										
0,75										
0,80										
0,85			Capa arcillosa	30	12	SC	A-2-6	11	17	22
0,90										
0,95										
1,00										
1,05										
1,10										
1,15										
1,20										
1,25										
1,30										
1,35										
1,40										
1,45										
1,50										

Fuente. Pasante del proyecto

Perfil típico que puede variar según el tramo de ejecución.

Pulverización del material existente.

Adición del material de planta. Hasta el momento solo se tiene previsto para el Hito 38E, ya que en el Hito 46E el corte y los espesores finales, permiten el complete del volumen faltante.

Humedecimiento del material. Después de pasar la recicladora se humedece el material reciclado, hasta un 9% ($\pm 2\%$ por encima de la humedad optima).

Fotografía 18. Reciclado del material Existente.



Fuente. Pasante del proyecto

Aplicación del cemento. Previamente calculada la cantidad de cemento en función de la masa de material compacto dependiendo de la densidad máxima de laboratorio de la mezcla; Se coloca el cemento en bultos de 1600 kg (presentación) cada 10 m aproximadamente (dependiendo los espesores y el tramo programado) y luego es esparcido por la motoniveladora en todo el ancho de la calzada en un espesor homogéneo sobre el agregado o suelo disgregado de manera que se esparce la cantidad requerida según el diseño (3%), más la cantidad prevista por desperdicios. Durante la aplicación del cemento, la humedad del material no podrá ser superior a la definida durante el proceso de diseño como adecuada para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con el cemento. Sobre el cemento esparcido sólo se permitirá el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el material.

Fotografía 19. Aplicación de cemento



Fuente. Pasante del proyecto

**Calculo de cemento, material adicional y agua para los tramos ejecutados: Hito 38E
Hito 46E**

Mezcla. Inmediatamente después de ser esparcido el cemento, se efectúa la mezcla empleando la recicladora, pasándola dos veces hasta garantizar una mezcla homogénea. En caso de que se requiera se añade el agua faltante y se continúa mezclando con la recicladora, y luego con la motoniveladora hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. La humedad de la mezcla será la óptima del ensayo de densidad máxima de laboratorio (Proctor) obtenida bajo la norma I.N.V.E-142-13, con tolerancia por encima de 2% ($\pm 9\%$).

Extensión y conformación. La mezcla elaborada sobre la vía se extenderá en todo el ancho previsto en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos y se conformará a la sección transversal de la calzada. Si el espesor del reciclado por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se coloca en dos capas, procurándose que el espesor de cada una de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm).

Compactación. La compactación de la mezcla se realizará de acuerdo con el plan propuesto (100% de la densidad máxima de laboratorio). El proceso de compactación deberá ser tal, que evite la formación de una costra o capa superior delgada, débilmente adherida al resto de la capa de reciclado. En caso de que ella se produzca, deberá ser eliminada hasta obtener una superficie uniforme y compacta. Los trabajos de compactación deberán ser terminados en un lapso no mayor de dos (2) horas desde el inicio de la mezcla. Las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo de mezcla y compactación aprobado para la actividad, se compactarán con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la mezcla resulte homogénea y la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida anteriormente. Una vez terminada la compactación, la superficie se deberá mantener húmeda hasta que se aplique el riego de curado.

Fotografía 20. Densidades en Reciclado.

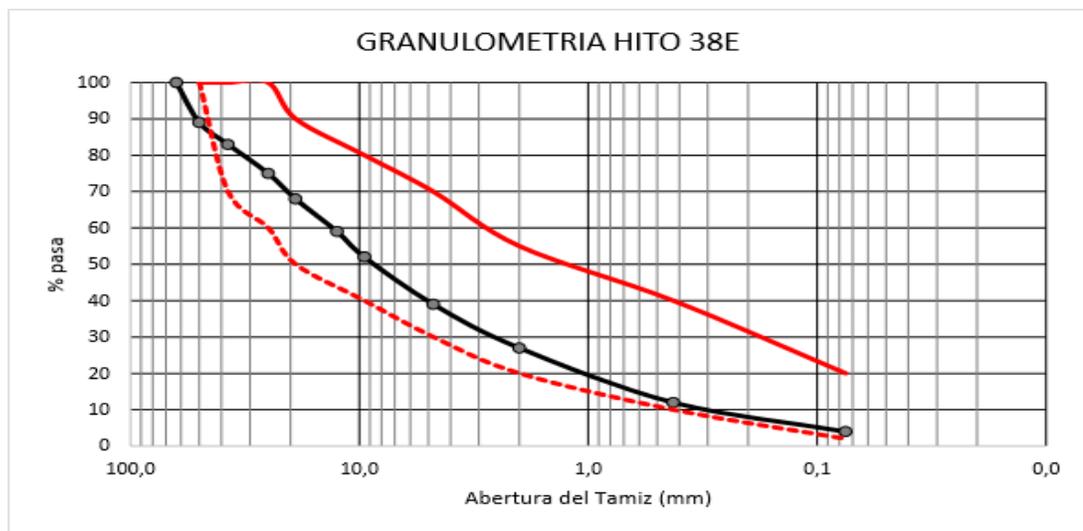


Fuente. Pasante del proyecto

Curado de la capa compactada. Terminada la compactación de la capa de reciclado, ésta se protege contra pérdidas de humedad por un período no menor de siete (7) días, mediante la aplicación de una película bituminosa con emulsión de rotura rápida tipo CRR-1, conforme se establece en el Artículo 422, “Riego de curado”. Si la aplicación del riego de curado no se hace inmediatamente después de terminada la compactación, se mantiene la humedad de la superficie mediante riego frecuente de agua por aspersión.

En el momento de aplicar el riego, que en ningún caso será de veinticuatro (24) horas después de terminada la compactación, la superficie de la capa de reciclado debe presentar un aspecto denso y homogéneo y contener la humedad suficiente que permita el curado.

Figura 4. Granulometría Hito 38E



LÍMITES DE CONSISTENCIA		CLASIFICACIÓN		CBR
LL	IP	AASTHO	USCS	100%
NP	NP	A-1-a	GW	98

Fuente. Pasante del proyecto

Las muestras tomadas para este Hito presentan sobre tamaños, para evitar esto se está pasando la recicladora para eliminar estos y que cumpla conformemente el uso granulométrico adoptado.

Calidad de la mezcla.

Resistencia. De la mezcla elaborada se toma una muestra para compactar 6 probetas de suelo- cemento para verificar resistencia a la compresión simple para a 3 días (si es necesario), 7 días (por especificación) y 2 testigos.

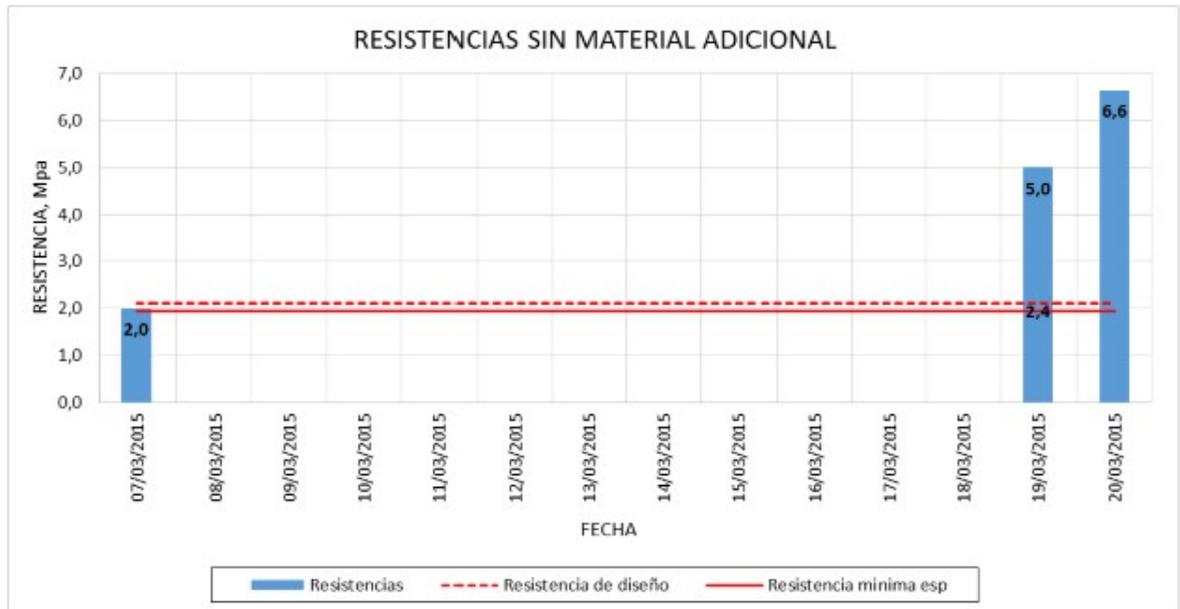
La resistencia media de las dos (2) o más probetas que representan el tramo ejecutado (Rm), deberá ser igual o superior al noventa y dos por ciento (92 %) de la resistencia de diseño (2,1 MPa), conforme se describe en el numeral 350.4.1. de la especificación I.N.V. 350-13.

Cuadro 17. Medida de la resistencia

REGISTRO	FECHA	FUENTE	LOCALIZACIÓN		RESISTENCIA DE DISEÑO Mpa	ESPECIFICACIÓN PARA DISEÑO I.N.V. ART. 350-13		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A 7 DIAS		ESPECIFICACIÓN DE RESIST. MIN. I.N.V. ART. 350-13
			INICIAL	FINAL		MINIMO	MAXIMO		Mpa	%	
012	07/03/2015	RECICLADO+3% DE CEMENTO	PR15+650	PR15+750	2,1	2,1 MPa	4,5 MPa	14/03/2015	2,0	95%	92%
013	10/03/2015	RECICLADO+ADICIÓN+3% DE CEMENTO	PR15+650	PR15+540	2,1	2,1 MPa	4,5 MPa	17/03/2015	2,0	94%	92%
019	11/03/2015	RECICLADO+ADICIÓN+3% DE CEMENTO	PR15+540	PR15+300	2,1	2,1 MPa	4,5 MPa	18/03/2015	2,0	93%	92%
190	17/03/2015	RECICLADO+ADICIÓN+3% DE CEMENTO	PR10+060	PR10+160	2,1	2,1 MPa	4,5 MPa	24/03/2015	3,6	170%	92%
192	18/03/2015	RECICLADO+ADICIÓN+3% DE CEMENTO	PR10+160	PR10+330	2,1	2,1 MPa	4,5 MPa	25/03/2015	6,2	296%	92%
193	19/03/2015	RECICLADO+3% DE CEMENTO	PR10+330	PR10+470	2,1	2,1 MPa	4,5 MPa	26/03/2015	2,4	113%	92%
194	19/03/2015	RECICLADO+3% DE CEMENTO	PR10+470	PR10+570	2,1	2,1 MPa	4,5 MPa	26/03/2015	5,0	238%	92%
195	20/03/2015	RECICLADO+3% DE CEMENTO	PR10+570	PR10+620	2,1	2,1 MPa	4,5 MPa	27/03/2015	6,6	316%	92%

Fuente. Pasante del proyecto

Figura 5. Resistencia sin material adicional



Fuente. Pasante del proyecto

4. DIAGNÓSTICO FINAL

Los suelos con contenidos apreciables de arcillas y limos, muy frecuentes en toda la geografía colombiana, presentan graves problemas geotécnicos para su empleo en la construcción de infraestructuras debidos a su elevada plasticidad, reducida capacidad portante e inestabilidad de volumen en función de la humedad (hinchamiento y retracción). El tratamiento y estabilización con cal viva de estos suelos es una solución muy interesante desde los puntos de vista económico, ambiental y técnico. En general, puede afirmarse que siempre que el Índice de Plasticidad (I.P.) de un suelo sea igual o mayor que 10, es aconsejable y satisfactoria su estabilización con cal. También es importante indicar las ventajas que presenta la técnica de estabilización de suelos con cal para el tratamiento y reparación de caminos y explanaciones con problemas de plasticidad y baja capacidad portante. Estas vías de baja intensidad fallan y dejan de ser operativas tras la caída de moderadas lluvias. Su tratamiento con cal garantiza su operatividad durante todo el año. Con unos costes mínimos de ejecución, se aseguran importantes ahorros en la conservación de estas redes y en los derivados de su inoperatividad durante varios meses al año. El Control de Calidad, tanto en la fase de diseño como en la de ejecución, de estos tratamientos del suelo debe ser muy cuidadoso y exigente. De esta forma, se garantizarán los efectos buscados a corto y largo plazo.

5. CONCLUSIONES

Al material de préstamo de la cantera paraíso se le controló la calidad desde la misma fuente de material, al material transportado a obra y después de la compactación. Se realizaron los respectivos análisis a los materiales de estudio y se observó que no cumplían con los parámetros establecidos por lo que se procedió a estabilizar y mejorar las propiedades mecánicas del suelo de la cantera con cal viva.

Luego de conocer los resultados de los materiales naturales de la cantera paraíso en laboratorio, se procedió a diseñar el porcentaje óptimo de cal viva, necesario para estabilizar dicho material.

Se realizaron ensayos en laboratorio para identificar el PH, del material natural, del material mezclado en diferentes porcentajes de cal viva, este ensayo nos muestra por medio de una curva el valor exacto de estabilización del suelo. Se debe tener en cuenta que los porcentajes de humedad que muestra la zona pueden ser altos, es por ello que de ser necesario se debe adicionar un poco más de cal al material, solo para bajar la humedad y con esto garantizamos que el material este cerca del óptimo, y la compactación del material será más rápida y la producción de campo será efectiva.

Con la creación de los formatos de procedimientos constructivos y control de calidad, se puede garantizar que el personal que labora en toda actividad constructiva afiance los conocimientos requeridos para realizar el cumplimiento de todos los estándares de calidad y seguridad que la empresa ofrece en su portafolio de servicios. De la misma manera se logra tener un control permanente de todos los procedimientos constructivos a desarrollar evitando que se presenten inconvenientes con el cliente por mala calidad de los productos

6. RECOMENDACIONES

Los suelos que se utilicen no deben tener partículas de tamaños superiores a 80 mm.

La cal debe estar seca al momento de su incorporación al suelo, para que fluya, y debe estar protegida de la humedad hasta su utilización.

Al momento de la utilización del producto, se debe tener todos los elementos de protección personal adecuados.

REFERENCIAS DOCUMENTALES ELECTRÓNICAS

ANFACAL. Mecanismo de reacción (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: anfocal.org/...Suelos/Estabilizacion_de_suelos_con_cal-REBASA-Present. pág. 20-21 y 23

BRAVO GUZMÁN Rosario. México [on line]. Actualizado el 30 de Mayo de 2012 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://cozumel.fi-a.unam.mx/~pinilla/Proyectos/2012-2/PE/05.pdf>

ECOTEC Cantera (s.l.) [on line]. (s.f.) [Citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: www.ecotec.edu.ec/...de_clases/27118_pasantia25.doc

EURORVA. Deflexiones (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://www.eurorva.mx/deflexiones.html> 2011

MONTOYA TRUJILLO Juan David. Control de calidad (s.l.) [on line]. 18 de Noviembre de 2014 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <https://prezi.com/rzqv3gtvm8xl/control-de-calidad-aseguramiento-de-calidad-control-estadi/>

LIME.OR. Precauciones de seguridad al utilizar cal. (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <https://lime.org/documents/.../free.../construct-manual-spanish2004.pdf>, pág. 5

MATERIALESCONTINENTAL. Asfalto (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://materialescontinental.com/asfaltos.html>

PERDOMO Inés. Terraplén (s.l.) [on line]. Actualizado el 21 de abril de 2010 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://construcciondeterraplen.blogspot.com.co/>

RESOURCE. Determinación de reactividad o velocidad de apagado de la cal viva (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2589.2011.pdf>

SANTANA Alexander. Excavación (s.l.) [on line]. Actualizado el 05 de febrero 2014 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/190/1/25104.pdf>

UNILIBRESOC. SUCS (s.l.) [on line]. Actualizado el 11 de febrero de 2011 [citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en: www.unilibresoc.edu.co/mecsuelos/htm/cap5/52.htm

VALDEZ MARTÍNEZ Ariel. Santo Domingo [on line]. (s.f.) [Citado el 19 enero de 2016]. Disponible en internet en:

http://www.academia.edu/7735474/UNIVERSIDAD_AUT%C3%93NOMA_DE_SANTO_DOMINGO_UASD_FACULTAD_DE_INGENIER%C3%8DA_Y_ARQUITECTURA_DEPARTAMENTO_DE_INGENIER%C3%8DA_CIVIL_MONOGRAFICO_DE_INGENIERIA_CIVIL_CIMENTACIONES_EN_ROCA_CALIZA_EN_LA_CIUADAD_DE_SANTO_DOMINGO_SECCI%C3%93N_01

ANEXOS

Anexo A. Formato de Densidades y Deflexiones.

Ver archivo adjunto

Anexo B. Materiales de la cantera Paraíso con sus respectivos registros

Ver archivo adjunto

Anexo C. Ensayos de Proctor y CBR

Ver archivo adjunto