

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



“RECOPIACION Y SEGUIMIENTO DE PROPUESTAS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PLÁSTICOS, APLICADAS A TRAMOS DE PRUEBA, PARA MEJORA EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN EL SALVADOR Y ELABORACIÓN DE UN PLAN DE EVALUACIÓN DE DETERIORO”

PRESENTADO POR:

WILFREDO ARGUETA MEJÍA
JOSEFA MARÍA NELLY ORELLANA MAYORGA
HUGO ALBERTO PARADA ULLOA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL:

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO:

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

MSc. ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la Opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

Título:

**“RECOPIACION Y SEGUIMIENTO DE PROPUESTAS DE ESTABILIZACIÓN
DE SUELOS PLÁSTICOS, APLICADAS A TRAMOS DE PRUEBA, PARA
MEJORA EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN EL
SALVADOR Y ELABORACIÓN DE UN PLAN DE EVALUACIÓN DE
DETERIORO”**

Presentado por:

**WILFREDO ARGUETA MEJÍA
JOSEFA MARÍA NELLY ORELLANA MAYORGA
HUGO ALBERTO PARADA ULLOA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides
Ing. Mauricio Ernesto Valencia
Ing. Roberto Otoniel Berganza Estrada

Ciudad Universitaria, Junio de 2011

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

ING. ROBERTO OTONIEL BERGANZA ESTRADA

Creo que ni todas las páginas juntas de este trabajo de graduación, me alcanzarían para agradecerle a tanta gente que directa o indirectamente tuvieron su aporte durante el estudio de toda mi carrera. Pero esencialmente quiero agradecer:

En primero lugar a **Diosito**, por esos momentos en los cuales necesité una señal...una luz, yo no soy muy devota que digamos, pero siempre que necesite fortaleza me la dio y aunque muy mal me porto a veces...Diosito nunca me ha dejado perder.

A mi madre **Silvia Milagro Mayorga Muñoz**, gracias mamita por creer siempre en mí, este triunfo es tan suyo como mío. Usted ha sido un ejemplo importante en mi vida, como mujer luchadora que es y cómo nos ha sacado adelante a mis hermanos y a mí. Solo Dios sabe lo que usted significa para mí, sin su apoyo incondicional creo que no estaría escribiendo estas palabras de agradecimiento en mi trabajo de graduación. Sé que he sido muy rebelde y usted siempre supo guiarme y aun lo hace...gracias Mamita.

A mis hermanos **Yara Ninfa** y **José Fernando**, por su apoyo y por aguantarme en mis momentos de "bravura", si ustedes y sin mi mamita mi vida sería totalmente vacía.

A mi padre **José Inocente Orellana**, que aunque este lejos pues siempre estuvo pendiente de mi con sus llamadas y siempre tuvo una palabra de apoyo y aliento para mí.

A toda mi familia en general (ya quiero mi águila) cada miembro de mi familia ha tenido su aporte durante toda mi carrea académica, sin mi familia...de verdad, de verdad esto no hubiese sido posible.

A todos mis amigos (perdón que no los mencione, pero es que no acabo), por todos esos momentos alegres y tristes y por esas palabras de aliento que me dieron en su momento cuando les pedí alguna opinión o algún consejo. Ustedes también son importantes en mi vida...gracias infinitas a todos mis amigos.

Y en especial...quiero agradecer a **DON ALFREDO VELASCO IRAHETA** (Q.D.D.G), a quien le dedico este trabajo de graduación, él fue y seguirá siendo unos de los pilares fundamentales en mi vida...aprendí mucho de usted, me enseñó a ser humilde y a ver que los problemas tienen muchas formas de resolverse y que siempre hay que ponerle el corazón y el toque personal a lo todo lo que se haga, gracias por ser mi cómplice y abogar siempre por mí ante mi madre. Y yo sé que no le demostré lo mucho que significa para mí y lo mucho que lo quiero...pero donde quiera que este...este triunfo es tan suyo como de mi madre.

Y a toda la gente que se me quedó...pero ustedes saben que les agradezco mucho.

GRACIAS...TOTALES!!!

CHEPY

A DIOS TODOPODEROSO; que es el ser que llena vida y me da fortaleza en los momentos difíciles, por ser el que nunca me defrauda y su amor es incondicional. A Dios que me ilumina la mente de sabiduría y me lleva de la mano en el camino de la vida.

A MARIA SANTISIMA; por ser esa Madre que me quiere mucho y me cubre con su manto maternal, que está allí en esos momentos tan difíciles y nos da esperanza para salir adelante.

A MI MADRE, MIRIAN ULLOA DE PARADA; por ser la persona que me quiere y me apoya en todo momento y toda circunstancia, que ha estado al lado mío en todo este proceso universitario y me ha enseñado lo que es la vida y me ha formado para ser una persona de bien. Mi madre es la que se ha esforzado y desvelado día a día y me ha ayudado a terminar esta carrera, gracias mamá.

A MI PADRE, JOSE ALBERTO PARADA; que desde pequeño me ha educado y formado y ha estado para aconsejarme en las decisiones de la vida y me ha motivado a estudiar. Gracias.

A MIS HERMANOS; MIRIAN Y VICTOR; que me han apoyado y que he desvelado más de una vez, que son mi familia y son muy importantes para mí.

A MIS PRIMOS; que me han apoyado en este proceso de mi vida, tanto moralmente como económica: a Rudy, Paty, Silvia y Laura. Gracias por estar allí.

A TODA MI FAMILIA, MI ABUELITA Y TIOS; que han estado pendientes en mi vida y me han apoyado en este camino del saber, al Tío Esteban, Héctor, Tita y todos los demás, a mi abuelita Domitila que a su edad nos da consejos a los nietos. Gracias.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS; que con ellos he vivido esta gran experiencia de mi vida y que nunca los olvidare, que me han soportado y hemos luchado para salir adelante en los momentos más difíciles de la tesis, mil gracias Will y Chepi.

A MIS AMIGOS; que han estado allí en los momentos buenos y malos y me han apoyado para salir adelante, que incondicionalmente me han ayudado y hemos estudiado.

A LA PASTORAL JUVENIL; que me apoyan y me llevan en sus oraciones.

A MI PADRINO; Pbro. EMILIO RIVAS; que ha sido un asesor espiritual y un consejero para luchar y seguir adelante en mis estudios.

Y A LAS HERMANAS MISIONERAS DE JESUS; que me han llevado en sus oraciones y me dan palabras de apoyo y confianza, especialmente hna Sule, hna Silvia, hna Elubia y todas las demás que oran e interceden a Dios por mí. Gracias.

Hugo Alberto Parada Ulloa

AL SEÑOR, MI DIOS; ya que sin él nada es posible, gracias a él cada problema que se ha presentado no ha sido suficiente para detener esta meta, por estar a mi lado aún en los momentos que más le he fallado, infinitas gracias.

A MI MA, ELVIRA MEJÍA DE ARGUETA; por todo ese amor y consejo, que aunque a veces ha sido molesto, siempre ha tenido la razón, por apoyarme cuando más lo he necesitado, simplemente por estar conmigo.

A MI PA, WILFREDO ARGUETA; por confiar siempre en mí, por todo el apoyo a lo largo de estos años de estudio, por ser mi ejemplo de responsabilidad y esfuerzo.

A MI HERMANO, JAVIER ERNESTO ARGUETA MEJÍA; por estar siempre conmigo, por ser esa persona con la que se puede discutir y a la hora estar como si nada, de pequeños me alcanzaste y al final terminaste dejándome atrás, le agradezco mucho a la vida por tu existencia, te quiero como no tienes idea.

A MIS HERMANOS DE COMUNIDAD; por soportarme en aquellos momentos en que me he sentido cansado y de mal humor, gracias por formar parte de mi familia.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS; por todo el esfuerzo que han puesto en el desarrollo de este trabajo de investigación, por nunca darnos por vencidos, aún cuando las circunstancias lo ameritaban.

A MIS AMIGOS; por estar pendientes de la futura celebración, ahora les digo: “Espero hayan ahorrado lo suficiente”.

WILFREDO ARGUETA MEJÍA

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A Dios, por todas las bendiciones y sabiduría que nos regala, por iluminarnos siempre en nuestras vidas y en nuestros estudios, nos da fortaleza, paciencia y perseverancia para no desfallecer en nuestro trabajo de graduación, por ser ese Padre bondadoso, amoroso y misericordioso y darnos la bendición de concluir nuestra carrera universitaria.

A la Universidad de El Salvador, por ser la institución que nos brinda el conocimiento y formación intelectual y como personas de bien al servicio de las necesidades del pueblo. Formadora de carácter y de personalidad como nuevos profesionales que seremos.

A nuestro coordinador y Asesor del Trabajo de Graduación, Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides, por el tiempo y conocimientos brindados en el desarrollo de este trabajo, le agradecemos por infundirnos profesionalismos en la investigación.

A nuestro Asesor de trabajo de graduación Ing. Mauricio Ernesto Valencia, por su colaboración y conocimientos valiosos que nos han ayudado para la elaboración del presente trabajo de investigación.

A nuestro Asesor de trabajo de graduación Ing. Roberto Otoniel Berganza Estrada, por su tiempo y colaboración, por infundir en nosotros responsabilidad y darnos ánimos para seguir adelante en nuestra investigación.

Al Arq. Julio Hernández, Administrador de Proyectos del Fondo de conservación vial (FOVIAL), por su tiempo y confianza depositados en nosotros, y por el apoyo incondicional en este trabajo de graduación.

Al Ing. Víctor Orellana, Ingeniero de Control de Calidad del Fondo de conservación vial (FOVIAL), por la confianza depositada en nosotros para desarrollar ética y profesionalmente la investigación del presente trabajo de graduación.

Al Ing. Marlon Cárcamo, Ingeniero de Control de Calidad del Fondo de conservación vial (FOVIAL), por su gran aporte y colaboración para el desarrollo de este trabajo de graduación y por tomarnos en cuenta para trabajar en conjunto con FOVIAL en el marco de esta investigación.

Al Ing. Carlos Mata, Gerente General de ASFALCA. Por su tiempo y colaboración brindados para el desarrollo de este trabajo de graduación.

Al Ing. Franklin Barrera, jefe de investigación de ASFALCA, por su aporte y conocimientos que nos han ayudado en esta investigación.

Al Ing. Carlos Zaldaña de investigación de Cementos HOLCIM, por su apoyo incondicional y aporte en la investigación de este trabajo de graduación.

Al Ing. Carlos Antonio Quintanilla del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC), por su tiempo y conocimientos brindados para el desarrollo de esta.

A la empresa Construcciones y proyectos diversos S.A. de C.V. (CPD), por su tiempo e información brindada para desarrollar la investigación.

Al Ing. José Luis Osegueda por su apoyo de vital importancia en la última fase de nuestra investigación.

A la empresa HIDRODESARROLLO S.A de C.V, por el tiempo, apoyo e información brindada para el desarrollo de nuestra investigación.

Al laboratorio de Suelos y Materiales de la **Universidad de El Salvador (UES)** por los servicios prestados en la realización de los ensayos presentados en este trabajo de graduación, especialmente **al Ing. José Miguel Landaverde**, Jefe del laboratorio, por su profesionalismo brindado en los ensayos realizados para el presente trabajo de graduación.

Al Fondo de conservación vial (FOVIAL) en general, ya que es una institución del estado al servicio de las necesidades de la población y con la misión de tener mejores vías de comunicación vial nos han tomado en cuenta en su trabajo investigativo para así formar una alianza entre esta institución y la Universidad de El Salvador para dar respuesta de solución a algunas problemáticas.

Agradecemos al Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC), por la información brindada incondicionalmente y de gran aporte para la investigación.

Agradecemos las Empresas especialista en las áreas de investigación de este trabajo de graduación, por su tiempo y aporte de información para la investigación y realización de este trabajo de graduación, entre estas empresas tenemos:

- Cemento HOLCIM S.A. Sucursal El Salvador.
- Distribuidor de Asfalto en El Salvador ASFALCA S.A.
- Fabricantes de Cal Hidratada HORCALSA, Empresa Guatemalteca líder en la región C.A.

A todos nuestros amigos y familiares que de alguna forma pusieron su grano de arena en la realización de esta investigación; porque ellos son los que nos han dado ánimos y esperanza en los momentos más difíciles y su apoyo incondicional que nos regalan día a día. Mil gracias.

INDICE

	PAG.
INTRODUCCIÓN - - - - -	- xxvii
CAPITULO I: ANTEPROYECTO - - - - -	- 01
1.1 ANTECEDENTES - - - - -	- 03
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA - - - - -	- 06
1.3 OBJETIVOS - - - - -	- 09
1.3.1 OBJETIVO GENERAL - - - - -	- 09
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS - - - - -	- 09
1.4 ALCANCES - - - - -	- 10
1.5 LIMITACIONES - - - - -	- 13
1.6 JUSTIFICACIÓN - - - - -	- 14
CAPITULO II: MARCO TEORICO - - - - -	- 15
2.1 RED VIAL DE EL SALVADOR - - - - -	- 17
2.1.1 DEFINICIÓN DE VIA NO PAVIMENTADA - - - - -	- 17
2.1.2 UTILIZACIÓN DE VIAS NO PAVIMENTADAS EN EL SALVADOR - - - - -	- 18
2.1.3 GENERALIDADES SOBRE LOS SUELOS - - - - -	- 19
2.1.3.1 DEFINICIÓN DE SUELO	
2.1.3.2 COMPOSICIÓN DE LOS SUELOS	
2.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS - - - - -	- 20
2.1.4.1 CLASIFICACION DE SUELOS EN BASE A NORMA AASHTO M-145	
2.1.4.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS (ASTM D 2487)	
2.1.4.3 RELACIÓN ENTRE LAS NORMAS AASHTO M 145; ASTM D 2487 Y LA CAPACIDAD PORTANTE (CBR)	
2.1.4.4 ENSAYOS UTILIZADOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
2.1.5 PARÁMETROS DE ESTADO DEL SUELO - - - - -	- 31
2.1.5.1 RESISTENCIA MECÁNICA	
2.1.5.2 COMPACTACIÓN (ENSAYO PRÓCTOR)	
2.1.5.3 CAPACIDAD PORTANTE (ENSAYO CBR)	
2.1.5.4 MODULO DE RESILIENCIA	

2.2.5 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLA MIXTA (CAL+CEMENTO) - - - - - - - -	- 113
2.2.5.1 DEFINICIÓN DE ESTABILIZACIÓN MIXTA	
2.2.5.2 PROPIEDADES DE LA MEZCLA	
2.2.5.3 TIPOS DE CALES UTILIZADAS EN ESTABILIZACIONES DE SUELOS PLASTICOS	
2.2.5.4 TIPOS DE CEMENTOS UTILIZADOS EN ESTABILIZACIONES DE SUELOS PLASTICOS	
2.2.5.5 DISEÑO DE MEZCLA	
2.2.5.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
2.3 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES UTILIZADOS EN LOS TRAMOS DE PRUEBA - - - - - - - -	- 122
2.3.1 IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA - - - - - - - -	- 122
2.3.2 SLURRY SEAL - - - - - - - -	- 123
CAPITULO III: TRAMOS DE PRUEBA - - - - - - - -	- 125
3.1 ETAPAS PREVIAS A LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TRAMOS DE PRUEBA - - - - - - - -	- 127
3.1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA - - - - - - - -	- 127
3.1.2 CONDICIONES EXISTENTES DEL CAMINO EN ESTUDIO	- 128
3.1.3 ANALISIS DE TRAFICO DE LA ZONA - - - - - - - -	- 128
3.1.4 OBTENCIÓN Y ANALISIS DE ALGUNOS PARAMETROS FISICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CADA TRAMO -	129
3.1.4.1 ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM D422, AASHTO T88)	
3.1.4.2 LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318, AASHTO T89 Y T90)	
3.1.4.3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (ASTM D2487, AASHTO M145)	
3.1.4.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS Y MEZCLAS DE SUELO – AGREGADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS (CLASIFICACIÓN AASHTO)	
3.1.4.5 PRUEBA DE RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO, CBR (ASTM D1883, AASHTO T193)	

3.2 TRAMO ESTABILIZADO CON CEMENTO (METODO “PUAD”)					- 135
3.2.1 ESTUDIOS PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN	-	-	-	-	- 135
3.2.2 DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO	-	-	-	-	- 136
3.2.3 MAQUINARIA, EQUIPO Y MANO DE OBRA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA	-	-	-	-	- 137
3.2.3.1 MAQUINARIA Y EQUIPO					
3.2.3.2 MANO DE OBRA					
3.2.4 PROCESO CONSTRUCTIVO	-	-	-	-	- 139
3.2.4.1 PREPARACIÓN DEL SUELO NATURAL					
3.2.4.2 COLOCACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL CEMENTO					
3.2.4.3 MEZCLADO					
3.2.4.4 COMPACTACIÓN					
3.2.4.5 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL					
3.2.4.6 SEGUIMIENTO REALIZADO AL CONTROL DE CALIDAD					
3.2.5 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS	-	-	-	-	- 148
3.3 TRAMO ESTABILIZADO CON EL METODO “SUELO + CAL”					- 149
3.3.1 ESTUDIOS PREVIOS A LA COSTRUCCIÓN	-	-	-	-	- 149
3.3.2 DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO	-	-	-	-	- 151
3.3.3 MAQUINARIA, EQUIPO Y MANO DE OBRA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA	-	-	-	-	- -
152					
3.3.3.1 MAQUINARIA Y EQUIPO					
3.3.3.2 MANO DE OBRA					
3.3.4 PROCESO CONSTRUCTIVO	-	-	-	-	- 153
3.3.4.1 PREPARACIÓN DEL SUELO NATURAL					
3.3.4.2 COLOCACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA CAL					
3.3.4.3 MEZCLADO					
3.3.4.4 COMPACTACIÓN					
3.3.4.5 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL					
3.3.4.6 SEGUIMIENTO REALIZADO AL CONTROL DE CALIDAD					
3.3.5 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS	-	-	-	-	- 163

3.4 TRAMO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN ASFALTICA	-	-	-	164
3.4.1 ESTUDIOS PREVIOS A LA COSTRUCCIÓN	-	-	-	164
3.4.2 DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO	-	-	-	165
3.4.3 MAQUINARIA, EQUIPO Y MANO DE OBRA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA	-	-	-	166
3.4.3.1 MAQUINARIA Y EQUIPO				
3.4.3.2 MANO DE OBRA				
3.4.4 PROCESO CONSTRUCTIVO	-	-	-	167
3.4.4.1 PREPARACIÓN DEL SUELO NATURAL				
3.4.4.2 COLOCACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA				
3.4.4.3 MEZCLADO				
3.4.4.4 COMPACTACIÓN				
3.4.4.5 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL				
3.4.4.6 SEGUIMIENTO REALIZADO AL CONTROL DE CALIDAD				
3.4.5 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS	-	-	-	176
 3.5 TRAMO ESTABILIZADO CON EL METODO “SUELO + CAL + CEMENTO	-	-	-	177
3.5.1 ESTUDIOS PREVIOS A LA COSTRUCCIÓN	-	-	-	177
3.5.2 DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO	-	-	-	179
3.5.3 MAQUINARIA, EQUIPO Y MANO DE OBRA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA	-	-	-	180
3.5.3.1 MAQUINARIA Y EQUIPO				
3.5.3.2 MANO DE OBRA				
3.5.4 PROCESO CONSTRUCTIVO	-	-	-	181
3.5.4.1 PREPARACIÓN DEL SUELO NATURAL				
3.5.4.2 COLOCACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA CAL Y EL CEMENTO				
3.5.4.3 MEZCLADO				
3.5.4.4 COMPACTACIÓN				
3.5.4.5 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL				
3.5.4.6 SEGUIMIENTO REALIZADO AL CONTROL DE CALIDAD				
3.5.5 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS	-	-	-	188

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-	-	-	-	-	-	-	-	-	241
5.1 CONCLUSIONES	-	-	-	-	-	-	-	-	243
5.2 RECOMENDACIONES	-	-	-	-	-	-	-	-	248

ANEXOS

ANEXO 1: CONTEO VEHICULAR

ANEXO 2: ANALISIS GRANULOMETRICO

ANEXO 3: LIMITES DE CONSISTENCIA

ANEXO 4: PRUEBA DE RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO

**ANEXO 5: RESULTADO DE ENSAYOS ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO
METODO “PUAD”**

ANEXO 6: RESULTADO DE ENSAYOS METODO “SUELO+CAL”

**ANEXO 7: RESULTADO DE ENSAYOS METODO
“SUELO+EMULSIÓN”**

**ANEXO 8: RESULTADO DE ENSAYOS METODO
“SUELO+CEMENTO+CAL”**

ANEXO 9: DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL ESTABILIZANTE

ANEXO 10: RECOMENDACIONES HORCALSA

ANEXO 11: DESGLOCE DE COSTOS UNITARIOS

ANEXO 12: GRAFICOS CÁLCULO DE URCI

**ANEXO 13: CALCULO DE PCI PARA TRAMO ESTABILIZADO CON
EMULSIÓN**

INTRODUCCIÓN

Conforme el tiempo pasa, en el campo de la ingeniería de vías terrestres ha surgido la necesidad de buscar y aplicar alternativas de solución a los diferentes problemas de circulación vehicular que presentan los caminos rurales, tanto en el invierno como durante el verano; problemas que afectan el desarrollo económico-social de las comunidades que habitan las zonas comunicadas por este tipo de vías.

Una buena intervención y tratamiento de los suelos existentes del lugar donde se ejecutara una obra vial, traerá consigo una mayor durabilidad y menor costo, es así, que se hace necesaria la investigación y aplicación de técnicas que ayuden a optimizar las condiciones que predominan en estos caminos, razón por la cual se desarrollo el presente trabajo de investigación.

En la primera etapa se plantean como eje central para la investigación los elementos teóricos conceptuales de los métodos de estabilización de suelos, tales como:

- Estabilizado con Cemento (Método “PUAD”)
- Estabilizado con Cal.
- Estabilizado con Emulsión Asfáltica.
- Estabilizado con Cal – Cemento

En la segunda etapa se contempla la ejecución y seguimiento de los tramos de prueba, que el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) en coordinación con las instituciones y empresas, participaron en las diferentes fases del proyecto.

Las instituciones y empresas que colaboraron tanto en diseño, construcción y supervisión fueron, por parte del diseño ISYC (Pavimento Unicapa de Alto Desempeño, PUAD), HORCALSA (Estabilizado con Cal y Cal + Cemento) y ASFALCA (Estabilizado con Emulsión Asfáltica); por parte de la construcción y supervisión CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS DIVERSOS e HIDRODESARROLLO respectivamente.

Como una etapa concluyente del documento se elabora un plan de evaluación de deterioro, en el cual se pretende identificar los daños que la vía presenta tanto en la Capa de Rodadura como en sus drenajes, realizando estas evaluaciones de manera programada cada dos meses o después de algún evento lluvioso importante.

Terminando la investigación con la presentación de conclusiones y recomendaciones, como fruto del comportamiento que han tenido los tramos de prueba en el transcurso del tiempo, sometido a las condiciones de tráfico y clima existentes en la zona. Para luego detallar la bibliografía consultada.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En el transcurso de los últimos años se ha planteado la necesidad de utilizar nuevos materiales en la conformación de estructuras para pavimentos en nuestro país, debido al costo que implica la sustitución de los materiales existentes de las zonas, cuando estos no cumplen con las especificaciones técnicas del diseño en las que se ejecutan los proyectos.

Entre estos encontramos los suelos plásticos (arcillas), cuyas características no cumplen con los requisitos para obtener estructuras funcionales y con buen desempeño en cualquier época del año; dicho tipo de suelos en nuestro país se han utilizado anteriormente, incluso sin ningún tipo de tratamiento para mejorar sus características.

Se han aplicado varias técnicas de estabilización de suelos en la red vial del país, generalmente como sub-base o base de la estructura del pavimento; aunque también se han utilizado como carpetas de rodadura en algunos caminos rurales (caminos de baja intensidad vehicular, conocidos como vías no pavimentadas), algunas de las técnicas que se han utilizado son las siguientes:

En el año 2008, se realizó la estabilización con cal en un tramo de prueba situado dentro de la ruta LIB12: Nuevo Cuscatlán – Huizucar, estacionamientos 5+140 al 5+290, ubicado en el departamento de La libertad, Municipio de Huizucar, con una longitud de 150.00 m, ancho de vía de 5.00 m y un espesor de capa (mezcla suelo-cal) de 0.30 m.

El porcentaje de cal utilizado para la estabilización de dicho tramo fue de 4.00 % de cantidad de cal. Dicha ruta se pavimento en el año 2009. (Ver fotografías 1.1 y 1.2)

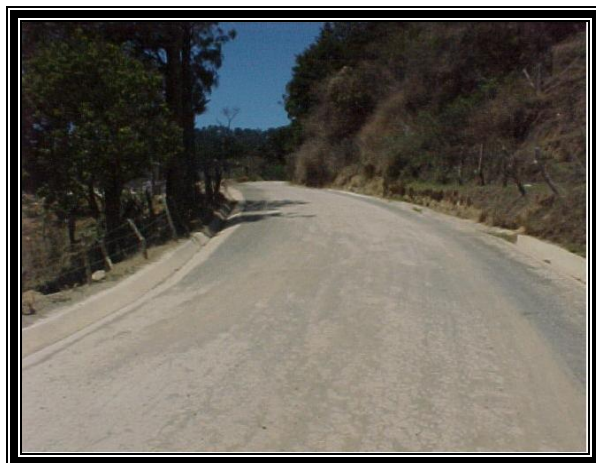


Fotografía 1.1 Tramo de Prueba Construido; Ruta LIB12 / Nuevo Cuscatlán - Huizúcar



Fotografía 1.2 Tramo Pavimentado; Ruta LIB12 / Nuevo Cuscatlán - Huizúcar

- En el año 2003 se realizó el proyecto de construcción de una carretera de 5.50 Km en el tramo Río Chiquito – Las Pilas, ubicado en el departamento de Chalatenango, en el cual se estabilizó con Cemento (Método “PUAD”) el material existente y así utilizarlo como capa de rodadura de la vía. (Ver fotografías 1.3 y 1.4)



Fotografía 1.3 Tramo de Prueba Construido; Río Chiquito – Las Pilas, Chalatenango



**Fotografía 1.4 Pendiente Longitudinal de Aprox. 12 % en buen estado, después de dos inviernos;
Río Chiquito – Las Pilas, Chalatenango**

En el caso del suelo-cemento se tienen muchos proyectos que han sido ejecutados con esta técnica de estabilización entre ellos: Tramo La Flecha – San Luis La Herradura, tramo ubicado en el departamento de La Paz, que posee 15 Km de longitud, en el cual se utilizó suelo-cemento como base. Tramo San Salvador – Santa Ana (ex estación de peaje), en el cual se utilizó suelo-cemento como base, con un espesor variando entre 20 - 25 cm, adicionalmente los hombros han sido tratados con suelo-cemento, entre otros proyectos que se han ejecutado en el país.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo del país está relacionado, entre otros aspectos, a la calidad de sus sistemas de comunicación vial, tanto el correspondiente a la red pavimentada como las vías no pavimentadas; pero que de igual forma comprenden un elemento fundamental para el comercio y conformado por comunidades que tienen diversas necesidades a ser solventadas; además de ser productores y en consecuencia necesitar un medio para promover sus productos en otros mercados del país.

La red nacional prioritaria en El Salvador está formada por 9,984 Kilómetros (0.5 Km/Km²), tanto de vías pavimentadas como de no pavimentadas, de los cuales un 40% son vías pavimentadas y un 60% (13% terciaria y 47% rural) son vías no pavimentadas (**Fuente:** “Curso Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño”, Año 2008). Debido al alto porcentaje que representan estas vías es necesario mantenerlas en condiciones óptimas, con el propósito de conservar y mejorar la conectividad de las comunidades en nuestro país.



Figura 1.1 Mapa de Red Vial Pavimentada

FUENTE: Pagina Web del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

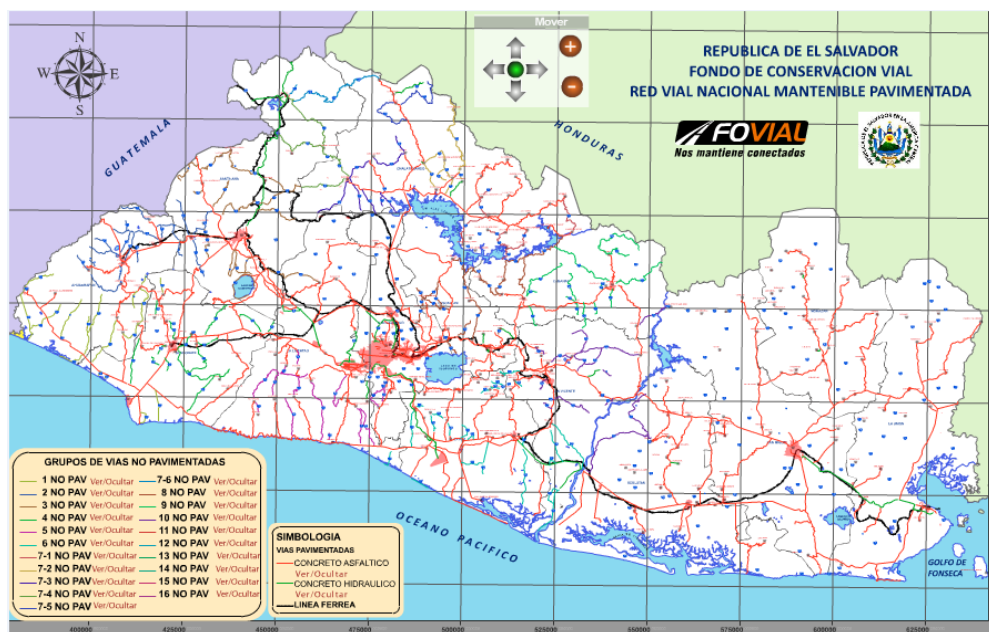


Figura 1.2 Mapa de Red Vial No Pavimentada

FUENTE: Pagina Web del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

La calidad actual de nuestra red de vías no pavimentadas se ve afectada por muchos factores, algunos de ellos son:

- Tipo de suelos existentes en el país y comportamiento de estos en época lluviosa.
- Costos de construcción y mantenimiento.
- Comportamiento del pavimento construido en época lluviosa y deficiente sistema de evacuación de aguas lluvias.
- Periodo de vida útil de los mismos.

A pesar de que se han tenido experiencias en la construcción de estructuras de pavimentos con métodos de estabilización de suelos en el país, tales como estabilizado con Cal, estabilizado con Cemento y estabilizado con Cal – Cemento, el desempeño de estos no puede ser comparado de forma tal que nos indique cuál de ellos es el que se comporta mejor bajo las condiciones climáticas y de tráfico que existen en el país.

Se hace necesario entonces una evaluación que compare los factores, antes mencionados, de los diferentes métodos de estabilización de suelos bajo las mismas condiciones, con el propósito de determinar cuál es el método más factible técnica y económicamente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL:

- Realizar una recopilación y seguimiento de las diferentes propuestas de estabilización de suelos, aplicadas a los tramos de prueba para la mejora de la transitabilidad en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador y proponer un plan de seguimiento para la evaluación del desempeño de las diferentes estabilizaciones aplicadas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Dar a conocer algunos métodos de estabilización de suelos que pueden ser aplicados para la construcción o rehabilitación de vías de baja intensidad vehicular en caminos de El Salvador.
- Investigar para cada método de estabilización a utilizar, cuales son los procesos constructivos que se deben aplicar y a su vez llevar un control de calidad sobre dichos procesos, para así obtener un pavimento de buena calidad y con un costo adecuado.
- Determinar los parámetros físicos del suelo, aplicando las normas y especificaciones correspondientes, que nos permitan comprobar la calidad de los materiales utilizados en cada estabilización.
- Elaborar un registro de las actividades previas a la ejecución del proyecto y de los procesos constructivos que se llevaran a cabo en el transcurso del desarrollo de este.
- Realizar una recopilación y seguimiento del desempeño de cada método de estabilización y obtener el Índice de Condición de Carreteras no Pavimentadas (Unsurfaced Road Condition Index, URCI).

1.4 ALCANCES

El fondo de conservación vial (FOVIAL) desarrolla un proyecto de construcción de tramos de prueba utilizando técnicas de estabilización de suelos plásticos en la ruta CUS18N: Suchitoto – Dv. CUS11N, ubicada al norte del departamento de Cuscatlán, para determinar la viabilidad técnica y económica de la implementación de dichas técnicas.

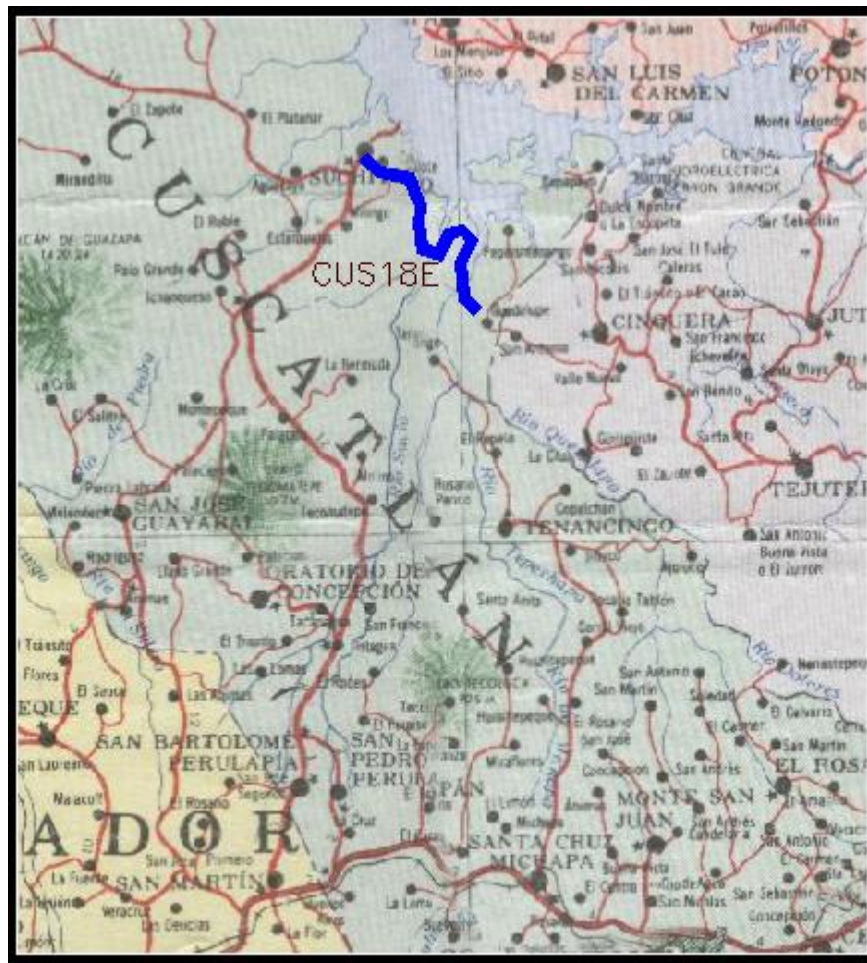


Figura 1.3 Mapa de Ubicación de la Zona del Proyecto

El diseño de los tramos de prueba se realizara por parte de instituciones que colaboran con el fondo de conservación vial (FOVIAL), para cada uno de los métodos de estabilización, y se realizara como parte de la investigación la

comprobación de los parámetros de diseño y de los resultados obtenidos luego de ser aplicada la técnica.

Las técnicas que se aplicaron en las vías son las siguientes:

- Suelos estabilizados con cemento y cal (Tramo 1: Est. 0+244 – Est. 0+303, Tramo 2: Est. 0+610 – Est. 0+650).
- Estabilización con cal (Est. 0+303 – Est. 0+402)
- Estabilización con Cemento (Método “PUAD”) (Est. 0+410 – Est. 0+610).
- Estabilización con emulsión asfáltica (Est. 0+650 – Est. 0+852)

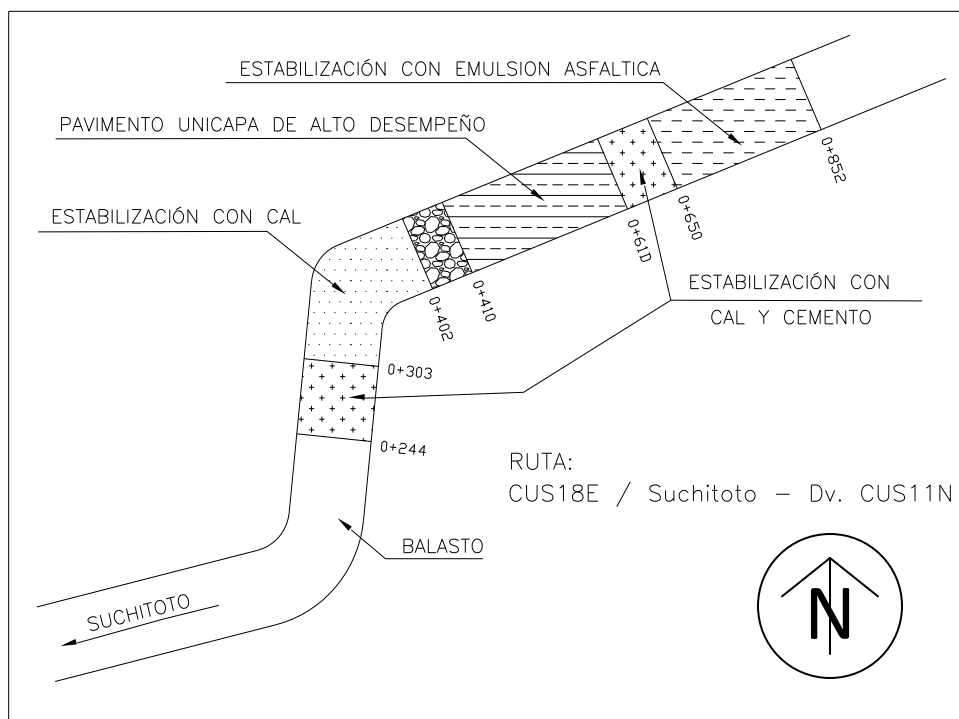


Figura 1.4 Esquema sin escala de Ubicación de los Tramos de Prueba

Se elaborara un registro de todas las actividades que se desarrollaran en la ejecución del proyecto, tanto de las actividades previas: muestreo y determinación de parámetros de los materiales, y los diseños de mezcla propuestos; como del proceso de construcción de los diferentes tramos de prueba.

La determinación de la factibilidad tanto técnica como económica de los métodos de estabilización de suelos plásticos, aplicados a los tramos de prueba en estudio, no se realizará como parte de esta investigación; será elaborada por parte del FOVIAL. Sin embargo, se hará un análisis de los costos iniciales en los que se incurrieron para la ejecución del proyecto.

Se realizará una evaluación de deterioro con el fin de conocer el desempeño de las técnicas de estabilización aplicadas, y así mismo obtener el Índice de Condición de Carreteras no Pavimentadas (Unsurfaced Road Condition Index, URCI)

1.5 LIMITACIONES

- La poca información que se tiene debido a que no se han desarrollado estudios a cerca de ciertas técnicas de estabilización y además que durante esta investigación en particular, algunas de las técnicas de estabilización son aplicadas por primera vez en nuestro medio, por lo que no se encuentran documentadas experiencias de este tipo.
- Para el control de calidad de los parámetros de diseño y procesos constructivos en un proyecto vial, es necesaria la realización de numerosas pruebas y ensayos de laboratorio, lo cual involucra tiempo y recursos económicos; por lo tanto se limitara a darle un seguimiento al control de calidad realizado por las instituciones involucradas en el diseño y construcción de los tramos de prueba.
- En esta investigación solo se contemplará lo concerniente a las técnicas de estabilización siguientes:
 - Estabilización con cemento y cal.
 - Suelos estabilizados con cal.
 - Estabilización con Cemento (Método “PUAD”).
 - Estabilizado con Emulsión Asfáltica.Por lo tanto, cualquier otra técnica que se aplique en la construcción de algún otro tramo de prueba como parte de la realización del proyecto que FOVIAL está ejecutando y como parte de esta investigación, será tratada de una forma muy general.
- La determinación de la factibilidad, tanto técnica como económica, de los métodos de estabilización tratados en este documento, no se hará como parte de la investigación, sin embargo quedará establecido un plan de seguimiento el cual podrá ser utilizado posteriormente para dicho fin.

1.6 JUSTIFICACIÓN

El crecimiento socio-económico de una zona o país determinado depende en gran medida de las vías de comunicación existentes, es por ello que la construcción y mejoramiento de dichas vías es de vital importancia, para así también, promover el desarrollo local de las comunidades.

En el país el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), mediante el decreto No. 342, se reformó la ley y se creó la posibilidad para que FOVIAL pueda atender la Red Vial Urbana Prioritaria Mantenible y para que pudiese acceder al financiamiento y ejecutar proyectos de Inversión Vial (Caminos Rurales).

La plasticidad es una de las principales características del suelo existente en nuestro país, es por ello que durante la construcción de las carreteras se necesita, en algunos casos, la sustitución de dicho material o la mejora de las propiedades de éste para asegurar la calidad y buen funcionamiento de las vías de comunicación.

Es así como, dentro de las actividades de conservación y ejecución de proyectos viales se encuentra la Estabilización de Suelos, pues de ello depende en gran medida, el buen funcionamiento de una carretera y su vida útil.

En vista de la importancia que posee dicha actividad, se hace necesario efectuar una recopilación y seguimiento de los procesos constructivos de las diferentes técnicas de estabilización empleadas en los tramos de prueba, con el fin de realizar un estudio del desempeño de dichas técnicas, para así obtener resultados satisfactorios en la investigación.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 RED VIAL DE EL SALVADOR

Las vías terrestres ocupan un lugar primordial en la comunicación de regiones, poblados, etc. Generando de esta manera mayor conectividad y desarrollo a nivel nacional. La red nacional prioritaria en El Salvador está formada por 9,984 Kilómetros (0.5 Km/Km²), tanto de vías pavimentadas como de no pavimentadas, de los cuales un 40% son vías pavimentadas y un 60% (13% terciaria y 47% rural) son vías no pavimentadas (**Fuente:** “Curso Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño”, Año 2008).

La importancia de minimizar el número de caminos no pavimentados, es grande en nuestro país; y esto revela la necesidad de generar planes de gestión vial enfocados en los siguientes aspectos:

- Continuar la expansión de inversiones en caminos rurales
- Usar algunas estrategias de mantenimiento de caminos no pavimentados de fácil utilización.
- Conservar y mejorar la conectividad de las comunidades en nuestro país.

2.1.1 DEFINICIÓN DE VIA NO PAVIMENTADA

Según la Ley del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) una vía o camino no pavimentado tiene la siguiente definición: “Camino Principal no Pavimentado; el cual conecta el municipio con la principal carretera pavimentada o municipios entre sí, así como otros tramos de prioridad nacional esenciales para el desarrollo agropecuario, turístico y económico del país”

La definición anterior es de carácter social y económico, así como también, hace un énfasis en la conectividad que representa dicho tipo de vías en la red vial de nuestro país.

Sin embargo, podemos citar otra definición relacionada más desde el punto de vista ingenieril.

Una vía no pavimentada es un camino con una capa de rodadura conformada por una estructura de agregados pétreos o material granular. En general, los materiales de conformados o simplemente conformados están constituidos por agregados pétreos naturales provenientes de canteras o de excedentes de excavaciones (gravas, cantos rodados, etc.) y donde los materiales que la componen se ajustan a determinadas especificaciones técnicas en relación con su tamaño, su composición granulométrica, su resistencia y su calidad de finos. En general, el espesor de la capa de conformado varía entre 10 y 20 cm, con un valor predominante de 15 cm.

2.1.2 UTILIZACION DE VÍAS NO PAVIMENTADAS EN EL SALVADOR

A manera de ejemplo se puede decir que las vías no pavimentadas en la actualidad son utilizadas por vehículos de doble tracción, bicicletas, etc. Alcanzando velocidades muy bajas debido al alto grado de deterioro que presentan, sin mencionar la dificultad de transitar por ellas en la época lluviosa.

En El Salvador los caminos no pavimentados representan un buen porcentaje (60%) del total de la red vial nacional existente, de los cuales la mayoría pertenecen a comunidades rurales, generando así la necesidad de buscar alternativas que mejoren las condiciones actuales para el beneficio de la población. La infraestructura vial en el sector Rural es así, un factor determinante de acceso a los mercados de bienes capitales, recurso humano y financiero, así como de acceso a la tecnología e información.

2.1.3 GENERALIDADES SOBRE LOS SUELOS

2.1.3.1 DEFINICIÓN DE SUELO

Se define en ingeniería como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos, producto de la desintegración mecánica o la descomposición química de rocas preexistentes, estas pueden acumularse o ser transportadas y depositadas en otros sitios.

2.1.3.2 COMPOSICIÓN DE LOS SUELOS

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

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



Figura 2.1 Composición de los suelos

FUENTE: Curso de Especialización “Suelos: Origen, Composición y Propiedades”,

2.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Un sistema de clasificación de suelos es un ordenamiento de los diferentes suelos en grupos que tienen características y propiedades similares, con el propósito de facilitar al ingeniero un método para estimar las propiedades o aptitudes de un suelo.

2.1.4.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS EN BASE A NORMA AASHTO M-145

De acuerdo con el tamaño de las partículas que forman los suelos, la norma AASHTO M-145, los clasifica de la siguiente manera:

- a) Grava: de un tamaño menor a 76.2mm (3") hasta el tamiz No 10 (2mm).
- b) Arena Gruesa: de un tamaño menor a 2mm hasta el tamiz No 40 (0.425mm).
- c) Arena Fina: de un tamaño menor a 0.425mm hasta el tamiz No 200 (0.075mm).
- d) Limos y Arcillas: tamaños menores de 0.075mm.

Este sistema es básicamente un sistema de clasificación de los diferentes tipos de suelos en 7 grupos, cada uno de estos grupos está determinado por ensayos de laboratorio, granulometría, límite líquido e índice de plasticidad.

Estos ensayos determinan el “**Índice de Grupo**”, número que clasifica a cada suelo, el cual está determinado por la siguiente fórmula empírica:

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

Donde:

IG : Índice de Grupo (Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0)

- F** : Porcentaje que pasa por 0.08 mm, expresado en números enteros basado solamente en el material que pasa por 80 mm.
- LL** : Límite Líquido
- IP** : Índice de Plasticidad

Los grupos están designados desde el A-1 hasta A-7, como se presenta en la tabla 2.1:

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm						SUELOS FINOS Mas del 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo De Clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
% que pasa por el tamiz de: 2 mm (N° 10) 0.0425 mm (N° 40) 0.075 mm (N° 200)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	---- 50 máx. 25 máx.	---- 51 mín. 10 máx.	---- ---- 35 máx.	---- ---- 35 máx.	---- ---- 35 máx.	---- ---- 35 máx.	---- 36 mín.	---- 36 mín.	---- 36 mín.	---- 36 mín.
Características de fracción que pasa el tamiz N° 40 Limite Líquido Índice de Plasticidad	---- 6 máx.		---- NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Tipos de Materiales Característicos	Piedras, Grava y Arena		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Estimación General del Suelo	Excelente a Bueno						Regular a Malo				

Si el IP del suelo es $\leq LL - 30$ el suelo es un A-7-5. Si el IP del suelo es $\geq LL - 30$ el suelo es un A - 7 - 6

Tabla 2.1 “Especificación Estándar Para la Clasificación de Suelos y Mezclas de Suelo – Agregado para Fines de Construcción de Carreteras”

FUENTE: “Guía Básica de Estabilización de Suelos con Cal Para Caminos de Baja Intensidad Vehicular en El Salvador”

El suelo A-1, es un suelo de propiedades optimas para ser usado en las capas que conforman la estructura de un pavimento y en su orden ascendente de numeración, su comportamiento va decreciendo hasta llegar al suelo A-7, cuya aplicación en carreteras no es recomendable.

Descripción de los grupos y subgrupos contemplados en la norma AASHTO M145:

➤ **Materiales Granulares.**

- A-1 Son suelos bien graduados de tamaño grueso y fino, con un débil aglomerante plástico.
 - A-1-a En estos se incluyen materiales predominantes de fracción de rocas o grava, con o sin aglomerante.
 - A-1-b El material predominante es arena gruesa, con o sin un buen aglomerante. Algunos suelos del grupo A-1 carecen de finos, de manera que deberá agregar cierta cantidad de finos para formar una sub-base de buena calidad.
- A-2 Estos se componen por una amplia porción de materiales granulares que no pueden clasificarse en el grupo A-1 por su contenido de finos y plasticidad. Contienen materiales granulares con cantidades considerables de arcillas, los suelos del grupo A-2 son inferiores a los del grupo A-1 debido a su menor graduación y menos aglomerantes. En periodo seco los suelos A-2 son muy estables como superficie de rodamiento, pero esto depende de la clase de aglomerante, sin embargo en periodos húmedos se pueden ablandar y en periodos secos se pueden disgregar y formar polvaredas.
 - A-2-4 y A-2-5 Incluyen diversos materiales granulares que contienen un 35 por ciento máximo de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No 200)
 - A-2-6 y A-2-7 Incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que la porción fina suelo cuenta con arcilla plástica de características similares a los grupos A-6 o A-7.

- A-3 Estos suelos están compuestos de arenas deficientes en aglomerantes, como la arena de las playas. Se encuentran a menudo y son muy inestables excepto cuando están húmedos. Cuando se encuentran confinados son apropiados como bases para cualquier tipo de pavimentos.

➤ **Materiales Limo- Arcillosos.**

- A-4 Son suelos muy comunes, predominan los limos con ligeros porcentajes de material grueso y pequeñas cantidades de arcilla.
- A-5 Estos suelos se encuentran en muy pocas ocasiones, son muy parecidos a los del grupo A-4, excepto porque contienen mica y diátomas que los vuelven muy elásticos e inestables aun en estado seco, lo que los hace tenaces a la compactación.
- A-6 El típico material de este grupo es un suelo arcilloso plástico, que tienen el 35 por ciento o más de material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No 200). Los materiales de este grupo suelen tener gran cambio volumétrico, cuando se tiene presencia de humedades altas en el suelo, debido a la presencia de arcillas.
- A-7 Estos suelos están compuestos principalmente de arcilla como son los del grupo A-6, pero se diferencia de estos por la presencia de partículas uniformes de limo, materia orgánica y mica, lo que los hace muy elásticos.
 - A-7-5 Estos suelos del grupo A-7 tienen índices de plasticidad moderados en relación con límites líquidos, y pueden ser elásticos y expansivos.
 - A-7-6 Son suelos expansivos con altos índices de plasticidad en relación a los límites líquidos.

2.1.4.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS (ASTM D 2487)

Este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos.

Esta clasificación divide los suelos en:

- Suelos de grano grueso.
- Suelos de grano fino.
- Suelos orgánicos.

Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No. 200.

Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo.

Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

Suelos gruesos. Se dividen en gravas y arena, y se separan con el tamiz No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50% retiene el tamiz No. 4 y pertenecerá al grupo arena en caso contrario.

Suelos finos. El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas y limos y arcillas orgánicas (O).

Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $Ll = 50\%$.

Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (low compressibility).

Si es mayor de 50 se añade la letra H (high compressibility). Obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

- ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad.
- OL: Limos y arcillas orgánicas.
- CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.
- CH. Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.
- MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.
- OH: arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad.

En la Tabla 2.2 se describe el significado de los grupos y siglas de la representación SUCS.

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio				Clasificación de Suelos	
				Símbolo de Grupo	Nombre del Grupo
Suelos de Partículas Gruesas. Mas del 50% es retenido en la malla No. 200	GRAVAS. Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas Limpias. Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava Bien Graduada
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava Mal Graduada
		Gravas con Finos. Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava Limosa
			$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava Arcillosa
		Gravas Limpias y con Finos. Entre el 5 y 12% pasa la malla No. 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien Graduada con Limo
			Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien Graduada con Arcilla
	Cumple los criterios para GP y GM		GP-GM	Grava mal Graduada con Limo	
	Cumple los criterios para GP y GC		GP-GC	Grava mal Graduada con Arcilla	
	ARENAS. El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas Limpias. Menos del 5% pasa la malla No 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena Bien Graduada
			$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena Mal Graduada
		Arenas con Finos. Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena Limosa
			$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena Arcillosa
		Arenas Limpias y con Finos. Entre el 5 y 12% pasa la malla No. 200	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien Graduada con Limo
			Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien Graduada con Arcilla
Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM		Arena mal Graduada con Limo		
Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC		Arena mal Graduada con Arcilla		
Suelos de Partículas Finas. El 50% o mas pasa la malla No. 200	Limos y Arcillas. LL<50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se gráfica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
			$IP < 4$ y se gráfica en la carta de plasticidad debajo de la línea "A"	ML	Limo de Baja Plasticidad
	Orgánicos	< 0.75	Limite Liquido – Secado al Horno	OL	Arcilla Orgánica
			Limite Liquido – No Secado		Limo Orgánico
	Limos y Arcillas. LL>50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se gráfica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
			$IP < 4$ y se gráfica en la carta de plasticidad debajo de la línea "A"	MH	Limo de Alta Plasticidad
Orgánicos		< 0.75	Limite Liquido – Secado al Horno	OH	Arcilla Orgánica
			Limite Liquido – No Secado		Limo Orgánico
Suelos Altamente Orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro			PT	Turba

El sistema Unificado de clasificación de suelos, utiliza como identificación los siguientes símbolos:

Símbolo	G	S	M	C	O	PT	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos o Arcillas Orgánicas	Turba y Suelos Altamente Orgánicos	Alta Plasticidad	Baja Plasticidad	Bien Graduado	Mal Graduado

Tabla 2.2 Clasificación de suelos según ASTM D 2487

FUENTE: Ing. Blanco Rodríguez, Marvin; "Clasificación Unificada de Suelos"

- ✓ Fracción Gruesa (FG)= 100% menos lo que pasa el tamiz No. 200.
- ✓ Para que el suelo sea una grava debe cumplirse lo siguiente: Retiene el tamiz No. 4 $> \frac{1}{2}$ FG
- ✓ Retiene el tamiz No. 4: 100 menos lo que pasa el tamiz No. 4
- ✓ Para que el suelo sea una arena debe cumplirse lo siguiente: Retiene el tamiz No. 4 $< \frac{1}{2}$ FG
- ✓ Las gravas con 5 a 12% de finos requieren el uso de símbolos dobles: GW-GM grava bien graduada con limo; GW-GC grava bien graduada con arcilla; GP-GM grava mal graduada con limo; GP-GC grava mal graduada con arcilla.
- ✓ Las arenas con 5 a 12% de finos requieren el uso de símbolos dobles: SW-SM arenas bien graduada con limo; SW-SC arenas bien graduada con arcilla; SP-SM arena mal graduada con limo; SP-SC arena mal graduada con arcilla.
- ✓ $C_u = D_{60}/D_{10}$ $C_c = D_{30}^2/D_{60} \cdot D_{10}$. C_u : Coeficiente de uniformidad. C_c : Coeficiente de curvatura.
- ✓ Si los límites de Atterberg se sitúan en el área sombreada de la carta de plasticidad, el suelo es una arcilla limosa CL-ML.
- ✓ Si el suelo contiene 15% de arena, añade “con arena” al nombre del grupo.
- ✓ Si el suelo contiene 15% de grava añade “con grava” al nombre del grupo.
- ✓ Si el suelo contiene 15 a 29% mayor de la malla No. 200 añade “con arena” o “con grava”, el que sea predominante.
- ✓ Si el suelo contiene 30% mayor de la malla No. 200, predominantemente arena, añade “arenoso” al nombre del grupo.
- ✓ Si el suelo contiene 30% mayor de la malla No. 200, predominantemente grava, añade “gravoso” al nombre del grupo.

2.1.4.3 RELACIÓN ENTRE LAS NORMAS AASHTO M 145; ASTM D 2487 Y LA CAPACIDAD PORTANTE (CBR).

En la Tabla 2.3 se presenta la clasificación de suelos según AASHTO M-145 y su correlación con la clasificación de suelos SUCS (ASTM D 2487) y la capacidad portante CBR.

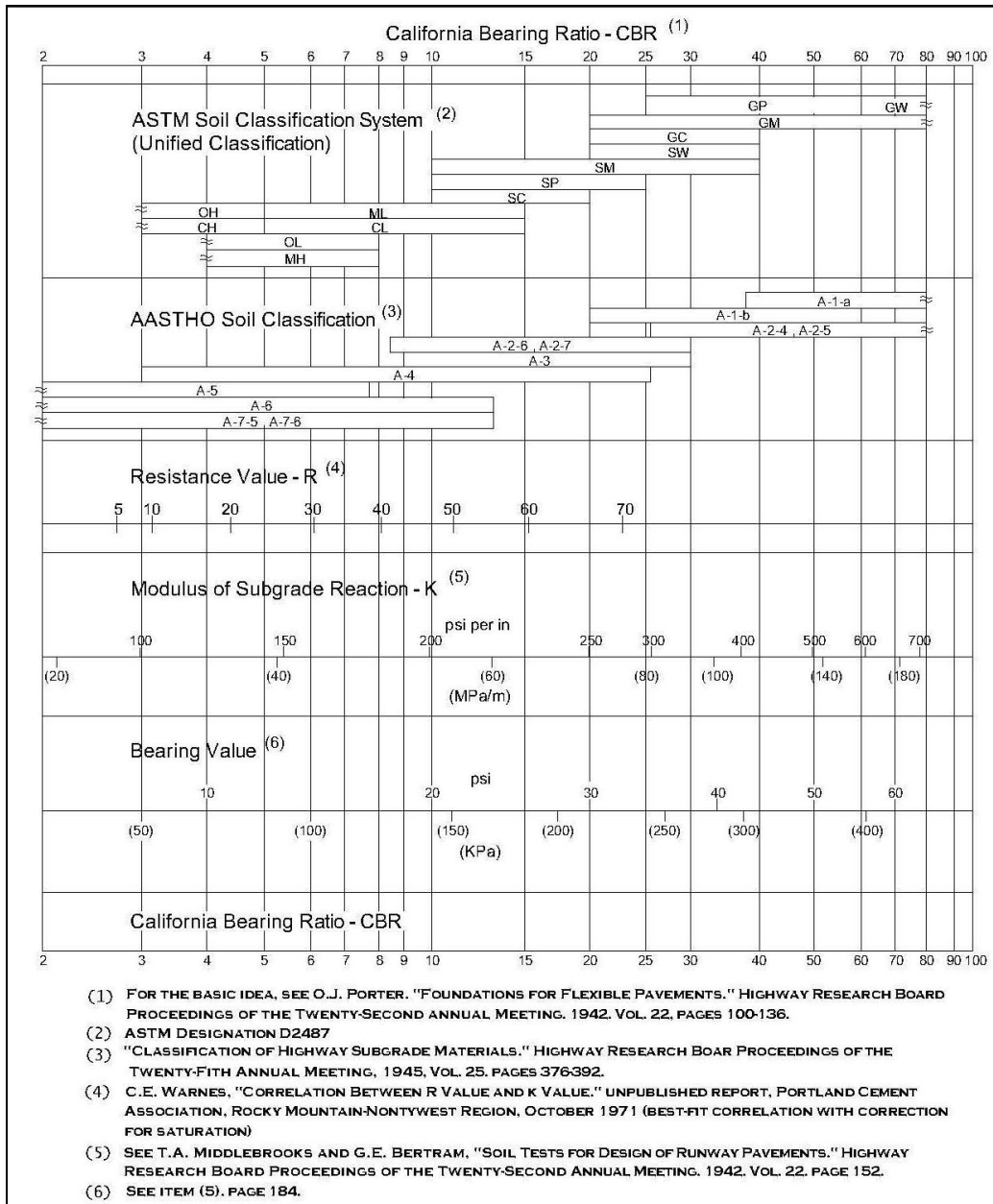


Tabla 2.3 Correlación entre AASHTO M-145, clasificación SUCS y CBR

FUENTE: Portland Cement Association's; "PCA Soil Primer".

2.1.4.4 ENSAYOS UTILIZADOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS

En el proyecto de ejecución de una carretera, un edificio, o cualquier otra obra relacionada con la construcción, tiene gran importancia el conocimiento del suelo sobre el que vamos a cimentar. En primer lugar debemos identificar el tipo de suelo. Aunque un simple examen visual nos permita determinarlo con cierta aproximación, se debe completar la descripción con un examen granulométrico y una determinación de los límites líquido y plástico. El suelo está compuesto de partículas de dimensiones variables. El Análisis Granulométrico nos permite estudiar el tamaño de estas partículas y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que representen. Este tipo de análisis se realiza por tamizado, o por sedimentación cuando el tamaño de las partículas es muy pequeño (por debajo de los 0.08 mm, tamiz No 200 según ASTM E-11), según esto nos podemos encontrar con elementos gruesos, gravas, arenas, limos y arcillas.

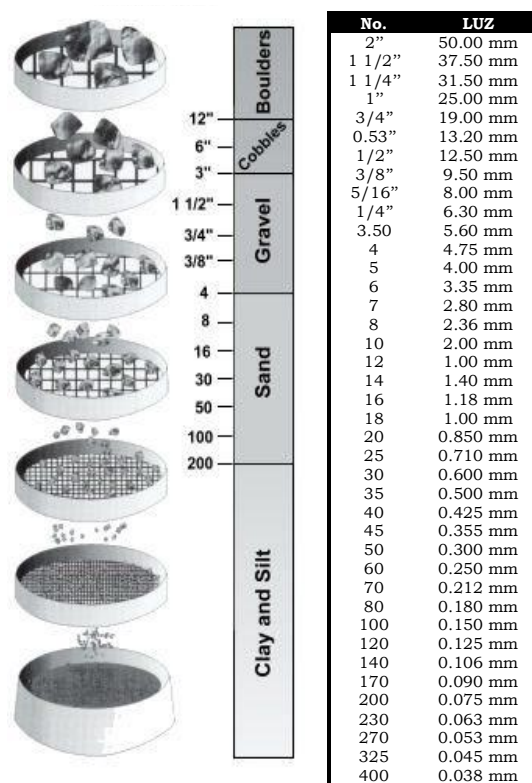


Figura 2.2 Prueba de Tamices

FUENTE: Norma ASTM E-11

Si bien un análisis granulométrico es suficiente para gravas y arenas, cuando se trata de arcillas y limos, turbas y margas se debe completar el estudio con ensayos que definan la plasticidad del material.

Los límites de líquido y plástico definen los contenidos de agua característicos para los que una arcilla determinada, triturada, alcanza diferentes estados de consistencia relativa (Ver figura 2.3) y se expresan de la siguiente manera:

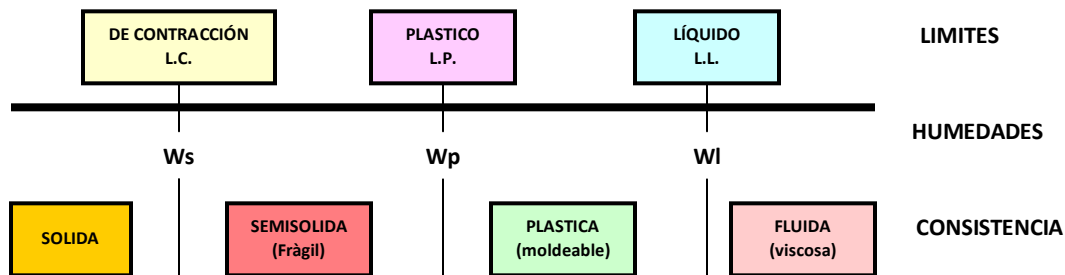


Figura 2.3 Límites de Atterberg

FUENTE: Artículo de CONSTRUMATICA; "Ensayo de Suelos"

- Límite líquido, LL: es el contenido de agua de una pasta arcillosa por encima del cual pasa del estado plástico al estado líquido.
- Límite plástico, LP: es el contenido de agua de una pasta amasada por debajo del cual pasa del estado plástico al estado semisólido.
- Límite de Contracción, LC: representa el contenido de agua de una pasta amasada por debajo del cual pasa del estado semisólido al sólido. Es poco utilizado. El contenido de agua se expresa como el contenido de agua natural de la muestra inalterada en % del peso seco (w (%)).
- Índice plástico, IP: Es la diferencia entre los límites líquido y plástico. $IP = LL - LP$.

2.1.5 PARÁMETROS DE ESTADO DEL SUELO

Estos parámetros no son propios de las características del suelo sino de las condiciones ambientales en que se encuentran. Para los suelos sensibles al agua, el parámetro de estado que determina todas las condiciones de los rellenos, terraplenes y explanadas en las redes viales es el Estado Hídrico.

Su determinación no puede hacerse exclusivamente con el cálculo del contenido en agua natural, sino que es necesario relacionarlo con el contenido de agua específico de suelo al que le corresponde un comportamiento particular. El método más corriente para indicar el estado hídrico de un suelo es referirse a los valores de los ensayos Proctor y CBR, realizados sobre cada suelo o clase de suelo a estudiar.

2.1.5.1 RESISTENCIA MECÁNICA

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

En la época húmeda (invierno) los suelos se vuelven débiles, ya que el agua que absorben los hace perder resistencia hasta llegar a la saturación. En la época seca (verano) pierden humedad y se vuelven muy duros o muy resistentes pero en la superficie donde los vehículos circulan, la acción abrasiva de las llantas hace que se genere la soltura de las partículas de suelo abundantemente para producir capas de polvo, con lo cual el deterioro superficial llega a ser severo

2.1.5.2 COMPACTACIÓN (ENSAYO PRÓCTOR, ASTM D698; D1557 Y AASHTO T99, T180)

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

2.1.5.3 CAPACIDAD PORTANTE (ENSAYO CBR ASTM D1883 Y AASHTO T193)

El ensayo CBR (California Bearing Ratio), consiste en medir la resistencia al punzonamiento de un suelo sobre las probetas confeccionadas por el procedimiento del ensayo próctor y comparar los valores obtenidos con un valor de referencia patrón.

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

2.1.5.4 MODULO DE RESILIENCIA (AASHTO T294-92 I)

Cuando un vehículo circula sobre el pavimento, los neumáticos transmiten cargas que son adsorbidas por la estructura, entonces un elemento diferencial de suelo ubicado en la sub rasante, estará sometido a esfuerzos que a su vez inducen un estado de deformaciones, tal como se muestra en la figura 2.4.

Si se considera al material de sub rasante, con un comportamiento elástico, isotrópico y homogéneo, hipótesis básica de la mecánica de los suelos, los esfuerzos y las deformaciones se relacionaran con el modulo de elasticidad y la relación de Poisson, propios del material.

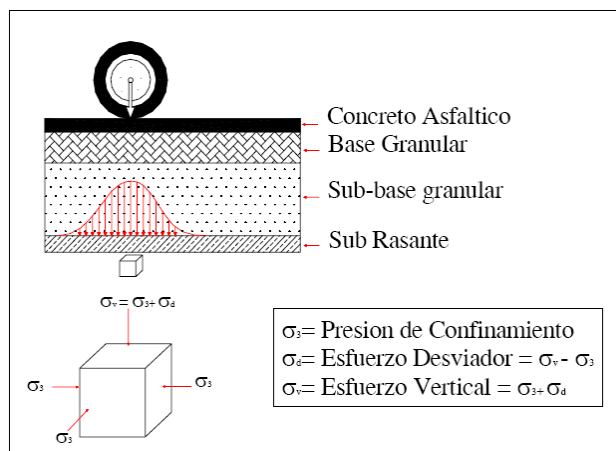


Figura 2.4 Estados de esfuerzos provocados en la subrasante por el paso de un vehiculo en movimiento
FUENTE: XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil – Iquitos 2003 (Perú); “Ensayo de Modulo Resiliente”

El Módulo de Resiliencia es el parámetro utilizado para representar las propiedades de los suelos de la subrasante en el diseño de pavimentos, se obtiene a través de un proceso de laboratorio. Ya que en nuestro país no existe experiencia ni equipo suficiente, el valor del Módulo Resiliente se relaciona con el valor de CBR. Ante estas dudas se recurre a las siguientes relaciones:

Módulo Resiliente	Relación
2 % < CBR < 12 %	
MR (Kg. / cm.2)	$180 * CBR^{0.64}$
MR (Mpa.)	$17.6 * CBR^{0.64}$
12 % < CBR < 80 %	
MR (Kg. / cm.2)	$225 * CBR^{0.55}$
MR (Mpa.)	$22.1 * CBR^{0.55}$

Tabla 2.4 Relación entre el Módulo de Resiliencia y el CBR.

Fuente: “Temario de Diseño de Pavimentos Flexibles, Grupo Obras Viales, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Construcción.”

2.2 TIPOS DE SUPERFICIE DE RODADURA DE UNA VIA NO PAVIMENTADA.

Generalmente, para Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, se considera básicamente que se utilizan los siguientes materiales y tipos de superficie de rodadura:

- a) Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.
- b) Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.
- c) Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm.
- d) Carreteras con superficie de rodadura estabilizada con materiales como: asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.

A continuación se describe el tipo de superficie de rodadura para vías no pavimentadas más usado en nuestro país (Balasto), así como también las generalidades de las diversas estabilizaciones que se utilizaron en los tramos de prueba ejecutados sobre la ruta CUS18N / Suchitoto – Dv. CUS11N.

2.2.1 BALASTO

A continuación se detallará la definición de balasto, así como también las características y propiedades que corresponden a dicho material.

2.2.1.1 DEFINICIÓN DE BALASTO

Es un material clasificado que se coloca sobre la sub rasante terminada de una vía no pavimentada, con el objeto de protegerla y que sirva de superficie de rodadura. Esta capa está destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito, de tal manera que el suelo por debajo de la sub rasante las pueda soportar.

El trabajo incluye la limpieza del banco de préstamo, obtención, explotación, acarreo, nivelación de la superficie existente donde se colocará, colocación, homogenización o mezcla, conformación, humedecimiento, compactación y afinamiento de la superficie de rodadura incluyendo cunetas de acuerdo a la sección típica definida.

2.2.1.3 PROPIEDADES DEL BALASTO

- a) **Estabilidad:** Es la propiedad física-química y mecánica que evita cambios significativos en el material al ser sometido a cargas producidas por el tránsito vehicular.
- b) **Durabilidad:** Es la propiedad del balasto, mediante la cual se garantiza la duración de la capa de rodadura en un período de tiempo.

- c) **Flexibilidad:** Es la propiedad de adaptarse convenientemente a la superficie de la sub rasante y a los cambios provocados por el tránsito vehicular.
- d) **Resistencia a la fatiga:** La resistencia a la fatiga del balasto, consiste en la capacidad de resistir el desgaste y posterior ruptura de éste. La fatiga del balasto, tiene que ver más que nada, con las cargas provocadas (en este caso) por el tráfico vehicular al cual está sometido.

La fatiga depende de una serie de factores. Además de la composición, estado y procedimiento de obtención del material, hay que considerar la clase y frecuencia de las sollicitaciones y, especialmente, la configuración de los elementos constructivos (distribución de fuerzas, tensiones, compresiones y flexiones máximas, superficie)

- e) **Impermeabilidad:** La capa de balasto debe poseer esta propiedad, de evitar transmitir el agua a la capa de la sub rasante.
- f) **Trabajabilidad:** Capacidad de ser trabajable, es decir, el material debe permitir ser homogeneizado, humedecido, mezclado, conformado y compactado.

2.2.1.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

a) **Materiales.**

El balasto debe ser de calidad uniforme, no podrá contener sustancias vegetales, material perjudicial o extraño. El material de balasto debe tener un peso unitario suelto, no menor de 1,450 Kg/m³ determinado por el método AASHTO T-19.

El tamaño máximo del agregado grueso del balasto, no debe exceder de 3 pulgadas ni de la mitad del espesor colocado y compactado. La granulometría del balasto deberá cumplir con los requerimientos indicados en la Tabla 2.4.

GRANULOMETRÍA DEL BALASTO	
TAMIZ	% QUE PASA
75 mm (3")	100
50 mm (2")	90 – 100
No 4 (4.75 mm)	30 – 70
No 200 (0.075 mm)	8 – 15

Tabla 2.5 Requerimientos Granulométricos del Balasto

FUENTE: Condiciones Técnicas para Vías No Pavimentadas del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

Además, debe tener un porcentaje de desgaste no mayor de 60, determinado por el método AASHTO T-96; la porción que pase el tamiz No. 40 (0.425 mm), debe tener un límite líquido no mayor de 35, determinado por AASHTO T-89 y un índice de plasticidad entre 5 y 11, determinado por el método AASHTO T-90. La separación de partículas de tamaño mayor de tres pulgadas (3") puede ser efectuada mediante procedimientos manuales durante la colocación en el sitio de trabajo.

b) Procedimiento de Ejecución.

La conformación de la superficie de rodadura, se ejecutará acomodándose a las dimensiones de la sección existente de la carretera respetándose los alineamientos y pendientes existentes.

Se debe nivelar la superficie existente donde se colocará el balasto, teniendo en cuenta que la nivelación no se hará en los tramos donde se considere inconveniente o no sea factible por las condiciones de la superficie de rodadura o del terreno.

Una vez realizada la nivelación, todas las partículas mayores de 75 mm (3") existentes en el material suelto debe ser retirado o triturado y reincorporado. De existir zonas de inestabilidad en la sección de la carretera, producidos por materiales inestables, deben estabilizarse de acuerdo a lo establecido en la especificación de la actividad respectiva.

Previo a la compactación, el balasto se debe humedecer, mezclar, conformar, afinar, de tal modo que se proporcione el bombeo necesario para permitir el adecuado drenaje transversal, pero sin llegar a pendientes extremas que comprometan la comodidad y seguridad de los usuarios de la vía. Los rangos recomendados deben variar entre tres y seis por ciento (3 % -6 %.).

Durante el proceso de compactación se utilizará el equipo adecuado hasta obtener una densidad mínima del 95 % del peso volumétrico seco máximo según AASHTO T-180.

Se debe controlar el contenido de humedad adecuado del material, por medio de ensayos de laboratorio y campo, secando el material, a efecto de obtener la compactación especificada. La capa debe ser nivelada con motoniveladora para asegurar una rasante uniforme.

La compactación debe comenzar en los bordes, avanzando hacia el centro de la carretera y debe continuar hasta que toda la capa quede compactada en todo su ancho y espesor, con la densidad señalada anteriormente.

Durante el proceso y hasta completar la superficie de rodadura, se debe mantener la superficie de la carretera libre de estancamiento de agua. Las labores involucradas en la ejecución de esta actividad se deben hacer sin causar daño a los muros de los cabezales de entrada o de salida así como a la tubería de la alcantarilla o cualquier elemento presente y de carácter necesario

para el adecuado funcionamiento de la estructura, de producirse algún daño a estos elementos se deberá ejecutar su correspondiente reparación.

Actividad o Material	Característica	AASHTO	ASTM	Frecuencia Mínima	Valor Mínimo	Valor Máximo	Punto de Muestreo
Reposición de Capa de Balasto	Granulometría	T-11, T-27		Una muestra cada 1000 m ³	Según Requerimiento		Después de mezclado
	Límites de Atterberg	T-89 y T-90	D-4318	Una muestra cada 1000 m ³	N/A	LL≤35% o IP entre 5 y 11	Del acopio
	Peso Unitario Suelto	T-19	C-29	Una muestra cada 1000 m ³	1,450 kg/m ³	N/A	Del acopio
	Relación Densidad - Humedad	T-180		Una muestra cada 2000 m ³ , o cambio de material (banco)	N/A	N/A	Del acopio
	Densidad de Campo y Humedad (cono/densímetro nuclear)	T-191/T-310		Una muestra cada 150 ml, pero no menos de un muestreo por día si el tramo es menor	95% de T-180	100% de T-180	Cada capa compactada

Tabla 2.6 Tabla de Muestreos, Frecuencias y Tolerancias según Condiciones Técnicas del Fondo de Conservación Vial.

FUENTE: Condiciones Técnicas para Vías No Pavimentadas del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

2.2.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL

El tratamiento de suelos plásticos con cal permite el aprovechamiento del suelo in situ, evitando mayores costos y afecciones ambientales que supondría su retirada y posterior reemplazamiento por otros suelos de mejores características geotécnicas y mecánicas. En las vías de baja intensidad vehicular se dan fallas y dejan de ser operativas tras la caída de moderadas lluvias. Su tratamiento con cal garantiza su operatividad durante todo el año.

Dentro de este apartado, estudiaremos lo que es la Estabilización con Mezcla Suelo – Cal, sus características principales, propiedades de la mezcla y así los diferentes elementos esenciales que componen la aplicación de esta técnica de estabilización.

2.2.2.1 DEFINICIÓN DE CAL

Se obtiene de la piedra caliza o de la arcilla. Cuando sale del horno se le denomina cal viva. Puede ser hidráulica o no-hidráulica. La cal hidráulica tiene propiedades similares al cemento, fragua cuando se le añade el agua y desprende calor mientras se expande. La cal no-hidráulica se puede utilizar directamente, aunque se recomienda humedecerla 24 horas antes de iniciar el trabajo, para elaborar pasta de cal.

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. Otras veces el término “cal” es utilizado para referirse a los subproductos del proceso de fabricación de cal (como el polvo de horno de cal), que, aunque contienen alguna cal reactiva, generalmente sólo posee una fracción del óxido o el contenido de hidróxido del producto fabricado.

2.2.2.2 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FISICAS DE LA CAL

CARACTERISTICAS.

- a) **Finura.** Es una característica importante en la medida que interviene en las condiciones de almacenamiento, transporte y mezcla con el suelo. La hidratación de la cal viva con el agua produce la cal hidratada lo que lleva, además, una auto pulverización muy fina, incluso micronizada del producto. Además la finura puede intervenir en la reactividad de la cal.

PROPIEDADES.

- a) **Color.** Las cales comerciales tienen color blanco o débilmente gris, a veces un color rojizo debido al óxido de hierro que se encuentra en el yacimiento.
- b) **Densidad.** Esta propiedad depende de la temperatura de calcinación, cuando más alta es la temperatura de calcinación mayor será la densidad de la cal viva.
- c) **Dureza.** La dureza de las cales varía entre muy blandas y una dureza que se aproxima a la de la piedra original de donde se obtuvo, la dureza de la cal viva dependerá de la temperatura de calcinación.
- d) **Porosidad.** Depende del origen de la caliza y de las condiciones en que se lleve a cabo la calcinación. La porosidad en la cal viva es importante porque influye en la actividad química de la sustancia.
- e) **Plasticidad.** Es una propiedad física importante, la cual se define como la capacidad que posee una masa de cal para cambiar su forma cuando esta es sometida a presión sin que se produzca la ruptura y para mantener la forma alterada.

2.2.2.3 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES QUIMICAS DE LA CAL

CARACTERISTICAS.

- a) **El contenido en oxido de calcio (CaO).** Es el componente fundamental de la cal. Puede estar, en forma de oxido CaO en las cales vivas, en forma de hidróxido Ca (OH)₂ en la cal hidratada.
- b) **El contenido en oxido de magnesio (MgO).** Es igualmente interesante, ya que el oxido de magnesio (MgO) posee en general una acción análoga a la del oxido de calcio (CaO). De igual manera puede estar en forma de óxido (MgO), o como hidróxido (Mg (OH)₂).
- c) **Reactividad de la cal viva.** Indica la velocidad o cinética de la reacción de hidratación. Es función de las características físicas y químicas del producto y depende de la porosidad de la cal, del grado de calcinación, de la materia prima (caliza) utilizada y de la finura de la cal en el momento del ensayo. El ensayo mas empleado y conocido se basa en el carácter exotérmico de la reacción entre el CaO y el H₂O, otros componentes minoritarios de las cales son lo carbonatos cálcico y magnesio que se evalúan mediante el contenido de CO₂ de las cales.

PROPIEDADES.

- a) **Impureza.** La composición química y las propiedades de la cal, depende de la naturaleza y cantidad de impureza de la piedra original.
- b) **Reacción de la cal con agua.** La cal viva reacciona vigorosamente con el agua formando hidróxido de calcio y hay desprendimiento de calor; a este proceso se le conoce como hidratación o apagado de la cal. Utilizando la cantidad de agua exacta necesaria para la hidratación, se obtiene cal hidratada.

- c) **Recarbonatación.** La humedad del aire cataliza la reacción entre el óxido de calcio y el dióxido de carbono del aire. La reacción general se produce mediante la formación del hidróxido de calcio que luego reacciona con el dióxido de carbono.

2.2.2.4 ACCIÓN DE LA CAL SOBRE SUELOS PLÁSTICOS

Los efectos de la cal sobre los suelos arcillosos pueden ser divididos en dos grupos principales:

1. Debido a reacciones rápidas (minutos/horas); es una estabilización por modificación.
2. Provenientes de reacciones a largo plazo (semanas/meses); es una estabilización por cementación.

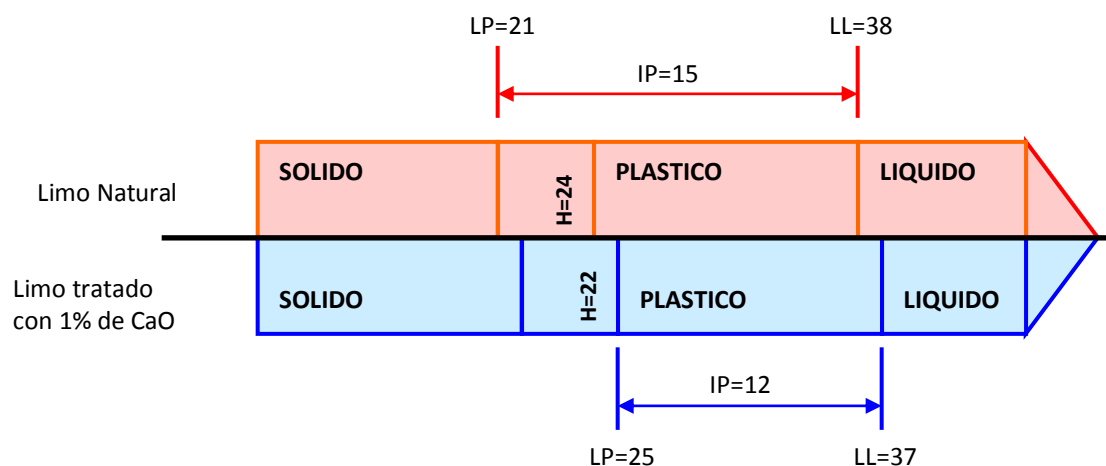


Figura 2.5 Acción de la cal sobre los límites de Atterberg

FUENTE: Universidad Nacional de Córdoba; Tesis "Relación entre las propiedades geotécnicas y los componentes puzolánicos de los sedimentos pampeanos"

Como consecuencia de los anteriores efectos, la acción de la cal produce un notable incremento de la resistencia y rigidez del suelo que pierde plasticidad.

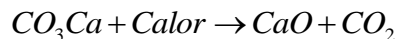
La permeabilidad del suelo, que inmediatamente después del tratamiento podría ser considerado como un árido maleable que va cementando progresivamente con el tiempo, aumenta considerablemente a corto plazo, pero progresivamente decrece a medida que van teniendo lugar las reacciones de cementación y, por tanto, se reduce la susceptibilidad al agua en gran manera, lo que es puesto en evidencia por la disminución Índice de Plasticidad y de la retracción e hinchamiento del suelo.

2.2.2.5 CALES UTILIZADAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Las cales utilizadas en la estabilización de suelos son Cales Aéreas. Estas presentan las siguientes formas:

a) CALES VIVAS

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



Se comercializan en grano (diferentes granulometrías) o molidas, incluso micronizadas. En contacto con el agua se hidratan siendo la reacción fuertemente exotérmica.

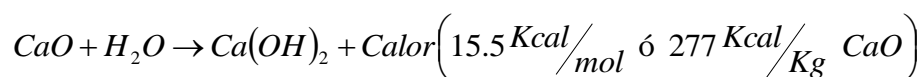
Cuando se utilizan calizas que también contienen en su composición carbonato de magnesio, una vez calcinadas se obtienen a la vez óxidos de calcio y de magnesio.

Si el porcentaje de óxido de magnesio es > 5 %, la cal se denomina “cal dolomítica o dolomía calcinada” (hay que tener en cuenta en la estabilización

de suelos, que la hidratación de la cal dolomítica es más lenta que el de la cal viva con porcentaje de óxido de magnesio < 5 %).

b) CALES HIDRATADAS

Son cales aéreas que se componen principalmente de hidróxido de calcio. Proviene de la hidratación controlada de cales vivas.



Este tipo de cal presenta menor reacción exotérmica que la cal viva al entrar en contacto con el agua.

c) CAL EN FORMA DE LECHADA

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

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

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

La lechada de cal puede ser preparada en la fábrica o in situ, en depósitos o cubos equipados de un sistema de agitación, a partir de cal viva o de cal hidratada. Una vez preparada la misma, esta se aplica directamente sobre el suelo.

2.2.2.6 PROPIEDADES DE LA MEZCLA SUELO + CAL

Las mezclas suelo-cal sufren una serie de modificaciones en sus propiedades índices, las cuales se mejoran y hacen que el suelo se comporte de diferente manera al suelo natural, estas modificaciones se dan con más frecuencia en las siguientes propiedades:

- Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
- Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
- Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
- La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
- Incremento de la resistencia a la comprensión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
- Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
- Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
- Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.

La experiencia ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:

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

- a) **Granulometría.** Los suelos con gran proporción de partículas finas, con plasticidad alta, son más sensibles a la adición de cal que los suelos compuestos de arenas y limos, debido a la floculación de las partículas finas y su aglutinación posterior, lo que hace en algunos casos que pasados algunos días de hecha la mezcla, el análisis granulométrico del suelo, presente un incremento notable de arena fina y limo, así como una reducción en los tamaños que pasan por el tamiz N° 200.
- b) **Plasticidad.** La adición de cal eleva el límite plástico de los suelos y reduce el límite líquido, principalmente en suelos muy plásticos, y puede tener el efecto contrario en los suelos de menor plasticidad.

2.2.2.7 DISEÑO DE LA MEZCLA SUELO + CAL

El primer paso será identificar completamente las características de los suelos a emplear para decidir si su estabilización con cal es la solución más recomendable.

En este sentido, los ensayos a realizar serán las siguientes:

- **Ensayos de identificación de suelos:** Para clasificación de suelos; hinchamiento, humedad natural, contenido de sulfatos solubles, carbonatos, materia orgánica, etc.
- **Ensayos de comportamiento:** Son el de la Compactación (Proctor Normal o Modificado) y la Capacidad portante (CBR y/o Resistencia a Compresión Simple).

En función de los resultados de estos ensayos y de los objetivos a conseguir, se valorará la aptitud de los suelos a su tratamiento con cal. A este respecto, cabe

decir que el tratamiento con cal será más beneficioso para un suelo cuanto mayor sea su proporción de finos y su plasticidad.

En general, puede decirse que aquellos suelos con un porcentaje de finos superiores al 5 por ciento en masa (Tamiz 0.063) y/o un Índice de Plasticidad igual o superior a 10, son susceptibles de mejorar sus propiedades por acción de la cal.

Una vez considerado que el suelo es apto para su tratamiento con cal, se pasa a determinar la fórmula de trabajo para la mezcla suelo-cal que permita conseguir los objetivos propuestos.

En el caso de los tratamientos con cal, sus aplicaciones son muy variadas, por lo que no hay una metodología única para su dosificación. Siempre hay que tener en cuenta los siguientes principios o conceptos:

- En primer lugar, el porcentaje necesario de cal dependerá de cuáles son los objetivos: secado, modificación o estabilización. En determinados casos se buscarán varios de estos objetivos a la vez y, por lo tanto, habrá que diseñar la fórmula de trabajo que logre alcanzarlos. Dicho porcentaje siempre debe especificarse sobre masa de suelo seco.
- En segundo lugar, el porcentaje mínimo de cal dependerá de las exigencias para la capa tratada, en este caso para uso vial.

a) **Método usando el pH para estimar la proporción suelo-cal requerida para estabilización de suelos**

Este procedimiento proporciona los medios para estimar el requisito de la proporción del suelo-cal para la estabilización de un suelo plástico. Se realiza

en suelos que pasan el tamiz de 425 μm (No 40). La proporción óptima del suelo-cal para la estabilización de suelos plásticos, será aquella que brinde un mejoramiento en las características propias del suelo, determinadas principalmente por la resistencia a la compresión o el índice de plasticidad.

Se utiliza para determinar el porcentaje más bajo de la cal que genere un pH de 12.4 en un suelo a estabilizar.

Una serie de especímenes son preparados conteniendo un rango de porcentajes de cal en una muestra de suelo. Las medidas del pH se hacen en las mezclas de los especímenes en suspensión para determinar el contenido mínimo de la cal de la mezcla del suelo-cal para obtener un pH de por lo menos 12.4.

b) Determinación de valores de pH para mezcla suelo-cal utilizando papel tornasol

La utilización de la norma ASTM D-6276 para encontrar el porcentaje óptimo de cal, tal vez no sea bien conocida por muchos, la determinación del PH para la mezcla suelo – cal por medio del pape tornasol es un procedimiento que no está normado y su uso no debe tomarse como un estándar, solo puede ocuparse a nivel de chequeo en campo, por otro lado el papel no presenta un rango de colores con decimales y encontrar el valor de $\text{pH}=12.4$ sería mediante aproximaciones.

El procedimiento de preparación de las mezclas es el mismo que para la determinación del valor de pH regido bajo las especificaciones de la norma ASTM D 6276. El proceso para este ensayo se detalla a continuación:

Este tipo de papel viene en dos colores, el papel de color naranja se utiliza cuando el porcentaje de pH buscado se encontrará dentro del rango de 1 a 12, y el papel de color azul cuando se buscan pH de 12.5 a 14.

A continuación se presenta una guía muy útil del significado correspondiente a cada color.



Color de papel utilizado para encontrar valores de pH de 1 a 12, este papel cambiara de color según el pH que contenga la mezcla analizada, como se indica a continuación.



pH = 1



pH = 2



pH = 3



pH = 4



pH = 5



pH = 6



pH = 7



pH = 8



pH = 9



pH = 10



pH = 11



pH = 12



Color de papel utilizado para encontrar pH que están dentro de un rango de 12.5 a 14.



pH = 12.5



pH = 13



pH = 13.5



pH = 14

c) **Proceso alternativo utilizando los límites de Atterberg**

Un proceso alternativo y que al igual que el papel pH no está normado para la determinación de cal óptima en una estabilización, consiste en encontrar los límites de Atterberg y ver como baja la plasticidad en mezclas de suelo-cal.

El procedimiento es el mismo que para los límites de Atterberg comunes utilizando las normas AASHTO T-89 para límite líquido y AASHTO T-90 para límite de plasticidad e índice de plasticidad, con el único cambio de agregar porcentaje de cal en distintos porcentajes.

El valor óptimo de cal que estabiliza el suelo será aquel cuyo valor de IP tienda a cero.

2.2.2.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones técnicas en la construcción de estabilizados con Mezcla Suelo – Cal, en este caso serán basadas en las especificaciones existentes en nuestro país para las vías no pavimentadas, ya que el tramo de prueba estabilizado es el de una vía no pavimentada (de baja intensidad vehicular), por lo tanto se detallan a continuación:

a) Materiales.

Son los existentes en la sub-rasante o en la superficie de rodadura, o los provenientes de préstamo para una nueva sub-rasante o una nueva capa de superficie de rodadura.

Los requisitos de los suelos más susceptibles a ser estabilizados son los indicados en la tabla 2.7.

Estabilizador	IP	Pasa Tamiz 0.075 mm (N° 200)	Contenido de arcilla (< 0.005 mm)	Materia Orgánica
Con Cal	≥ 10%	> 25%	> 10% en peso	≤ 1.5% en peso

Tabla 2.7 Requisitos de los Suelos a Estabilizar

FUENTE: Condiciones Técnicas para Vías No Pavimentadas del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

La cantidad usual de cal para estabilizar suelos oscila entre 3% y 10% (% en peso). Todos los suelos clasificados como AASHTO A5, A6 y A7, y muchos suelos A-2-6 y A-2-7 son susceptibles a la estabilización con cal.

Todos los materiales a estabilizar, deben estar libres de materias vegetales, basuras y otros materiales perjudiciales y no deben contener partículas mayores a 75 mm (3”).

Materiales para estabilización de suelos plásticos:

- a) Cal viva. Debe cumplir con requisitos de AASHTO M216 (ASTM C977). Preferiblemente debe suministrarse en forma granular. Con 82 % de óxido de calcio disponible, según norma ASTM C25 inciso 28. Lo anterior será verificado en el certificado de calidad.
- b) Cal hidratada. De acuerdo con AASHTO M216 (ASTM C977). Con 65 % de óxido de calcio disponible, según norma ASTM C25 inciso 28. Lo anterior será verificado en el certificado de calidad.
- c) Lechada de cal. A base de cal viva o cal hidratada, con un contenido de sólidos secos no mayor de 35 % de la masa total de la lechada.

Materiales para curado

Agua: El agua a utilizar presentará características adecuadas para propósitos de construcción, su inspección será visual y deberá ser aprobada.

b) Proporcionamiento.

Se cumplirá con las resistencias a la compresión mínimas requeridas en la siguiente tabla.

Mezcla de Estabilización	Procedimiento de Prueba	Resistencia a la Compresión (Mínima)
Cal / Suelo	ASTM D 5102	7 kg/cm ² a la edad de 7 días

Tabla 2.8 Resistencia a la Compresión mínima requerida

FUENTE: Condiciones Técnicas para Vías No Pavimentadas del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

Para elaborar el diseño, será necesario realizar muestreos representativos de los tramos a estabilizar, con la finalidad de determinar la cantidad de cal necesaria para lograr la estabilización del suelo del lugar. El contenido de cal a emplear dependerá de los resultados de la prueba ASTM D-6276. El pH de la mezcla suelo-cal debe ser ≥ 12.4 .

c) Procedimientos de Ejecución.

- **Tendido y conformación.**

La conformación de la superficie de rodadura o de la subrasante se ejecutará acomodándose a las dimensiones de la sección existente en la carretera respetando los alineamientos y pendientes existentes de rodadura, respetando las nuevas secciones transversales indicadas en los planos o Disposiciones Especiales.

Los materiales externos para una nueva subrasante o nueva capa de superficie deben colocarse de conformidad con el espesor especificado, ya sea por volteo en pilas o por camellones con un equipo esparcidor aprobado. Deberá tomarse en cuenta la reducción de espesor que se producirá después de mezclar y compactar la capa.

- **Escarificación y pulverización parcial:**

Después que el suelo haya sido conformado a la alineación y rasante requeridas, la capa de superficie de rodadura puede ser escarificada al ancho y espesor requeridos. Previamente deben removerse raíces, basura y agregados mayores de 75 mm (3”).

El material escarificado debe ser conformado en camellones o colchones adecuados para efectuar la mezcla. Los equipos a usar pueden ser una motoniveladora u otro equipo escarificador aprobado.

- **Aplicación de los materiales estabilizadores:**

Pueden ser aplicados en seco, preferiblemente por equipo distribuidor u otro sistema esparcidor previamente aprobado, que asegura la dosificación mínima y la homogeneidad de la mezcla. También pueden aplicarse manualmente (sacos). El agua se aplica por métodos aprobados para alcanzar el contenido de humedad requerido.

En algunos casos, es adecuada la aplicación en lechada, mezclando previamente la cal y otros estabilizadores o aditivos con agua, en camiones con tanque agitador y distribuidor aprobados, o por mezcladoras rotativas operando directamente sobre el suelo escarificado y que mezclan inmediatamente después de cada pasada.

Si se aplica cal viva en forma de camellones o si se emplean equipos mezcladores-pulverizadores o mezcladoras rotativas, no se requiere de escarificación y pulverización previa.

- **Mezcla y pulverización:**

Se realiza sobre el espesor completo de la capa tendida a estabilizar o al espesor existente previamente aprobado.

- Mezcla preliminar en carretera: El material tratado debe mezclarse, pulverizarse y homogeneizarse, agregándole la cantidad de agua necesaria para llevar la mezcla a un 3% arriba de la humedad óptima requerida. El material debe mezclarse preferiblemente por medio de recicladora, mezcladora rotativa, mezcladora-pulverizadora o motoniveladora solos o combinados.
- Mezcla preliminar en planta: Se emplea preferentemente para materiales granulares externos y se efectúa en dosificadoras-mezcladoras que produzca una mezcla homogénea con la humedad apropiada.

La dosificadora- mezcladora debe contar con equipo de medición para producir la mezcla con las proporciones por masa o volumen aprobadas. El transporte de la mezcla debe hacerse en camiones que reduzcan la pérdida de humedad, de fino y eviten la segregación de la misma.

- **Tendido**

Los materiales mezclados en planta deben ser tendidos en capas no mayores de 300 mm ni menores de 100 mm sobre la superficie yacente previamente preparada y aceptada. Debe tomarse en cuenta la reducción de espesor que se producirá después de remezclar y homogeneizar en el sitio.

- **Maduración**

Al estabilizar suelos fuertemente arcillosos, generalmente se hace necesario mezclar la capa suelo-cal en dos etapas: una mezcla y pulverización preliminar un período de maduración de 3 ó más días para que la reacción química cal-arcilla pulverice el material arcilloso y luego una mezcla y pulverización final, previa a la compactación.

Nota: Para suelos de baja o mediana plasticidad o para suelos en que el secado es la meta del tratamiento, usualmente no se requiere del período de maduración.

- **Mezclado y pulverización final en la carretera,**

Después del período de maduración, debe continuar hasta que el 100 % del material no pétreo pase el tamiz de Ø 1", y al menos el 60 % de ese material pase el tamiz No 4. Si se tiene seguridad de que este requisito de pulverización puede lograrse durante el mezclado preliminar, los pasos de maduración y Pulverización final pueden ser eliminados.

- **Conformación y compactación:**

La capa estabilizada debe conformarse y ajustarse a los espesores, alineaciones y secciones típicas de pavimentación establecidas, y luego compactada a la densidad requerida por las especificaciones. La compactación debe hacerse preferiblemente, inmediatamente después del mezclado.

La compactación en una sola capa puede hacerse con rodillo pesado, liso vibratorio y rodillo pesado de neumáticos. Puede usarse también una combinación de rodillos de pata de cabra y de neumáticos livianos, seguida de una compactación final con rodillo liso pesado o compactadora pesada de llantas neumáticas.

- **Curado:**

Antes de colocar una nueva capa, de rodadura, la sub - rasante, o capa de superficie de rodadura, deben dejarse endurecer hasta que puedan soportar tráfico previsto sin causar ahuellamiento en la superficie.

Durante este tiempo, el material estabilizado se mantiene húmedo aplicando agua nebulizada esparcida sobre la superficie o un curado a base de

membrana, sellando la capa compactada con una o más aplicaciones de un riego imprimador de emulsión asfáltica de grado SS ó CSS, en una cantidad de 0.45 a 0.90 litros por metro cuadrado de superficie. El período curado debe ser por lo menos de 7 días.

- **Juntas de Construcción:**

Para enlazar la operación de cada día con el trabajo terminado el día anterior, se debe remezclar aproximadamente 0.5 m de la capa completada anteriormente, agregándole el 50 % de la cantidad original de cal, antes de procesar las secciones adicionales. Para todos los trabajos, se debe efectuar un tramo de prueba para verificar las dosificaciones propuestas, el desempeño de las máquinas y el procedimiento propuesto.

d) Control en la Ejecución de los trabajos

- **Dosificación del material estabilizador:**

Debe controlarse diariamente por inspección y muestreo en la etapa de extendido en obra o por verificación del pesaje del material utilizado en planta mezcladora central, y por tramo terminado comprobando que la cantidad total del material usado corresponda con el volumen total trabajado.

Se aceptan variaciones no mayores de 5 % de la cantidad de modificador o estabilizador ordenado. Las mediciones de valor soporte CBR y resistencia a compresión no confinada son también indicadores de la adecuación de la dosificación usada.

- **Compactación:**

Se deben hacer ensayos de densidad y humedad de campo por lo menos cada 500 m² de la capa que se está compactando. Las densidades de campo deben estar espaciadas a no menos de 20 m. en sentido longitudinal a menos de que

se trate de áreas delimitadas para correcciones, y deben hacerse a 2 m. de los bordes de la capa siguiendo un orden alternado de derecha, centro e izquierda del eje. Se permite una tolerancia en menos del 3 % sobre la densidad especificada. Se permite también el empleo de densímetros nucleares. Por medio de ensayos diarios de densidades sobre probetas de material que se está usando, puede comprobarse la adecuación de la densidad de referencia.

Actividad o Material	Característica	AASHTO	ASTM	Frecuencia Mínima	Valor Mínimo	Valor Máximo	Punto de Muestreo
Subrasante, Sub-Base y Bsc Estabilizados con Cal	Granulometría	T-11, T-27	C-136	Una muestra cada 1000 m ³	Según Diseño		Después de mezclado
	Índice Plástico	T-90	D-4318	Una muestra cada 1000 m ³	N/A	≥ 10%	Del acopio
	Verificación de PH en mezcla Suelo-Cal		D-6276	Una muestra en fase preparatoria. Una muestra por cada 2000 m ³ o cambio de proporción a utilizar	12.4 o según sección 13 de ASTM D-6276	N/A	Capa a Compactar
	Relación Densidad – Humedad	T-180		Una muestra cada 2000 m ³ , o cambio de material (banco)	N/A	N/A	Del acopio
	Espesor (núcleos)		D-6236	Una muestra cada 250 ml	Valor Meta – 0.5 cm	N/A	Cada capa compactada
	Resistencia a la Compresión		D-5102	Tres especímenes cada 1000 m ³ o por cada día de producción (si la producción es menor)	7 kg/cm ² ensayado a la edad de 7 días	N/A	Después de Mezclado
	Densidad de Campo y Humedad	T-238, T-239		Una muestra cada 100.00 ml/carril o tramo trabajado si es menor de 100 ml	95% de T-180	100% de T-180	Cada capa compactada

Tabla 2.9 Tabla de Muestras, Frecuencias y Tolerancias

FUENTE: Condiciones Técnicas para Vías No Pavimentadas del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

- **Valor soporte CBR y resistencia a compresión no confinada**

1. Para valor soporte CBR se debe tomar por lo menos una determinación diaria de la mezcla que se esté colocando.
2. Para compresión no confinada Se debe realizar un ensayo por cada 1000 m³ de mezcla en carretera o en planta.

- **Espesor de la capa compactada**

Se determina mediante extracción de testigos o por nivelación topográfica, tomando como base el nivel de la capa inferior y tomando medidas en perfiles repartidos equidistantes a lo largo del tramo.

2.2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO

La idea de estabilizar el suelo con cemento es relativamente antigua, se remonta su utilización al año de 1917, desde entonces se empleó con modestos resultados, siendo hasta el año de 1932 que el Departamento de Caminos Estatales de Carolina del Sur en Estados Unidos de América, desarrolló estudios más serios y completos, motivando un mayor interés en su uso.

A todo esto siguió una serie de investigaciones en diversos países, tales como Alemania, Argentina, y el valioso aporte de Inglaterra, entre otros, desde mediados del siglo pasado, desarrollando la tecnología moderna del suelo - cemento.

Actualmente muchos países han adoptado esta técnica realizando análisis acordes con el tipo de suelo de cada lugar, desarrollando amplios programas para su empleo.

La principal promotora del suelo - cemento es la Asociación de Cemento Portland (PCA del inglés Portland Cement Association), en Estados Unidos de América, cuyas publicaciones han hecho que ésta técnica sea conocida mundialmente, y se valore como una alternativa confiable y eficiente para la estabilización de suelos.

2.2.3.1 DEFINICIÓN DE CEMENTO

Es un material inorgánico finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad.

2.2.3.2 CARACTERISTICAS DE LOS CEMENTOS

a) Finura

La finura del cemento estará definida por el tamaño de la partícula del material; esta propiedad se mide por medio de:

- Ensayo de turbidímetro de Wagner (ASTM C-115)
- Ensayo Blaine de permeabilidad al aire (ASTM C-204)
- Material retenido en tamiz No. 325 (45 micras) (ASTM C-430)

Aproximadamente del 85 % al 95 % de las partículas de cemento son menores de 45 micras

b) Hidratación

La hidratación es la reacción química que presenta el cemento al ponerse en contacto con el agua.

Cada partícula de cemento forma un aumento sobre su superficie, misma que gradualmente se expande hasta enlazarse con el aumento de otras partículas de cemento o hasta adherirse a las sustancias adyacentes.

La hidratación prosigue mientras se disponga de espacio para los productos de hidratación y se tenga condiciones favorables de humedad y temperatura.

A medida que la hidratación continua, el cemento se rigidiza hasta volverse duro y resistente a los efectos de compresión.

c) Fraguado y endurecimiento

Los productos formados por la hidratación constituyen un gel formando inicialmente una pasta más o menos fluida o plástica, el fraguado se da en dos fases:

- ✓ **Fraguado Inicial:** Cuando la masa empieza a perder plasticidad, incluso se nota cierta consolidación.
- ✓ **Fraguado Final:** Cuando “por sí” y sin que se someta la pasta a presiones o cargas, estas conserva su forma.

2.2.3.3 TIPOS DE CEMENTOS UTILIZADOS EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PLASTICOS EN EL SALVADOR.

El cemento a utilizar podrá ser fabricado bajo la norma ASTM C-91 o ASTM C-1157. No se usará cemento de alta resistencia inicial; el cemento podrá adquirirse en bolsas o granel.

a) Cementos de mampostería (Norma ASTM C-91)

Con el objeto de cubrir el amplio campo de la construcción y para aquellos casos en que las resistencias mecánicas no son el factor principal, se producen los cementos para albañilería. Las características predominantes que deben reunir estos cementos son: plasticidad, trabajabilidad y adherencia.

TIPO	CARACTERÍSTICA
N	Para preparar mortero tipo N según norma ASTM C-270
S	Para preparar mortero tipo S según norma ASTM C-270
M	Para preparar mortero tipo M según norma ASTM C-270

b) Cemento por desempeño con adiciones activas (ASTM C-1157)

TIPO	CARACTERÍSTICA
GU	De uso general en la construcción
HE	De alta resistencia inicial
MS	De moderado calor de hidratación
LH	De bajo calor de hidratación
Opción .R.	De baja reactividad con agregados álcalis - reactivos

2.2.3.4 PROPIEDADES DE LA MEZCLA SUELO + CEMENTO

a) Resistencia a la Compresión.

La resistencia a compresión simple en las mezclas de Suelo-cemento es un indicador del grado de reacción del suelo con el cemento y el agua. La resistencia a compresión simple aumenta progresivamente con el tiempo.

La resistencia a la compresión varía principalmente con:

- ✓ El contenido y tipo de cemento usado;
- ✓ La eficiencia lograda en el mezclado del cemento con el suelo;
- ✓ Las características y efectividad de los aditivos usados;
- ✓ El tipo y cantidad de materia orgánica, sales y materiales deletéreos existentes en el suelo;
- ✓ La cantidad y calidad del agua usada;
- ✓ El tiempo transcurrido después de realizado el humedecimiento, mezclado y compactado de los especímenes;
- ✓ El grado de compactación alcanzado;
- ✓ La duración y forma de hacer el curado;
- ✓ Las prevenciones tomadas para disminuir el agrietamiento;
- ✓ En mayor medida el tipo de suelo usado.

Es importante mencionar que la resistencia a compresión simple aumenta apreciablemente con el tiempo. La resistencia a compresión simple aumenta considerablemente en los primeros 90 días, de una a tres veces más que a los 7 días, según el tipo de suelo, tipo y contenido de cemento, mientras que a edades posteriores se ha observado en general un crecimiento mucho más lento.

b) Resistencia a la Flexión.

El comportamiento del Suelo-cemento respecto a su resistencia a la flexión se ha conocido directa e indirectamente a través de diversos ensayos.

En general se distinguen dos grupos o conjuntos de valores: los correspondientes a los suelos finos y los obtenidos en mezclas con suelos granulares.

Se ha observado que la resistencia a la flexión varía directamente con la resistencia a la compresión simple y con el peso volumétrico seco máximo de la mezcla.

En este sentido, diversos autores coinciden que la resistencia a la flexión puede variar de $1/3$ a $1/5$ de la resistencia a la compresión del Suelo-cemento.

Ello proporciona una idea de la rigidez y la gran capacidad de distribución de cargas que pueden obtenerse en estructuras de pavimentos utilizando este tipo de mezclas.

En lo referente a la evolución de la resistencia a la flexión con la edad, se puede afirmar, que su crecimiento es más moderado que el de la resistencia a compresión.

c) Resistencia a la Tensión.

La resistencia a la tensión es una propiedad importante para verificar el comportamiento en el suelo-cemento; ya que da un parámetro de la capacidad de corte y de la compresión de la estructura de suelo-cemento.

El método indirecto de la prueba de tensión en forma de separación longitudinal, es conocido como “La Prueba Brasileña”. En dicha prueba se usan generalmente cilindros de 6 x 12 pulgadas, en la cual se carga a compresión a lo largo de dos líneas axiales con una separación de 180°, se usan tiras delgadas de madera (triplay o corcho), de 1/8 de pulgada, a lo largo de la línea de carga.

d) Modulo de Elasticidad

Es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria dentro del intervalo elástico de una curva esfuerzo-deformación unitaria. El Módulo de Elasticidad es muy variable y depende del tipo de suelo y de la cantidad de cemento principalmente. En general, este módulo es bajo comparado con el del concreto y muy alto sí se le compara con el del suelo natural.

En el diseño estructural de un pavimento es importante que tenga una capacidad suficiente de soporte para distribuir de forma adecuada las cargas impuestas por el tráfico vehicular, generando las menores deformaciones posibles. Esto se logra teniendo altos módulos de elasticidad en una a dos capas de la estructura de pavimento.

El tratamiento de suelos con cemento eleva considerablemente los módulos de elasticidad, generando una rigidez tal que puede ser aprovechada en beneficio

de una conveniente distribución de carga y un buen desempeño de la estructura del pavimento durante la vida de diseño.

Los valores del módulo de elasticidad, tanto estático como dinámico y del coeficiente de Poisson son muy variables, dependiendo del tipo de suelo y contenido de cemento en la mezcla. En general dichos valores de los módulos son bajos comparados con los del concreto y muy altos con respecto a los de los suelos naturales compactados.

Los valores típicos a 28 días del módulo de elasticidad estático en mezclas de Suelo-cemento elaboradas con suelos con una cierta proporción de elementos granulares varían entre 4,000 y 7,000 Mpa.

Cabe decir, que la determinación de los módulos de elasticidad dinámicos a estáticos no es una práctica habitual en el diseño y construcción de capas de Suelo-cemento en la mayoría de los países; por lo general, este tipo de ensayos se ha realizado en trabajos de investigación.

e) Capacidad de Soporte

Esta propiedad de los suelos se conoce como el Valor Relativo de Soporte (VRS), en los Estados Unidos de América es conocido como CBR (California Bearing Ratio), este método fue ideado por la Dirección de Carreteras de California, para evaluar las posibilidades de sustentación de un cimiento con el objeto de calcular el espesor de un pavimento.

Frecuentemente es utilizado para el diseño de espesores de bases de suelo-cemento, a partir del Valor Relativo de Soporte de la sub - rasante.

Sin embargo es de mucha importancia conocer esta propiedad en el suelo-cemento, por que determina con mayor aproximación la calidad de éste, que el ensayo de resistencia a la compresión no confinada.

f) Resistencia al Desgaste.

Esta propiedad no es evaluada en el Suelo-cemento cuando se utiliza en estructuras de pavimentos, ya que tal como lo ha demostrado la experiencia y diversas investigaciones, es un material excelente para soportar esfuerzos perpendiculares a la superficie, pero muy deficiente para resistir las fuerzas abrasivas del tránsito circulando directamente sobre el.

En este tipo de aplicaciones se recurre a proteger las capas de Suelo-cemento colocando sobre ella una capa de rodadura de concreto hidráulico, concreto asfáltico, o tratamientos superficiales asfálticos.

Se ha observado una mejora en la resistencia al desgaste cuando se incrementa el contenido de cemento y se utilizan suelos granulares no plásticos. El Suelo-cemento presenta una mayor resistencia al desgaste provocado por la acción erosiva de las lluvias, que por la acción erosiva del tráfico vehicular.

Los Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño presentan una mejor resistencia al desgaste que el Suelo-cemento ordinario. Los concretos compactados también pueden soportar directamente el paso continuado de vehículos. Es importante mencionar que un material resistente al desgaste bajo una capa de rodadura de concreto hidráulico ayuda a reducir problemas de bombeo de finos y escalonamiento.

g) Permeabilidad.

La permeabilidad de la mayoría de suelos se disminuye con la adición de cemento Portland. Dicha reducción de la permeabilidad, depende principalmente del tipo de suelo, contenido de cemento y de una compactación adecuada.

Cuando se diseñan mezclas de Suelo-cemento con fines de impermeabilización, como el caso de cimentaciones de rellenos sanitarios, estanques u otro tipos de obras para almacenamiento permanente o temporal de agua. Las mezclas de Suelo-cemento elaboradas con suelos finos son las que presentan y mantienen con el tiempo una menor permeabilidad.

Los valores típicos del coeficiente de permeabilidad K de mezclas de Suelo-cemento elaboradas con suelos areno-limosos, varían entre 0.4×10 y 3×10 cm/s. El porcentaje de cemento en estos casos suele ser inferior al 5% en peso.

h) Modulo de Reacción de la Subrasante

El módulo de reacción se obtiene generalmente mediante la prueba de placa. La Portland Cement Association proporciona unos valores promedios obtenidos en Laboratorio que se muestran en la tabla 2.10.

TIPO DE SUELO	RESISTENCIA DE LA SUB BASE	CBR (%)	VALOR DE $k \times 10^{-6}$ (kg/cm ³)
Suelos finos con arena en los cuales predomina arcilla y limo.	BAJO	3 – 6	1620 – 2430
Arenas mal graduadas y suelos predominantemente arenosos con moderadas cantidades de limo y arcilla	MEDIO	30 – 45	2430 – 3560
Gravas, arenas bien graduadas y arenas con gravas relativamente libres de finos plásticos.	ALTO	> 45	> 3560

Tabla 2.10 Tipos de Suelos y Valores Medios de sus Capacidades

FUENTE: Artero Alvarado, Manuel y otros; tesis "Propuesta para el diseño y construcción de Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño como Alternativa de Aplicación a Caminos Rurales"

i) Modulo de Poisson

Valores obtenidos del módulo de Poisson, para suelo – cemento se presentan en las siguientes tablas:

INVESTIGADORES	VALORES MEDIOS DEL MÓDULO DE POISSON
Felt y Abrahams	0.08 – 0.24
Ingles O.G.	0.10 – 0.30
Portland Cement Association (PCA), EE.UU.	0.12 – 0.14
Larsen T.J. Nussbaum M. y Colley B.E.	0.10 – 0.20
Granular con finos	0.12
Granular	0.14
Reinhold, F.	0.13

Tabla 2.11 Valores Medios del Modulo de Poisson del Suelo-Cemento

FUENTE: Artero Alvarado, Manuel y otros; tesis “Propuesta para el diseño y construcción de Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño como Alternativa de Aplicación a Caminos Rurales”

INVESTIGADORES	ESTATICO	DINAMICO	TIPO DE SUELO
Felt y Abrahams		0.22 – 0.27	Arenoso
		0.41 – 0.42	Areno – Arcilloso
Reinhold	0.095 – 0.125		Areno – Arcilloso
Portland Cement Association (PCA); EE.UU.	0.120 – 0.142		Arenoso

Tabla 2.12 Tipos de Módulos de Poisson

FUENTE: Artero Alvarado, Manuel y otros; tesis “Propuesta para el diseño y construcción de Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño como Alternativa de Aplicación a Caminos Rurales”

2.2.3.5 TÉCNICA DE ESTABILIZACIÓN PAVIMENTO UNICAPA DE ALTO DESEMPEÑO (PUAD).

Los PUAD se han diseñado específicamente para caminos donde el grado de confort e índice de rugosidad no sean tan exigentes como en los caminos de altas especificaciones (como por Ej. Autopistas, Carreteras Primarias); están diseñados para ofrecer capacidad estructural y seguridad al usuario con velocidades máximas de 65 Kph y en las cuales el tráfico es moderado.

Los PUAD han sido concebidos con porcentajes de cemento que varían del 12 al 18 % dependiendo del tipo de suelo de sub - rasante (grueso granular o fino granular), así como también de algunas propiedades índices de dichos suelos como por ejemplo: plasticidad, granulometría, etc.

Es importante resaltar que la superficie del Pavimento Unicapa presentará fisuras por contracción debido al porcentaje relativamente alto de cemento por lo que se deberá considerar la posible construcción de juntas de contracción.

2.2.3.6 DISEÑO DE LA MEZCLA.

Una vez que se ha decidido el uso del Pavimento Unicapa, es necesario enfocarse en el diseño de la mezcla propiamente dicha, que en este caso, como se ha mencionado anteriormente será una mezcla de suelo con cemento y agua. Diseñar una mezcla de PUAD, consiste en determinar las cantidades de suelo, cemento y agua que permitan obtener un material, que compactado dinámicamente ofrezca determinadas características de durabilidad y resistencia.

El proceso de diseño consiste en una serie de ensayos de laboratorio, para determinar las cantidades de cemento que deben agregarse al suelo para que la mezcla endurezca adecuadamente, la cantidad de agua que se debe agregar y la densidad a la cual se debe compactar.

Los ensayos a realizar tienen como objetivo determinar:

- La cantidad de cemento necesaria para lograr un material resistente y con propiedades que garanticen un determinado comportamiento.

- Las cantidades de agua necesarias para que el cemento se hidrate, misma que servirá de lubricante para lograr la máxima densidad durante la compactación.
- La densidad a la cual debe compactarse la mezcla.

El procedimiento para diseñar la mezcla del Pavimento Unicapa es el siguiente:

1. En Primer lugar, se clasifica el suelo mediante los ensayos rutinarios de laboratorio como: granulometría, límites de consistencia, etc. preferiblemente mediante el sistema AASHTO. El número de muestras de suelo a ensayar estará en función de la magnitud e importancia, de la obra en proyecto. Debe recordarse que el tipo de proyecto es el factor más importante para la conformación de la mezcla.
2. Una vez clasificado el tipo de suelo, se selecciona el porcentaje de cemento en peso estimado como el necesario para la conformación adecuada del pavimento. Los porcentajes de cemento, según la técnica de los pavimentos Unicapa deben ser superiores al 12 %.
3. Con los porcentajes seleccionados (tres como mínimo), se ejecuta el ensayo de humedad – densidad, según la norma AASHTO T-180, para determinar la humedad óptima y la densidad seca máxima. Posteriormente se procede a la elaboración de los especímenes que se utilizarán para los ensayos de: compresión simple, tracción indirecta y módulo de elasticidad de la mezcla del Pavimento Unicapa.
4. Finalmente, es muy importante proporcionar el respectivo curado a los especímenes que se ensayaran, para obtener de esta manera resultados más confiables según lo establecen las normas y por ende hacer la mejor selección del porcentaje de cemento.

2.2.3.7 PARÁMETROS DE DISEÑO.

a) Valor de Soporte de la Subrasante (k)

El soporte (o la capacidad de soporte) que la sub - rasante presta al pavimento se expresa con el valor del Módulo de Reacción “k”, de la sub - rasante y puede ser determinada mediante ensayos de placa de carga en el terreno (AASHTO T-222) o por correlación con valores de soporte establecidos mediante otros ensayos como el CBR.



Fotografía 2.1 Equipo de Reacción

FUENTE: Artículo digital; “Determinación del Modulo de Reacción (Placa de Carga)”

Téngase siempre presente, que el valor de soporte de un terreno, no es absoluto sino que depende de la deflexión que se considere. Por lo tanto, según la estructura que se construya deberá establecerse, previamente, la deformación máxima admisible, para que de acuerdo con ésta se seleccione el valor de soporte del terreno.

En carreteras, calles o aeropistas, cuando se ejecutan pruebas directas de carga, se considera como Valor de Soporte del terreno aquella carga unitaria correspondiente a una deflexión comprendida entre 0.1 y 0.5 pulg.

Para pavimentos flexibles, se toma 0.5 pulg. Como deflexión crítica máxima, pues se ha comprobado, experimentalmente que esta es la máxima deformación que pueden registrar estos pavimentos sin presentar fallas.

Sin embargo, teniendo en cuenta el efecto destructivo de las repeticiones de carga, se recomienda, por razones de seguridad, considerar deflexiones menores de $\frac{1}{4}$ pulg. para la determinación del valor de soporte del terreno.

De ahí que generalmente, se tome como valor de soporte del terreno de fundación aquella carga unitaria correspondiente a una deflexión crítica de 0.1 ó 0.2 pulg.

b) Módulo de Ruptura a Flexión (MR)

Para el diseño se propone el valor del Módulo de Ruptura a Flexión (Cargas a los tercios de la luz), a la edad de 28 días.

La relación recomendada y aplicada por la técnica Europea, y que se ha empleado en Latinoamérica, vincula la resistencia a la tracción por compresión diametral y la resistencia a flexión a la edad de 28 días, mediante la expresión:

$$MR = C \times T$$

Donde:

MR : Resistencia a la Flexión, en MPa.

T : Resistencia a la tracción por compresión diametral, en MPa.

C : Constante que depende de los diferentes diseños de mezclas.

La resistencia a tracción se determina mediante el ensayo de la “Prueba Brasileña” ASTM C-496, utilizando la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d}$$

Donde:

T : Esfuerzo de tracción (kPa)

P : carga aplicada (kN)

l : longitud del cilindro (m)

d : diámetro del cilindro (m)

c) Tráfico de Diseño

Conociendo que en la mayoría de nuestros caminos rurales, principalmente los de las regiones cafetaleras, el transporte del grano desde la finca al recibidero es realizado en camiones C2 ó C3 o en pick up con chasis reforzado y muy raras veces en rastras (debido principalmente al tipo de camino, diseño geométrico, anchos de rodaje, pendientes, etc.), y que de forma similar operan otros productos agrícolas de la región como por ejemplo la caña de azúcar, los granos básicos, etc., todo este movimiento es lógicamente realizado durante la época de cosecha, pero no debemos obviar que durante lo que resta del año existe el transporte de fertilizantes, abonos, comercio y sin olvidar y muy importante el traslado de personas que en la mayoría de los casos es realizado en pick-up o camiones pequeños. Es por tal razón que en el diseño de los pavimentos Unicapa los tipos de vehículos a considerar serán:

- Liviano comercial (Lc) = pick up
- C2
- Bus
- C3
- T3S2

d) Cargas de Diseño

La estimación del tráfico esperado es un factor muy importante en el diseño del pavimento.

La información requerida a cerca del tráfico incluye las magnitudes de las cargas de rueda. La configuración de las ruedas y la frecuencia de operación de los vehículos más pesados que se desplazarán sobre el pavimento.

Una vez establecidos los tipos de vehículos a considerar en el diseño, solo resta conocer el tipo de carga nominal por eje que cada vehículo transmitirá al pavimento, para obtener los valores de carga nominal por eje se han efectuado mediciones, en basculas móviles, de dichos vehículos en carreteras de nuestro país, cabe aclarar que los valores dados a continuación son para vehículos en condición de carga máxima, los valores se presentan en la tabla 2.13.

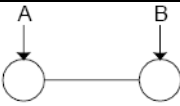
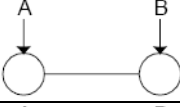
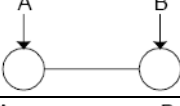
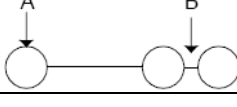
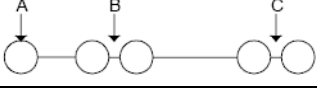
DENOMINACIÓN	CARGA POR EJE EN TONELADAS	A	B	C
Lc		1.7	3.8	
C2		4.5	9.0	
BUS		5.5	10.0	
C3		5.0	16.0	
T3S2		5.7	16.4	16.4

Tabla 2.13 Cargas de rueda de diseño por eje nominal

FUENTE: Artero Alvarado, Manuel y otros; tesis "Propuesta para el diseño y construcción de Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño como Alternativa de Aplicación a Caminos Rurales"

Usualmente el vehículo que tenga la carga de rueda más pesada será el que controlará el diseño, aunque es conveniente verificar el espesor del pavimento obtenido para otras combinaciones de carga correspondientes a distintos tipos de vehículos, fundamentalmente por el problema de fatiga. La máxima carga de rueda es la mitad de la carga del eje más pesado del vehículo de diseño cargado a su máxima capacidad.

El dibujo de las áreas de contacto de la losa con cada neumático transportando la máxima carga de rueda, se puede asimilar con suficiente aproximación y desde el punto de vista práctico a un círculo de radio “ a ” de igual área (ver figura 2.6).

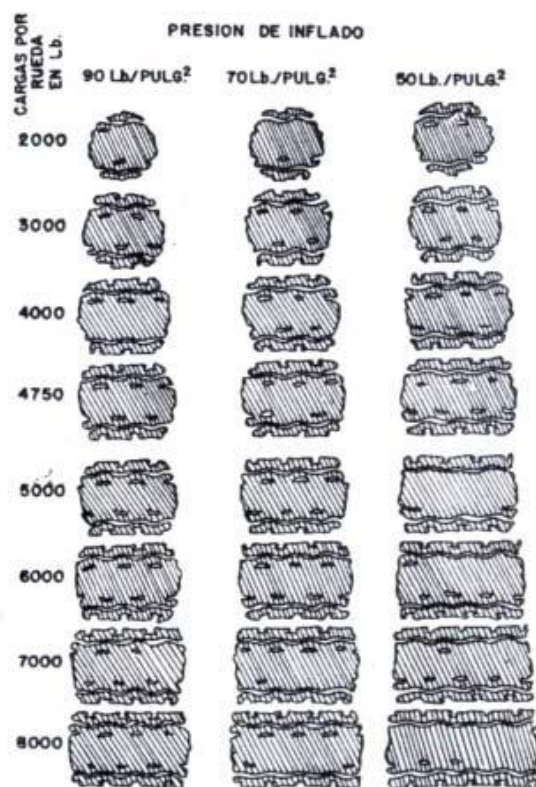


Figura 2.6 Presión de Inflado y Área de Contacto de las Llantas

FUENTE: Artero Alvarado, Manuel y otros; tesis “Propuesta para el diseño y construcción de Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño como Alternativa de Aplicación a Caminos Rurales”

En el procedimiento de diseño que se propone “ a ” es uno de los parámetros y se define como el “Radio del área equivalente de contacto”, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$a = \left(\frac{P}{p \times \pi} \right)^{0.5}$$

Siendo:

- a : Radio de área equivalente de contacto, en m.
 P : Carga de la rueda, en MN.
 p : Presión de inflado del neumático, en MPa.

Otro factor importante de diseño es la distancia entre las ruedas del vehículo “ s ”, (ver figura 2.7). Si el espacio entre ruedas es pequeño (cuando la distancia entre ruedas es menor que 3 veces el radio de rigidez relativa “ L ”), es necesario considerar el efecto de más de una carga de rueda en el cálculo de la tensión que soportará el pavimento.

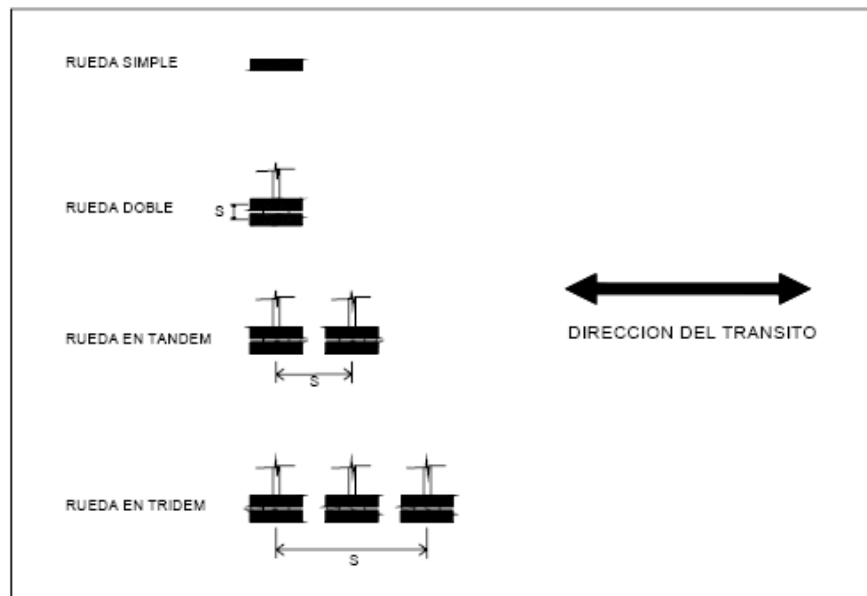


Figura 2.7 Distancia entre centros de ruedas

FUENTE: Artero Alvarado, Manuel y otros; tesis “Propuesta para el diseño y construcción de Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño como Alternativa de Aplicación a Caminos Rurales”

Las cargas de los vehículos se transmiten al pavimento a través de llantas, dispuestas en grupos de líneas de rotación llamados ejes; estos se clasifican de la siguiente manera (ver figura 2.8):

- Simple: Con una sola línea de rotación.
 - De llanta sencilla: Cuando consta de dos llantas.
 - De llanta doble: Cuando consta de cuatro llantas.
- Tándem: Conformado por dos líneas de rotación, separadas entre 1.0 y 1.60 metros y dotado de un dispositivo de distribución de cargas entre sus dos líneas de rotación.
 - De llanta sencilla: Cuando el conjunto consta de cuatro llantas, dos por línea de rotación.
 - De llanta doble: Cuando el conjunto consta de ocho llantas, cuatro por línea de rotación.
 - Mixto: Cuando el conjunto tiene una línea de rotación de llanta sencilla y otra de llanta doble (seis llantas en el conjunto).
- Tridem o Tándem triple: Conformado por tres líneas de rotación, igualmente separadas en un espacio entre 2.0 y 3.6 metros y con un dispositivo de distribución de cargas entre las mismas.
 - De llanta sencilla: Cuando el conjunto consta de seis llantas.
 - De llanta doble: Cuando el conjunto consta de doce llantas.
 - Mixto: Cuando tiene una combinación de líneas de rotación con llanta sencilla y llanta doble y el conjunto tiene ocho o diez llantas.

Además de los factores mencionados anteriormente, otra de las características de los vehículos a tomar en cuenta en el diseño del espesor del pavimento, es el número de ruedas “ Nr ” (en cada punta de eje de diseño), el número de ruedas según las diferentes configuraciones de ejes puede ser 1, para rueda simple y 2, para rueda doble (ver figura 2.8).


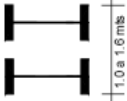

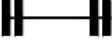

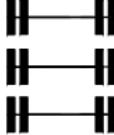
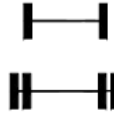
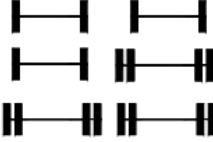
EJE	SIMPLE	TANDEM	TRIDEM (TANDEM TRIPLE)
DE LLANTA SENCILLA			
DE LLANTA DOBLE			
MIXTO			

Figura 2.8 Clasificación de las Diferentes configuraciones de ejes.

FUENTE: Artero Alvarado, Manuel y otros; tesis “Propuesta para el diseño y construcción de Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño como Alternativa de Aplicación a Caminos Rurales”

e) Período de Diseño (PD)

Los Pavimentos Unicapa basándose en sus características estructurales y de funcionamiento están concebidos para un periodo de diseño de 3 – 10 años, en los cuales se espera que se comporten satisfactoriamente, no se pueden considerar períodos mayores como los considerados para pavimentos rígidos o flexibles ya que las características de funcionalidad son mayores en estos últimos.

f) Comportamiento a La Fatiga

Como se establece en el concreto, aunque una carga individual produzca esfuerzos de flexión menores que su módulo de ruptura, y por tanto no origine falla en el pavimento, la repetición de esa misma carga un número grande de veces puede producir fatiga en el material y ocasionar roturas en las losas.

Los diversos estudios realizados hasta el momento en Japón, EE. UU. Y México, han permitido obtener diferentes expresiones para describir la relación entre SR y el logaritmo del número “ NR ” de repeticiones permitidas de las cargas.

Luego de realizar un estudio comparativo entre todas ellas, se ha propuesto emplear la siguiente expresión:

$$SR = 1.20 - 0.10 \log NR, \text{ para } NR \geq 100$$

$$SR = 1.0, \text{ para } NR < 100$$

Siendo:

SR : Relación entre la tensión debida a la carga y el módulo de ruptura a flexión.

NR : Número proyectado de repeticiones de carga.

En investigaciones hechas por M. A. Minor se ha demostrado que si una carga da lugar a esfuerzos de flexión mayores a la mitad del módulo de ruptura del concreto (MR) esa carga induce fatiga en el material, y por tanto un número suficiente de repeticiones de ella provoca la falla del pavimento, mientras que esfuerzos menores o iguales que $\frac{1}{2} MR$ (Modulo de Ruptura) pueden repetirse indefinidamente, pues no producen fatiga.

Estos principios pueden ser aplicados a los Pavimentos Unicapa cuyas características se pueden de alguna manera asemejar a la de un concreto pobre debido a las cantidades de cemento en peso de la mezcla, siempre y cuando se tomen algunas consideraciones para dicha aplicación como por ejemplo un rango de valor de MR (Modulo de Ruptura) establecido.

g) Tensión Admisible del Pavimento

El espesor de diseño se debe seleccionar de tal manera que la tensión de trabajo del pavimento (σ) sea menor que la tensión admisible (σ_{adm}).

La tensión admisible (σ_{adm}) del pavimento depende del número de repeticiones de las cargas de rueda de diseño que se espera se produzcan durante el período proyectado de vida útil (período de diseño). La relación de tensiones SR se obtiene de la Ecuación No.4 en función del número de repeticiones de carga.

El número de repeticiones de carga (NR) se calcula a partir de las repeticiones diarias de carga (A) y del período de diseño (PD). Con este valor de SR es posible determinar σ_{adm} , mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{adm} = SR \times M_R$$

Siendo:

σ_{adm} : Tensión admisible en el pavimento, en MPa.

M_R : Módulo de Ruptura a flexión a la edad de 28 días en MPa.

h) Módulo de Elasticidad (EC)

Para el diseño se propone el valor del módulo de elasticidad a los 28 días, obtenido mediante el ensayo “Módulo de Elasticidad”, ASTM C-469; utilizando la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

Donde:

E_c : Módulo de Elasticidad, en MPa.

S_2 : Esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última.

S_1 : Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 50 millonésimas, MPa.

ε_2 : Deformación unitaria producida por el esfuerzo S_2 .

2.2.3.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Las especificaciones técnicas en la construcción de estabilizados con el método conocido como Pavimento Unicapa de Alto Desempeño (PUAD) se detallan a continuación:

a) Materiales.

A continuación se describen las especificaciones para los materiales utilizados:

- **Cemento.** Cemento para mampostería ASTM C-91 TIPO M. No se permitirá el uso de cemento total o parcialmente fraguado, el material en tales condiciones será retirado de la obra. El cemento deberá presentar un estado de excelente pulverización sin la menor tendencia a aglomerarse, podrá almacenarse a granel en silos adecuados que aseguren la protección del material y permitan su correcta manipulación durante la carga y descarga. Si el suministro es realizado en sacos o bolsas, este deberá ser almacenado bajo cubierta bien protegido de la humedad e intemperie.
- **Suelo del lugar.** Se utilizará el suelo del lugar existente en la rasante del camino para elaborar la mezcla y construir el PUAD. La utilización de material de aporte será opcional. Las características del suelo a usar son las siguientes:

Índice de Plasticidad	: 25 máx.
Porcentaje retenido en malla No. 4	: 2 % mín.
Tamaño máximo de partículas gruesas	: 5 cm máx.

- **Agua.** El agua a utilizar presentará características adecuadas para propósitos de construcción, su inspección será visual.
- **Material de curado.** Aplicar membrana de curado inmediatamente después de las operaciones de compactación, podrá utilizarse compuestos químicos de curado de base acuosa según dosificación del fabricante, asfaltos emulsificados en una tasa de aplicación variando entre 0.7 a 1.4 lts/m².

En el caso de utilizar material de curado de tipo asfáltico, se deberá colocar material de secado (arena, gravilla). El curado también podrá realizarse con riegos continuos de agua.

b) **Proporcionamiento.**

La resistencia a la compresión mínima requerida, a la edad de 28 días, será de 70 kg/cm², y el valor de desgaste realizado en la máquina de los Ángeles, obtenido después de 200 revoluciones sin las esferas de acero, deberá ser de 50 % máximo.

Para efecto de realizar el cálculo del espesor de la capa, se deberá proporcionar el módulo de elasticidad, módulo de ruptura y la relación de Poisson de la mezcla seleccionada.

En los pavimentos unicapa de alto desempeño, la mezcla se deberá realizar cuantificando el esfuerzo a flexión, compresión y módulo de elasticidad de especímenes elaborados, utilizando cualquiera de los siguientes procedimientos:

1. Moldeo de especímenes utilizando equipo proctor modificado (AASHTO T-180, ASTM D-1557).

El procedimiento propuesto para la elaboración de especímenes utilizando esta alternativa, es idéntico a lo especificado en AASTHO T-180, excepto por lo siguiente:

- Los especímenes se realizarán utilizando moldes cilíndricos de 6" x 12", idénticos a los utilizados en la elaboración de cilindros de concreto, según ASTM C-31.
- El material será compactado en diez capas, realizando un número igual a 75 golpes/capa.
- La elaboración de vigas se deberá realizar utilizando moldes de 6" x 6" x 24", idénticas a las utilizadas a la elaboración de vigas de concreto según ASTM C-78.
- El material será compactado en cinco capas, realizando un número igual a 56 golpes/capa.
- El desmoldado de especímenes, tanto para cilindros como para vigas, deberá realizarse 30 minutos después de haber finalizado los mismos.
- El curado deberá realizarse aplicando compuesto químico de curado a los especímenes, posteriormente almacenarlos en ambiente húmedo de laboratorio.

2. Moldeo de especímenes utilizando martillo vibratorio (ASTM C-1435).

El procedimiento propuesto para la elaboración de especímenes utilizando esta alternativa, es idéntico a lo especificado en ASTM C-1435, excepto por lo siguiente:

- El material será compactado en diez capas, realizando una compactación por capa de 22 segundos, para cilindros de 6" x 12".

- La elaboración de vigas se deberá realizar utilizando moldes de 6" x 6" x 24", idénticas a las utilizadas a la elaboración de vigas de concreto según ASTM C-78.
- Para la compactación del material en vigas, se deberá acoplar en vástago de martillo vibro compactador a la placa apisonadora de acero, de forma cuadrada, de 6"x6" y espesor de 3/8".
- El material será compactado en cinco capas, realizando una compactación de 112 seg/capa.

c) Proceso Constructivo

Consiste en escarificar el suelo existente, mezclarlo y compactarlo con su humedad óptima de compactación e hidratación del cemento y densidad máxima. Las operaciones fundamentales a realizar en el proceso constructivo se pueden resumir en las siguientes etapas:

- **Preparación del suelo existente.** Verificar los valores de humedad y densidad del suelo en estado natural, para conocer de esta forma las condiciones del suelo previo a la construcción del pavimento y realizar los ajustes de humedad necesarios. Una vez realizada esta verificación de humedad se deberá escarificar, pulverizar y mezclar el suelo hasta obtener en él, una razonable uniformidad y conformidad con el alineamiento, niveles y secciones transversales especificadas.

Estos trabajos tienen como objetivo principal, facilitar la acción de los mezcladores, además de homogenizar la capa de suelo a pavimentar. Los procesos se resumen en los siguientes pasos:

- Escarificar y disgregar el suelo.
- Eliminación de sobre tamaños y rocas del suelo.
- Verificación de la humedad.
- Conformación preliminar de la rasante.

En este tipo de pavimentos, debido a su contenido de cemento, es recomendable que el suelo se encuentre con 5 o 10 puntos porcentuales mayor al valor de humedad óptima (dependiendo de las condiciones de humedad natural del suelo) antes de adicionar el cemento; ya que este, absorberá la mayor parte del agua. Esta actividad es importante para lograr la cantidad de agua necesaria (para hidratar el cemento y alcanzar la humedad óptima de compactación) la cual se completará posteriormente a la aplicación del cemento y a las operaciones de mezclado posteriores. Si está proyectado que la aplicación del agua será por medio de inyección directa a la carcasa del equipo escarificador - mezclador o inyección directa de lechada (cemento y agua) no será necesario humedecer previamente el suelo de acuerdo al lineamiento descrito en el párrafo anterior.

- **Colocación del cemento.** La distribución del cemento se podrá realizar de forma manual o mecanizada, cumpliendo con la dosificación mínima estipulada en el diseño de mezcla del proyecto.
- **Mezcla del suelo con el cemento.** Constituye la fase fundamental del proceso constructivo del pavimento. La homogeneización del material y la profundidad de mezclado son dos aspectos a garantizar en este proceso. El mezclado podrá realizarse utilizando equipos tipo mezclador - escarificador o motoniveladora, realizando para esta actividad el número de pasadas necesario para lograr obtener una mezcla homogénea. Es importante mencionar, que desde que se aplica el cemento el plazo de trabajabilidad de dos horas se deberá tener presente en los procesos que continúan.
- **Aplicación del agua.** Una vez se ha incorporado el cemento y mezclado con el suelo, se recomienda llevar la mezcla a la humedad de

compactación óptima, verificando constantemente los valores de humedad durante las operaciones de mezclado.

Antes de realizar el proceso de compactación del pavimento, se deberá revisar el contenido de humedad, con el objeto de comparar y cumplir con $\pm 2 \%$ de la humedad óptima de compactación del ensayo próctor AASHTO T-180 realizado previamente en laboratorio; además, se recomienda realizar zanjas o calas de observación en la mezcla suelta para asegurarse que el mezclado del suelo, cemento y agua sea eficiente en todo el espesor y que además la humedad sea uniforme en todo el espesor tratado. La aplicación del agua, en los procesos mencionados podrá realizarse utilizando camión cisterna convencional con distribuidor de agua.

- **Compactación.** Los principios que gobiernan la compactación del Pavimento Unicapa, son los mismos que rigen la compactación de suelo cemento o bases tratadas con cemento. El mezclado y compactado se deberá concluir en un plazo no mayor de 2 horas.

Con el objetivo de lograr una compactación integral en todo el espesor y evitar también reajuste o nivelación de la capa, se recomienda efectuar el proceso de compactación en dos fases.

La primera, inmediatamente después del mezclado, en la cual se deberá lograr una densidad cercana a la especificada utilizando un rodo de al menos 8 toneladas tipo pata de cabra, posteriormente se deberán realizar pequeños ajustes en el perfil de la vía utilizando motoniveladora, para que en una segunda fase finalizar el proceso de compactación con un porcentaje de al menos 95 % de AASTHO T-180, utilizando para esto un

rodo liso vibratorio de 8 a 10 toneladas garantizando una superficie densa, libre de surcos, arrugas y material suelto.

- **Curado.** Una vez finalizado el proceso de compactación, el pavimento debe protegerse para evitar que la humedad de la mezcla compactada se evapore rápidamente, permitiendo hidratar completamente el cemento.
- **Apertura al tráfico.** Por su naturaleza estructural, los PUAD están concebidos para realizar apertura inmediata al tráfico de construcción y público. No se permitirá el paso vehicular sin que dicha capa cuente con la membrana asfáltica y el material de secado.

Actividad o Material	Característica	AASHTO	ASTM	Frecuencia Mínima	Valor Mínimo	Valor Máximo	Punto de Muestreo
Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño	Granulometría	T-11, T-27		Una muestra cada 1000 m ³	Según Diseño		Después de mezclado
	Índice Plástico	T-90	D-4318	Una muestra cada 1000 m ³	N/A	25	Del acopio
	Relación Densidad - Humedad	T-180		Una muestra cada 2000 m ³ , o cambio de material (banco)	N/A	N/A	Del acopio
	Espesor (núcleos)		D-6236	Una muestra cada 250 ml	Valor Meta - 0.5 cm	N/A	Cada capa compactada
	Resistencia a la Compresión		D-5102	Tres especímenes cada 1000 m ³ o por cada día de producción (si la producción es menor)	7 kg/cm ² ensayado a la edad de 7 días	N/A	Después de Mezclado
	Densidad de Campo y Humedad (cono/densímetro nuclear)	T-191, T-310		Una muestra cada 100.00 ml/carril o tramo trabajado si es menor de 100 ml	95% de T-180	100% de T-180	Cada capa compactada

Tabla 2.14 Muestreo y Pruebas

FUENTE: Condiciones Técnicas para Vías No Pavimentadas del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

2.2.4 ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

La estabilización de suelos con emulsiones asfálticas tiene una amplia aplicación en distintas tareas de la construcción vial. Entre las tareas más usuales se encuentran la obtención de materiales de alta resistencia para bases y el estabilizado de caminos de bajo tránsito.

Hay varios factores a favor del uso de las emulsiones asfálticas, frente a otros productos asfálticos:

- Es un producto apto desde el punto de vista ecológico ya que lo único que libera al medio es agua.
- Dado que las emulsiones se trabajan a temperatura ambiente, no requieren calentamiento para su manipulación ni para su empleo en obra disminuyendo así los riesgos de quemaduras en los operarios.
- Además, como el medio dispersante es agua las emulsiones no son inflamables ni emanan vapores de hidrocarburo hacia la atmósfera.

El hecho de aplicar esta técnica en caminos de bajo tránsito implica cambiar la metodología de trabajo pero no disminuir las exigencias de calidad de los materiales ni del proceso constructivo y del mantenimiento posterior.

La estabilización con emulsión asfáltica es muy adaptable a la construcción por etapas, en la que nuevas capas se agregan en la medida que el tráfico aumenta.

Este tipo de estabilizaciones se utilizan también en bases y al mejorar la calidad de la base también se mejora su comportamiento mecánico, por tanto, con un menor espesor de la capa se tendrán iguales o mejores valores de soporte. Este menor espesor reduce el acarreo de materiales pétreos y los insensibiliza a la acción del agua.

2.2.4.1 DEFINICIÓN DE EMULSIÓN ASFALTICA

Es una dispersión fina más o Menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales no son miscibles entre sí y están unidas por un emulsificante, emulsionante o emulgente.

Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa).

Existe una dimensión lineal en el tamaño de la fase discreta entre el nanómetro y una micra. Debido al tamaño tan pequeño las emulsiones adquieren propiedades muy importantes. Las emulsiones son tan complejas, ya que involucra física, química, biología, etc.

Hay varios tipos de dispersiones de partículas de diferentes tamaños en diferentes tipos de medios; dentro de éstas se encuentran las emulsiones, las que son dispersiones de un líquido en otro.

Lo que a las emulsiones le da más propiedades no es su composición química, ni su origen, ni su estado físico, si no su tamaño.

Las desventajas de las emulsiones asfálticas son principalmente el tiempo de fraguado que estas requieren, la complicada química y reología que se desarrolla en las emulsiones, pues los compuestos químicos presentes en el asfalto como los asfáltenos y maltenos son variables y de diferente naturaleza química.

2.2.4.2 COMPOSICIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

La composición de las Emulsiones Asfálticas Catiónicas consisten de tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsivo. En algunos casos estas emulsiones pueden contener otros aditivos. El cemento asfáltico es el elemento básico, en la mayoría de los casos constituye entre 50 % a un 75 % de la emulsión, la dureza de la base de cemento asfáltico puede variar en un rango de penetraciones 60-250.

En ocasiones, las condiciones climáticas pueden requerir una base asfáltica más dura o más blanda. En cualquier caso, la compatibilidad química entre el agente emulsivo y el cemento asfáltico es esencial para la fabricación de una emulsión estable. El agua potable para la fabricación puede no ser adecuada para las emulsiones asfálticas y el Agente Emulsivo llamado también agente tenso activo o surfactante. Este mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura.

Las propiedades más importantes de este producto son la facilidad en dilución con agua, aunque sea con algún disolvente, viscosidad, color estabilidad, para un tipo dado de emulsificante, estas propiedades mencionadas dependen de la fase continua, razón entre fase externa e interna y tamaño de partícula.

El objetivo de una buena formulación (para fabricación) de la emulsión es lograr una dispersión estable del cemento asfáltico en agua suficientemente estable para ser bombeada, almacenada durante tiempo prolongado, y mezclada. Mas aun, la emulsión deberá "romper" rápidamente tras entrar en contacto con el agregado en un mezclador. "Rotura" es la separación del agua del asfalto. Al curar, el residuo asfáltico conserva toda la capacidad adhesiva, la durabilidad, y la resistencia al agua propias del cemento asfáltico con el cual fue elaborada.

2.2.4.3 PROPIEDADES DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Las propiedades de las emulsiones asfálticas pueden clasificarse en dos grupos:

a) **Propiedades Intrínsecas.**

Son aquellas propiedades que le son propias, y que no dependen de los productos minerales con los que se emplean. Estas propiedades son la viscosidad, cohesión y la estabilidad al almacenamiento.

- **Viscosidad.** La Viscosidad es la propiedad de un material sometido a una tensión cortante en oponer resistencia a la velocidad de deslizamiento de unas capas sobre otras.
- **Cohesividad.** La cohesión interna del ligante, puede definirse como la resistencia al corte del ligante. Depende de varios factores, siendo el más importante la viscosidad. La cohesividad presenta un valor óptimo que corresponde con un rango de viscosidad dada y que depende de la temperatura.

Así por debajo de una cierta temperatura el ligante, bajo el efecto de una acción mecánica, se convierte en producto demasiado duro, “quebradizo”; por el contrario, si la temperatura sobrepasa un determinado valor, el ligante se vuelve demasiado fluido, es demasiado “blando” para resistir a los esfuerzos de tracción.

- **Estabilidad de Almacenamiento.** En las emulsiones de asfalto, las gotas de aceite son relativamente grandes. Debido a que el área de la superficie es grande por gota, la energía por gota es alta y no puede ser compensada por sus contribuciones de entropía.

La estabilidad de un semejante sistema disperso está caracterizado por como serán dispersados, como está su superficie cargada, y como son las partículas pequeñas. Los mecanismos de estabilidad de más interés para las emulsiones asfálticas son: la sedimentación, floculación, coalescencia, inversión y maduración de Ostwald.

b) Propiedades Extrínsecas.

Son aquellas que se encuentran relacionadas con su comportamiento en los diferentes campos en los que son utilizadas. Se trata de la velocidad de rompimiento, potencial zeta y la adhesividad.

- **Velocidad de Rompimiento.** La velocidad de rompimiento está controlada básicamente por el tipo específico y concentración del emulsificante. Sin embargo, hay otros factores enumerados más adelante, que juegan también un importante rol en el rompimiento de la emulsión.

Con el fin de alcanzar resultados óptimos, es necesario controlar todos esos factores para satisfacer los requerimientos específicos del uso en obra de las emulsiones asfálticas.

- **Potencial zeta.** El potencial zeta es un concepto importante para comprender desde el o como resultado de el, la mayoría de propiedades de flujo de la emulsión.

El potencial zeta es un potencial eléctrico entre la superficie de la partícula de asfalto y la solución masa. El potencial zeta es determinado por el emulsificante absorbido dentro de la superficie del asfalto, por una doble capa de iones y el contenido existente en la solución que rodea cada partícula de asfalto.

La forma de la doble capa depende de la concentración y de la densidad iónica del emulsificante y el pH.

Un potencial zeta grande indica una gran capa doble, más rápido movimiento y gran repulsión entre las partículas, mientras más grande es la repulsión produce mayor estabilidad. El pH afecta la manera en la cual el asfalto absorbe el emulsificante y esto es crítico para la doble capa y al potencial zeta.

Incrementando la concentración del emulsificante comprime la doble capa; esto en hecho disminuye el potencial zeta pero aumenta la cantidad de emulsificante, incrementando la estabilidad por la protección coloidal.

Por esta razón siempre es mejor escoger el emulsificante para una mejor aplicación que intentando el rompimiento lento o hacerlo más rápido para ajustar la concentración del emulsificante.

En las emulsiones catiónicas no es a menudo posible el hacer un colocado lento usando un emulsificante de colocado rápido debido al alto potencial zeta de tales emulsificantes.

El potencial zeta puede ser medida con la ayuda de un zetámetro cuyo principio consiste en someter la emulsión a estudiar a la electroforesis y a anotar el desplazamiento de las partículas bajo un campo eléctrico dado.

Se ha establecido que las emulsiones catiónicas rápidas tienen un potencial zeta de 100 a 130 mV, mientras que en el caso de las emulsiones catiónicas superestables su potencial zeta es de aproximadamente 20 mV.

Este concepto de potencial zeta presenta pues, un gran interés tanto para la investigación como para la puesta a punto de formulaciones de emulsiones.

La medida de movilidad electroforética de las emulsiones permiten sacar las siguientes conclusiones: cuanto más elevado sea el potencial zeta del emulsificante catiónico, más catiónica es la emulsión catiónica y más elevada será su velocidad de rompimiento.

De manera inversa, un bajo valor de potencial zeta es señal de una emulsión estable que presenta una baja velocidad de rompimiento.

El comportamiento de la emulsión es similar a la que puede observarse cuando se ponen en contacto la emulsión y los agregados. En efecto, prácticamente todos los agregados tiene una pequeña carga negativa que atrae a los glóbulos de asfalto cargados positivamente.

La velocidad de rompimiento de la emulsión sobre los agregados es directamente proporcional al potencial zeta de la emulsión utilizada que depende a su vez del potencial del emulsificante.

Además hay que hacer notar que el potencial zeta está en función a la vez de la concentración del emulsificante y el pH de la solución considerada.

La figura 2.9 demuestra que para un surfactante dado y una concentración determinada el potencial zeta alcanza un máximo para un pH igual a 4; por último, el potencial zeta de los emulsificantes normalmente utilizados varían entre 15 y 150 mV.

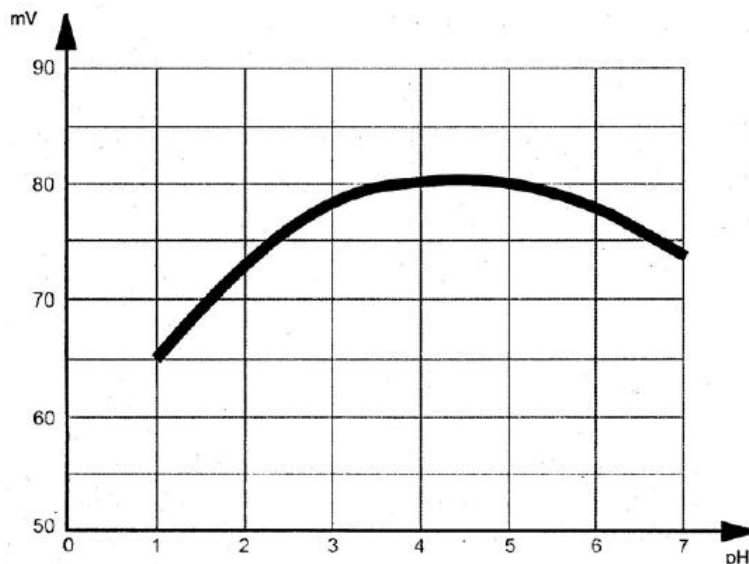


Figura 2.9 Gráfico de Relación Milivoltios (mV) contra Ph

FUENTE: Juárez Recinos, Marvin Rubén; Tesis: “Estabilización de Caminos de Balasto con Emulsión Asfáltica, como una alternativa para el mantenimiento de carreteras”

- **Adherencia.** La adherencia es la resistencia tangencial que se produce en la superficie de contacto de dos cuerpos cuando se intenta que uno deslice sobre otro. En las emulsiones asfálticas solamente es satisfactoria si cumplen estas dos condiciones:
 - Que el ligante puede entrar en contacto con los cuerpos presentes, especialmente con los agregados. Para conseguir esto el ligante debe ser, no solo suficientemente “líquido”, lo que ocurre prácticamente siempre (salvo circunstancias anormales tales como la presencia de sal en el asfalto, por ejemplo), sino que el ligante debe ser “mojante”, lo que es más difícil en la emulsiones catiónicas que en las aniónicas. Esta primera condición de la adhesividad se denomina adherencia activa.
 - Es preciso también, si la primera condición ha sido cumplida, que los componentes “unidos” entre sí (el ligante y el agregado), no se separen en presencia de un agente perturbador, por ejemplo, el

agua; este efecto se manifiesta en particular en presencia de partículas finas como los fillers, bajo la acción del tráfico. Esta segunda condición se denomina adherencia pasiva.

En lo que concierne a las emulsiones de asfalto la adherencia del par agregado/ligante se explica en la tabla 2.14.

Material	Emulsión Catiónica	Emulsión Aniónica
Material electropositivo (caliza, basaltos)	<ul style="list-style-type: none"> • Reacción entre el agregado calizo y el ácido. • Formación de un carbonato de amina insoluble 	<ul style="list-style-type: none"> • Atracción de las gotas de asfalto cargados negativamente. • Formación de un jabón cálcico insoluble
Material electronegativo (sílice, granito, cuarcita)	<ul style="list-style-type: none"> • Atracción de las gotas de asfaltos cargados positivamente. • Formación de un silicato de amina insoluble. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se produce atracción ni reacción alguna. • No existe adhesividad.

Tabla 2.15 Relación de Adherencia entre el Agregado Mineral y el Ligante Asfáltico.

FUENTE: Juárez Recinos, Marvin Rubén; Tesis: “Estabilización de Caminos de Balasto con Emulsión Asfáltica, como una alternativa para el mantenimiento de carreteras”

De hecho, la mayor parte de los agregados utilizados en las técnicas de carreteras están constituidos por materiales mixtos, lo que explica la utilización casi exclusiva de las emulsiones catiónicas.

2.2.4.4 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Cuando las emulsiones asfálticas se emplean como agentes estabilizantes de los suelos, tienden a producir distintos efectos según el tipo de suelo que deba estabilizarse. En líneas generales, los efectos se dividen en tres grupos principales:

- a) Suministrar resistencia cohesiva a suelos sin cohesión propia, tales como arenas limpias, donde la emulsión asfáltica actúa como agente ligante de las partículas. Este tipo de estabilización es generalmente llamada “Arena-Emulsión”.
- b) Estabilizar el contenido de humedad de los suelos finos cohesivos. Este tipo de estabilización se denomina “Suelo-Emulsión”.
- c) Suministrar resistencia cohesiva e impermeabilizar suelos granulares que poseen altos valores de resistencia friccional. Se le conoce con el nombre de “Suelo-Arena-Emulsión”

Las emulsiones asfálticas son también usadas en caminos de tierra o grava a los efectos de lograr una superficie libre de polvo, impermeable al agua y resistente a la abrasión del tránsito. Este tratamiento se utiliza para suelos gruesos o finos con plasticidad donde sólo se desea un tipo inferior de camino.

Cuando se tratan los suelos con o sin cohesión propia con emulsiones asfálticas, es con un único propósito de lograr su estabilización. Se debe destacar que existe una marcada diferencia en la conformación y comportamiento de la estructura inerte-betún según se utilice uno u otro material como agregado. Por lo tanto, para comprender el papel que desempeña en dicha estructura cada uno de sus componentes, debe efectuarse el análisis teórico considerando las estructuras separadamente:

a) Sistema Suelo-Emulsión

En este sistema la estabilidad de la estructura depende esencialmente de la fricción interna del árido y de la cohesión del ligante arcilla-agua del mismo. La emulsión actúa como agente impermeabilizante impidiendo así el acceso de agua al suelo y su acción perjudicial sobre el ligante arcilla-agua.

Como concepto fundamental se debe destacar que en este sistema la función primordial de la emulsión asfáltica no es producir cohesión sino proteger la cohesión del ligante arcilla-agua.

Con respecto a la forma como actúa la emulsión para producir el efecto impermeabilizante en los suelos se admite que el ligante bituminoso obtura los conductos capilares del suelo impidiendo el acceso de agua una vez que la humedad de la mezcla se vaya parcialmente evaporando, permitiendo así adquirir a la misma, la estabilidad necesaria para soportar las sollicitaciones a que estará sometida.

En apoyo a estas hipótesis puede citarse el hecho de que aumentando el tiempo de mezclado del suelo con el material bituminoso, más allá de ciertos límites, se verificaría una sensible disminución de la estabilidad de la mezcla a causa de una mayor distribución del betún que va a recubriendo paulatinamente las partículas del suelo perturbando así el efecto cohesivo del ligante arcilla-agua. Por otra parte, es fácil verificar mediante observaciones con lupa de gran aumento que el betún se fija en los conductos capilares del suelo.

Asimismo, si a un suelo con plasticidad se le adiciona una cantidad excesiva de emulsión como para recubrir sus partículas, se observaría una sensible pérdida de estabilidad como consecuencia del mismo fenómeno.

b) Sistema Arena-Emulsión

En el segundo sistema donde el árido, de fricción interna adecuada, carece de cohesión propia, ésta debe ser aportada por la emulsión y por ello se observa que la cantidad de esta que interviene en estas estabilizaciones es superior a la del sistema anteriormente mencionado. En consecuencia la estabilización de

estas arenas con materiales asfálticos implica la incorporación, hasta cierto límite, de mayores porcentajes de emulsión hasta recubrir las partículas y producir así el efecto ligante entre ellas. Un exceso puede afectar la estabilidad del sistema por una disminución de la resistencia friccional de la arena.

c) Sistema Suelo-Arena-Emulsión

Por último, debe destacarse que pueden existir estabilizaciones bituminosas donde la emulsión asfáltica cumpla, con ambas funciones, es decir, aportando cohesión faltante e impermeabilizando el sistema.

En un estabilizado suelo-arena-emulsión cada componente cumple una determinada función. El suelo aporta cohesión a la mezcla, por eso es importante controlar los valores de plasticidad. La arena aporta sus propiedades friccionales carentes en el suelo. De aquí surge que la proporción óptima entre arena y suelo se logra cuando el suelo llena los espacios vacíos dejados por la arena. El asfalto, proveniente de la emulsión asfáltica, es el que hace la mezcla insensible al agua.

2.2.4.5 DISEÑO DE LA MEZCLA

Los métodos de dosificación de estas mezclas consisten en determinar el porcentaje óptimo de material bituminoso que confiere a las mismas, la estabilidad mínima necesaria para soportar las solicitaciones a que estarán sometidas, y la impermeabilización adecuada para evitar el acceso de agua a la mezcla.

La estabilidad se mide registrando las cargas, que soportan las probetas de mezcla antes de producirse su rotura o cuando llegan a una deformación máxima normalizada. La impermeabilización se valora mediante ensayos de absorción de agua por inmersión y/o capilaridad a los que se someten las probetas con porcentajes crecientes de asfalto.

La relación porcentual entre el peso de agua absorbida, según técnicas normalizadas, y el peso de la probeta seca, dará la absorción de agua la que a su vez deberá ser menor que un valor máximo admisible, según sea el método de dosificación utilizado.

En general, todos los métodos existentes se basan en un ensayo de estabilidad, que se hace con distintas cantidades de ligante, otro ensayo de absorción de agua y, a veces, un tercero de cambio de volumen. Otros métodos caracterizan la acción del agua, no solo por la absorción, sino por la estabilidad conservada después de sumergir las probetas en agua durante un periodo de tiempo prolongado. A continuación se describen brevemente los métodos más frecuentemente empleados para el diseño de la mezcla.

a) Método De Mc Kesson

Este método se refiere al empleo de suelo con valor significativo de la plasticidad, por supuesto que en ningún caso se consideran suelos de plasticidad elevada, que ya se ha dicho no son de conveniencia estabilizar con betún por los métodos corrientes.

Nos vamos a referir en primer lugar al procedimiento seguido por Mc Kesson, quien emplea emulsiones bituminosas como agente estabilizante, pero antes de entrar a detallar el mismo diremos que esta segunda orientación se basa en general en la utilización de ensayos de Absorción y Resistencia al escurrimiento plástico de los suelos, antes y después de ser tratados.

La resistencia mencionada se lleva a cabo siguiendo los mismos conceptos del clásico ensayo de Hubbard-Field, establecido para mezclas asfálticas de recubrimiento con granulometría fina (sheet-asphalt) y luego hacia las de granulometría superior.

Para llevar a cabo los ensayos (según forma modificada) propuesta en “Procedures for Testing Soils”, (ASTM 1944) el suelo una vez secado al aire será tamizado por el tamiz No 4 empleándose en las determinaciones, sólo la fracción librada por dicho tamiz; se necesitan por lo menos 250 gramos del material para cada probeta a formarse (tamaño dos pulgadas de diámetro por cuatro pulgadas de altura).

Con dicha cantidad se irán preparando las probetas de suelo sin tratar en número de tres, para lo cual el mismo será llevado a la consistencia del límite líquido. Las probetas de suelo tratado con emulsión se ejecutarán en igual número que en el caso anterior para cada porcentaje de estabilizante agregándosele al suelo la emulsión diluida en dos partes iguales de agua; la cantidad de estabilizante que debe adicionarse se calculará por la fórmula siguiente:

$$Q = W \frac{S}{a}$$

Donde:

Q : es el peso en gramos de emulsión no diluida a emplearse.

W : es el peso en gramos del material tamizado a mezclarse.

S : es el porcentaje de emulsión, que corresponde al suelo seco no tamizado.

A : es el porcentaje de suelo librado por el tamiz No 4.

En consecuencia, el porcentaje de emulsión a emplear se calcula como si la fracción del suelo retenida por el tamiz No 4 hubiera sido restituida al mismo. Una vez en contacto el suelo y la emulsión se mezclarán íntimamente, agregándose agua adicional hasta que la mezcla tome la consistencia del límite líquido de aquel.

La proporción de estabilizante, denominada anteriormente con la designación **S** se determinará por la siguiente fórmula, tomando **K** los valores de 1,00, 1,25 y

1,50 para las tres series de probetas que deben ensayarse: si el valor de S determinado por la fórmula resultara menor que 4 %, los tres porcentajes se tomarán con el 4%, 4,5% y 5% de estabilizante.

$$S = K \frac{n}{100} (0.55a + 0.11b + 0.40c)$$

Donde:

- a : porcentaje del suelo pasando el tamiz No 10, que es librado por el No 200 (por análisis hidrométrico) y mayor que 0.005 mm,
- b : porcentaje, basado en la cantidad de suelo que pasa el tamiz No 10, de arcilla inferior a 0.005 mm, mayor de 0.001 mm
- c : porcentaje, basado en la cantidad de suelo que pasa el tamiz No 10, de arcilla coloidal más fina que 0.001 mm.
- n : porcentaje total de suelo (o mezcla de suelos) librados por el tamiz No 10.
- k : constante para cada tipo de suelo, será determinada por los ensayos de absorción y estabilidad, excepto cuando se dan valores arbitrarios como en el caso presente.

Preparada la mezcla del suelo y estabilizante o de suelo sólo en la forma ya descrita, la misma será dejada secar al aire a temperatura ambiente del laboratorio hasta que adquiriera la consistencia del límite plástico. Posteriormente, será colocada en un molde cilíndrico de 2 pulgadas de diámetro y 5 pulgadas de altura, a fin de moldear las probetas: éstas se formará en dos capas, golpeadas cada una 25 veces con un pisón de 1 pulgada de diámetro empleado en los ensayos de los suelos sin plasticidad, hasta alcanzar una altura compactada de 4 pulgadas más 1/8 pulgada.

Las probetas así moldeadas se dejarán airear nuevamente hasta que puedan ser comprimidas bajo una carga de 3000 libras sin expulsar agua alrededor del

pistón; esta carga compresora se mantendrá por un espacio de un minuto de modo que la altura final de la probeta alcance las 4 pulgadas.

Posteriormente se sacarán del molde y dejarán airear en el laboratorio hasta alcanzar un contenido de humedad, debajo del cual no se produce contracción aparente, después de lo cual, las probetas se colocarán en estufa a 60 °C, hasta peso constante.

Ensayo de Absorción

Las probetas secadas a estufa se dejarán enfriar a la temperatura del laboratorio, y luego serán envueltas en papel impermeable, tipo celofán, en su contorno lateral y cara superior, para no restringir cualquier hinchamiento que se produjera.

Se pesarán con aproximación de un décimo de gramo y serán colocadas en el gabinete de absorción capilar, con su parte inferior de moldeo apoyando en la superficie húmeda del mismo; el gabinete se mantendrá a temperatura comprendida en 18 °C y 32 °C durante todo el periodo de ensayo que es de 7 días, después de los cuales, el aumento de peso, calculado en porcentaje del suelo seco será registrado como valor de absorción.

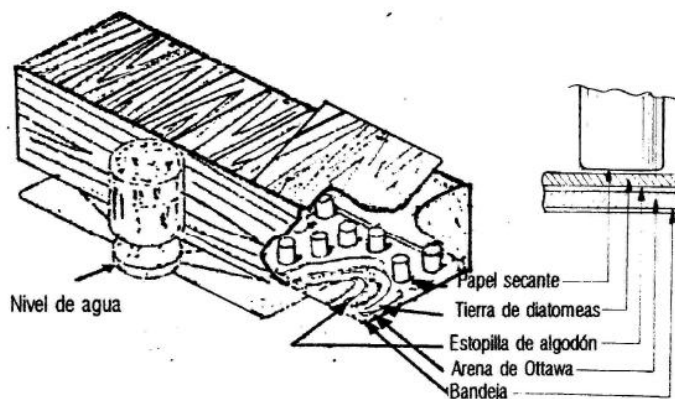


Figura 2.10 Cámara para Ensayo de Absorción

FUENTE: Artículo Digital "Estabilización con Materiales Asfálticos"

Ensayo de resistencia al escurrimiento plástico

Se lleva a cabo con las probetas sometidas previamente al ensayo de absorción. El cilindro de ensayo tiene 2 1/2 pulgadas en su diámetro exterior, 5 pulgadas de altura y un espesor de pared de 5/8 pulgadas, estando provisto en su parte inferior de un plato perforado con orificio de una pulgada cuadrada (8,45 cm²) de sección para la expulsión.

El pistón que transmite la carga tiene un diámetro de 2.00 pulgadas, más o menos 0.01 pulgada (Figura 2.11). Para operar se empieza por colocar la probeta con su extremo de absorción hacia abajo, dentro del cilindro de ensayo, cuyo orificio inferior en su plato perforado ha sido previamente clausurado mediante un adecuado tapón.

Así, pues, la probeta será apretada a mano dentro del cilindro, contra el citado tapón, removido el cual, se aplicará la carga, una vez colocado el pistón compresor en el cilindro, éste en su soporte y el conjunto en la máquina de compresión se irán registrando las cargas, para cada media pulgada de expulsión de la mezcla, pero sólo la carga al cumplirse la primer media pulgada, es considerada con la resistencia al escurrimiento plástico.

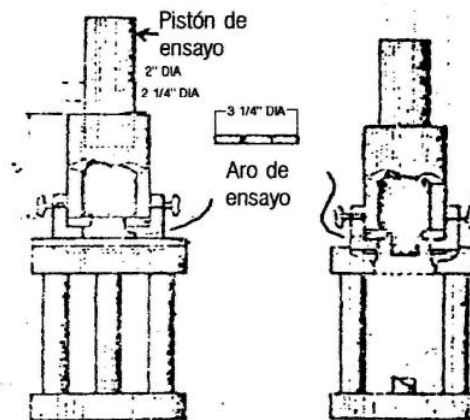


Figura 2.11 Dispositivos para Ensayo de Estabilidad Mc Kesson
FUENTE: Artículo Digital "Estabilización con Materiales Asfálticos"

Se considera que la estabilización es efectiva, cuando la absorción acusa valores inferiores al 12 % de la registrada en las probetas de suelo solo sin tratar (\pm el $\frac{1}{2}$ %); y cuando la estabilidad (resistencia al escurrimiento plástico) es igual o superior a 6800 kilogramos.

b) Método Hubbard Field Modificado

Este método, normalizado por la ASTM bajo la designación D915-81, se utiliza como en caso anterior para mezclas del tipo “Suelo-Emulsión”, es decir, en la estabilización de suelos con plasticidad.

Las probetas de suelo-asfalto de dos pulgadas de altura, se preparan con el dispositivo indicado en la Figura 2.11 bajo una carga estática de 6000 libras. Después de permanecer las probetas sumergidas en agua hasta la mitad de su altura durante 7 días, se determina su expansión y la absorción de agua.

Posteriormente las probetas son ensayadas en el dispositivo indicado en la Figura 2.12, midiendo la carga máxima requerida para provocar la extrusión de la probeta por el orificio a una velocidad de penetración del pistón de 1 pulgada por minuto. Para un comportamiento satisfactorio se requiere que tanto la expansión como la absorción de agua sea inferior a 2 % y, la estabilidad debe superar las 400 libras.

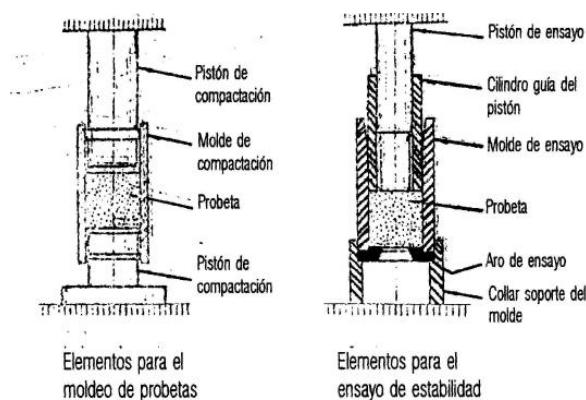


Figura 2.12 Dispositivos para el Ensayo Hubbard-Field Modificado
FUENTE: Artículo Digital “Estabilización con Materiales Asfálticos”

2.2.4.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En general, todos los métodos existentes se basan en un ensayo de estabilidad, que se hace con distintas cantidades de ligante, otro ensayo de absorción de agua y, a veces, un tercero de cambio de volumen.

Otros métodos caracterizan la acción del agua, no solo por la absorción, sino por la estabilidad conservada después de sumergir las probetas en agua durante un periodo de tiempo prolongado.

La emulsión adecuada para cada suelo se determina previamente mediante ensayos de envuelta eficaz y de estabilidad o tiempo de manejabilidad de la mezcla.

En los suelos de grano fino, y cuanto menores sean las partículas, mas importante será la estabilidad de la emulsión y la necesidad de formar una mezcla homogénea y resistente, una vez compactado el suelo.

Esta resistencia debe conservarse en proporción importante después de periodos prolongados de inmersión en agua. Estos resultados deben ser obtenidos en laboratorio.

a) Materiales

Los agregados deberán cumplir con las siguientes especificaciones:

CONDICIÓN	SUBRASANTE
Tamaño Máximo	75 mm
% Máximo Piedra	-
Índice de Plasticidad	< 10%
Abrasión, Los Ángeles	< 60%
Tipo Material	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3

Tabla 2.16 Especificaciones para Agregados.

Según el AASHTO M-147, para afirmados tenemos:

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA	
	A-1	A-2
2"	100	-
1 ½"	100	-
1"	90 – 100	100
¾"	65 – 100	80 – 100
3/8"	45 – 80	65 – 100
No. 4	30 – 65	50 – 85
No. 10	22 – 52	33 – 67
No. 40	15 – 52	20 – 45
No. 200	5 - 20	5 - 20

También:

Abrasión, Los Ángeles	: 50% máx.
Límite Líquido	: 35% máx.
Índice de Plasticidad	: 4 - 9
CBR ⁽¹⁾	: 40% min.
Equivalente de Arena	: 20% min.

(1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm). Para Sub-Base granular.

Tabla 2.17 Especificaciones para Agregados según AASHTO M-147

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	GRADACIÓN A (1)	GRADACIÓN B	GRADACIÓN C	GRADACIÓN D
2"	100	100	-	-
1"	-	75 – 95	100	100
3/8"	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
No. 4	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
No. 10	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
No. 40	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
No. 200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

(1) La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.,

Tabla 2.18 Especificaciones para Agregados según AASHTO M-147

Además:

ENSAYO	< 3000 m.s.n.m.	≥ 3000 m.s.n.m.
Partículas con una cara fracturada	80% Mín.	80% Mín.
Partículas con dos caras fracturadas	40% Mín.	50% Mín.
Abrasión. Los Ángeles	40% Mín.	40% Mín.
Partículas Chatas y alargadas (1)	15% Mín.	15% Mín.
Sales solubles totales	0.5% Mín.	0.5% Mín.
Perdida con Sulfato de Sodio	-	12% Mín.
Perdida con Sulfato de Magnesio	-	18% Mín.

(1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1”.

(2) La relación ha emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud).

Tabla 2.19 Especificaciones para Agregados

Para bases Granulares:

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	GRADACIÓN A	GRADACIÓN B	GRADACIÓN C	GRADACIÓN D
2”	100	100	-	-
1”	-	75 – 95	100	100
3/8”	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
No. 4	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
No. 10	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
No. 40	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
No. 200	5 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Tabla 2.20 Especificaciones para Bases Granulares

Además:

VALOR RELATIVO DE SOPORTE, CBR	TRAFICO LIGERO Y MEDIO	Mín. 80 %
	TRAFICO PESADO	Mín. 100 %

Tabla 2.21 Valor Relativo de Soporte (CBR)

Los requerimientos para el Agregado Grueso (retenido en Malla No 4) son los siguientes:

ENSAYO	< 3000 m.s.n.m.	≥ 3000 m.s.n.m.
Partículas con una cara fracturada	80% Mín.	80% Mín.
Partículas con dos caras fracturadas	40% Mín.	50% Mín.
Abrasión. Los Ángeles	40% Mín.	40% Mín.
Partículas Chatas y alargadas (1)	15% Mín.	15% Mín.
Sales solubles totales	0.5% Mín.	0.5% Mín.
Perdida con Sulfato de Sodio	-	12% Mín.
Perdida con Sulfato de Magnesio	-	18% Mín.

Tabla 2.22 Especificaciones para Agregado Grueso

Los requerimientos para el Agregado Fino (pasa Malla N° 4) son los siguientes:

ENSAYO	< 3000 m.s.n.m.	≥ 3000 m.s.n.m.
Índice Plástico	4 % Max.	2 % Max.
Equivalente de Arena	35 % Mín.	45 % Mín.
Sales Solubles Totales	0.55 % Max.	0.5 % Max.
Índice de Durabilidad	35 % Mín.	35 % Mín.

Tabla 2.23 Especificaciones para Agregado Fino

La mezcla del suelo con la emulsión puede hacerse in situ o en una planta fija. En el segundo caso, El sistema de fabricación y el equipo es análogo al que se usa en mezclas para carpeta de rodadura. En la mezcla in situ pueden presentarse dos casos: que el suelo existente reúna las características adecuadas para su estabilización o que sea necesario aportar previamente otro suelo de características complementarias, que debe mezclarse homogéneamente con el primero antes de la aportación del ligante.

Las emulsiones asfálticas se deberán diseñar para obtener el ligante que tenga el mejor comportamiento con los áridos utilizados (adherencia), y se usará un cemento asfáltico base de una consistencia acorde a las condiciones de clima de la zona de trabajo. Estas emulsiones contienen mejoradores de adherencia mejorando más la adhesividad y el tiempo de vida.

Agua: Se deberá considerar el % del H₂O adecuado para lograr la producción de éstas. Se presentará el diseño de la emulsión asfáltica, de acuerdo a las normas del ASTM.

Afinidad Agregado Ligante

Se realizarán los estudios de afinidad agregado – ligante con los áridos finos y gruesos de acuerdo a las normas nacionales e internacionales. Este estudio es de vital importancia, y está íntimamente relacionado con el diseño de la emulsión. Se presentarán los ensayos Riedel Weber para los áridos finos (4° Min.) y el ASTM D-1664 para los áridos gruesos (+ 95 %), u otro ensayo más evaluativo.

b) PROCESO CONSTRUCTIVO.

Se indicarán brevemente las etapas constructivas que deban cumplirse para ejecutar una base de suelo-arena-emulsión. Las etapas correspondientes a la construcción de la mezcla in situ son las siguientes:

o Preparación de la mezcla de suelo y arena.

Una vez depositados in situ el suelo y la arena en caballetes, éstos deben ser unidos y mezclados con ayuda de la motoniveladora que formará finalmente un solo caballete ubicado en el centro de la calzada.

Por medio del mismo equipo se extiende en una capa de espesor uniforme en el ancho exigido para la base, y se pasa la mezcladora rotativa hasta obtener una mezcla más uniforme de los dos materiales la que, cuanto más secos estén más rápido se consigue.

Previo al paso de la etapa siguiente, una vez extendida la mezcla de suelo y arena se verificará la humedad existente en la misma. Como dicho contenido de humedad debe estar comprendido entre el límite plástico y el límite líquido

en el momento de incorporarle la emulsión, en caso de que hubiera que adicionarle el agua restante ésta se incorporará mediante el camión cisterna.

Este alto contenido de humedad es necesario para facilitar el mezclado con la emulsión evitando la rotura prematura de la misma y, además, se consigue una mejor uniformidad de mezclado.

○ **Incorporación de la emulsión y mezclado.**

Con la mezcladora rotativa se incorpora la emulsión asfáltica y se efectúa al mismo tiempo el mezclado de los materiales.

○ **Aireación de la mezcla.**

Una vez terminado el proceso de incorporación y mezclado de la emulsión se procede a levantar nuevamente la mezcla formando dos caballetes a ambos lados de la calzada.

Dicha operación se realiza con el objeto de facilitar que la sub-base sobre la cual se apoyará la base a construir, seque convenientemente el exceso de humedad que le ha transferido la mezcla en ejecución.

Posteriormente cuando la sub-base se encuentre bien seca se juntarán ambos caballetes en el centro de la calzada para orear el resto de la calzada. Cuando se aprecie que la sub-base está en condiciones recién se procederá a distribuir el material en todo el ancho posible a los efectos de comenzar la ventilación y desterronado.

La humedad debe ser reducida a la humedad óptima de compactación o a un punto menor de la misma. La ventilación se realiza con la rastra de disco o el arado de rejas y el desterronado se logra con el mezclado rotativo. Cambiando el caballete de lugar con la motoniveladora durante varios días también se logra disminuir el contenido de humedad existente de la mezcla.

○ **Compactación.**

Una vez que el material se encuentre convenientemente ventilado hasta su correcta humedad se procederá a distribuir la mezcla en el ancho especificado y en el espesor tal que una vez compactado se llegue al espesor de proyecto.

La compactación se comienza con los rodillos pata de cabra y al llegar a los 5 cm superiores aproximadamente de la base deberá escarificarse y volver a perfilar la capa. Posteriormente se completará la compactación con los rodillos neumáticos y lisos a fin de asegurar una correcta terminación de la superficie. Finalmente cuando sea retirado el equipo de compactación se procederá a perfilar nuevamente la base.

○ **Apertura al tráfico.**

Finalizada la compactación de la capa, ésta no debe imprimirse hasta tanto el contenido de humedad sea reducido aún más a valores tales que le permitan a la mezcla adquirir la estabilidad mínima necesaria. Durante el proceso de compactación no se ha producido aún la rotura de la emulsión asfáltica. Para que esto ocurra y el residuo asfáltico de la emulsión pueda cumplir su función estabilizante es necesario que se evapore el agua de la mezcla que incluye el agua propia de la emulsión asfáltica.

Cuando en la mezcla compactada, a medida que se va evaporando el agua remanente, se produce la rotura de la emulsión, la base va adquiriendo mayor estabilidad. Por tal motivo, en general, no imprimir la base hasta que su contenido de humedad remanente sea inferior al 60 % de la humedad óptima de compactación. Sin embargo, en todos los casos deberá conocerse la curva Estabilidad (compresión simple, etc. CBR) en función de la humedad remanente a los efectos de determinar en qué momento puede efectuarse el riego de imprimación y habilitar la base al tráfico hasta tanto sea cubierta por la capa de rodamiento.

2.2.5 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLA MIXTA (CAL+CEMENTO)

Una de las aplicaciones de las estabilizaciones de suelos que mayores posibilidades de empleo tienen son las estabilizaciones mixtas, en las que se aplica cal y cemento, de tal forma que se optimiza el empleo de ambos tipos de conglomerantes.

2.2.5.1 DEFINICIÓN DE ESTABILIZACIÓN MIXTA

La estabilización mixta (cal + cemento) es una opción muy interesante en la que primero, mediante un pequeño porcentaje de cal se logra mejorar la ligera plasticidad que puede presentar un material dejándolo en óptimas condiciones para, a continuación, tratarlo mejor con cemento.

Aplicando este tipo de estabilización los porcentajes requeridos de conglomerante son menores, lo cual implica numerosas ventajas técnicas y económicas.

También se puede recurrir a un tratamiento mixto en el caso de ejecutar capas tratadas con cemento en condiciones climatológicas adversas.

2.2.5.2 PROPIEDADES DE LA MEZCLA

En el caso de que los suelos a tratar con cemento presenten una humedad o una plasticidad excesivas, la corrección previa mediante un tratamiento con una dosis moderada de cal permite optimizar la acción del cemento sobre dichos suelos.

En el caso de suelos, sean del tipo que sean, con exceso de humedad natural, la adición previa de un porcentaje reducido de cal permite disminuir la misma hasta los valores aconsejables para su posterior tratamiento con cemento, debido a los efectos antes señalados.

Por otro lado, en suelos ligeramente plásticos, su mezcla previa con pequeños porcentajes de cal, permite su modificación inmediata, antes explicada, y así poder optimizar después las acciones del cemento sobre el suelo, reduciendo su dosificación inicial necesaria, y evitando los riesgos que esto conlleva.

En cualquiera de los dos casos, con el objeto de aprovechar al máximo la acción previa de la cal, la mezcla deberá realizarse en dos etapas. En una primera, se mezclará el suelo con la cal, mientras que el cemento no deberá incorporarse hasta que hayan transcurrido algunas horas.

Una vez realizado el pretratamiento con cal, los efectos del cemento son similares a los que se obtienen cuando se mezcla el mismo con suelos con poco finos.

Este tipo de estabilizaciones permiten:

- ✓ Lograr valores finales de elevada capacidad de soporte partiendo de suelos ligeramente cohesivos.
- ✓ El empleo de suelos que incumplen levemente los requisitos para ser empleados en la construcción de capas tratadas con cemento.
- ✓ La construcción de capas tratadas con cemento en condiciones climatológicas adversas.

2.2.5.3 TIPOS DE CALES UTILIZADAS EN ESTABILIZACIONES DE SUELOS PLASTICOS.

Los tipos de cales utilizadas en la estabilización mixta de suelos plásticos son las mismas que se utilizan en la estabilización simple con mezcla suelo-cal (ver tema 2.2.2.5).

2.2.5.4 TIPOS DE CEMENTOS UTILIZADOS EN ESTABILIZACIONES DE SUELOS PLASTICOS.

Los tipos de cementos que se utilizan en la estabilización mixta de suelos plásticos son los mismos que se utilizan en la estabilización con mezcla suelo-cemento (ver tema 2.2.3.3).

2.2.5.5 DISEÑO DE MEZCLA.

Los suelos con un Índice de Plasticidad menor o igual a 12 son suelos que reaccionarán mejor con el cemento. Los suelos cuyo IP sea mayor de 20 son suelos cohesivos, que reaccionarán mejor con la cal. Y los suelos cuyo IP este entre esos valores, entre 12 y 20, serán suelos más aptos para una estabilización mixta.

En el caso de suelos muy plásticos, con valores del IP superiores a 40, se debe realizar la estabilización con cal, y en dos etapas, para mejorar su eficacia.

Analizando la granulometría, lo que interesa es ver la fracción fina del suelo. En el caso de suelos muy finos, con más del 50 % que pase por el tamiz No 200, son claramente suelos aptos para reaccionar mejor con la cal.

Si el porcentaje de finos es menor del 35 %, son suelos aptos para el cemento. Y, como en el caso anterior, los suelos cuya fracción fina se encuentre entre el 35 y el 50 %, serán suelos para realizar una estabilización mixta cal + cemento.

Puede haber casos especiales en los que, a pesar de ser suelos muy finos, no sean plásticos. En estos casos, deberán realizarse ensayos con la cal y con el cemento para determinar cuál de ellos actúa mejor sobre el suelo.

a) Dosificación de la Cal.

Para determinar el óptimo de dosificación de la cal por volumen agregada a la masa natural del suelo para su estabilización, a través de un laboratorio se debe proceder a ejecutar sondeos para definir según clasificación SUCS o AASHTO el tipo de material existente.

Al suelo natural se le determinará su gradación así como el Límite Líquido, Límite Plástico, e Índice de Plasticidad (AASHTO T89 y T90) a fin de clasificarlo, igualmente su Densidad máxima y Humedad Óptima (AASHTO T180), su capacidad de soporte a la densidad máxima y humedad óptima (CBR) y finalmente el pH.

Deberá indicarse la dosificación de cal por peso y volumen para obtener un pH mínimo de 12.4, la capacidad de soporte (CBR) a la densidad máxima y humedad óptima (Procter modificado) del material con cal y la resistencia a la compresión in confinada (AASHTO T220) para especímenes moldeados para un próctor modificado (AASHTO T180) a los siete días de edad de 15 Kg/cm² mínimo.

b) Dosificación del Cemento

Se deben de preparar especímenes con diversas mezclas para realizar las pruebas de laboratorio pertinentes. Se preparan dos especímenes de cada mezcla con la humedad óptima obtenida en la prueba de compactación.

Posteriormente, se someten los especímenes a pruebas de resistencia a la compresión simple y a las pruebas adicionales que fuesen necesarias según lo determinan las necesidades del proyecto.

Tomando como referencia los parámetros anteriores, se harán diferentes muestras para encontrar el contenido óptimo de cemento que proporcione la resistencia de diseño.

2.2.5.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

a) Materiales

Los materiales consistirán en: cal, cemento, agua y el material existente de la vía, el cual deberá estar libre de materia orgánica y no deberá poseer partículas mayores a 75mm (3 pulgadas).

Cales.

- Cal viva. Debe cumplir con requisitos de AASHTO M216 (ASTM C977). Preferiblemente debe suministrarse en forma granular. Con 82 % de óxido de calcio disponible, según norma ASTM C25 inciso 28. Lo anterior será verificado en el certificado de calidad.
- Cal hidratada. De acuerdo con AASHTO M216 (ASTM C977). Con 65% de óxido de calcio disponible, según norma ASTM C25 inciso 28. Lo anterior será verificado en el certificado de calidad.
- Lechada de cal. A base de cal viva o cal hidratada, con un contenido de sólidos secos no mayor de 35% de la masa total de la lechada.

Cemento.

El cemento a utilizar podrá ser fabricado bajo la norma ASTM C-91 o ASTM C-1157. No se usará cemento de alta resistencia inicial; el cemento podrá adquirirse en bolsas o granel. No se admitirá cemento que se haya humedecido, deteriorado o mezclado con otros materiales durante el transporte, manejo o almacenamiento.

Agua

El agua a utilizar presentará características adecuadas para propósitos de construcción, su inspección será visual.

b) Proceso Constructivo.

Se aplica a materiales granulares para superficie de rodadura (grava sucia, grava arcillosa, grava areno arcillosa) utilizando preferentemente la mezcla en carretera y alternativamente la mezcla en planta. También se usa para estabilizar suelos finos de subrasantes. Las etapas básicas de construcción son las siguientes:

- **Tendido y conformación.** Los materiales externos para una nueva subrasante o nueva capa de superficie deben colocarse de conformidad con el espesor especificado, ya sea por volteo en pilas o por camellones con un equipo esparcidor. Deberá tomarse en cuenta la reducción de espesor que se producirá después de mezclar y compactar la capa.
- **Escarificación y pulverización parcial.** Después que el suelo haya sido conformado a la alineación y rasante requeridas, la capa de superficie de rodadura puede ser escarificada al ancho y espesor requeridos. Previamente deben removerse raíces, basura y agregados mayores de 75 mm (3”).

El material escarificado debe ser conformado en camellones o colchones adecuados para efectuar la mezcla. Los equipos a usar pueden ser una motoniveladora u otro equipo escarificador.

- **Aplicación de los materiales estabilizadores** Pueden ser aplicados en seco, preferiblemente por equipo distribuidor u otro sistema esparcidor, que asegura la dosificación mínima y la homogeneidad de la mezcla. También pueden aplicarse manualmente (sacos). El agua se aplica por métodos aprobados para alcanzar el contenido de humedad requerido. En algunos casos, es adecuada la aplicación en lechada, mezclando previamente la cal y cemento o aditivos con agua, en camiones con tanque agitador y distribuidor, o por mezcladoras rotativas operando directamente sobre el suelo escarificado y que mezclan inmediatamente después de cada pasada.

Nota: Si se aplica cal viva en forma de camellones o si se emplean equipos mezcladores – pulverizadores o mezcladoras rotativas, no se requiere de escarificación y pulverización previa.

- **Mezcla y pulverización.** Se realiza sobre el espesor completo de la capa tendida a estabilizar o al espesor existente.
 - **Mezcla preliminar en carretera.** El material tratado debe mezclarse, pulverizarse y homogeneizarse, agregándole la cantidad de agua necesaria para llevar la mezcla a un 3% arriba de la humedad óptima requerida. El material debe mezclarse preferiblemente por medio de recicladora, mezcladora rotativa, mezcladora-pulverizadora o motoniveladora solos o combinados.
 - **Mezcla preliminar en planta** Se emplea preferentemente para materiales granulares externos y se efectúa en dosificadoras-mezcladoras que produzca una mezcla homogénea con la humedad apropiada.

- **Maduración** Al estabilizar suelos fuertemente arcillosos, generalmente se hace necesario mezclar la capa suelo-cal en dos etapas: una mezcla y pulverización preliminar un período de maduración de 3 ó más días para que la reacción química cal-arcilla pulverice el material arcilloso y luego una mezcla y pulverización final, previa a la compactación.

Nota: Para suelos de baja o mediana plasticidad o para suelos en que el secado es la meta del tratamiento, usualmente no se requiere del período de maduración.

- **Mezclado y pulverización final en la carretera**, después del período de maduración, debe continuar hasta que el 100% del material no pétreo pase el tamiz de Ø 1", y al menos el 60% de ese material pase el tamiz No. 4.

Nota: Si se tiene seguridad de que este requisito de pulverización puede lograrse durante el mezclado preliminar, los pasos anteriores pueden ser eliminados.

- **Conformación y compactación.** La capa estabilizada debe conformarse y ajustarse a los espesores, alineaciones y secciones típicas de pavimentación establecidas, y luego compactada a la densidad requerida por las especificaciones. La compactación debe hacerse preferiblemente, inmediatamente después del mezclado. La compactación en una sola capa puede hacerse con rodillo pesado, liso vibratorio y rodillo pesado de neumáticos. Puede usarse también una combinación de rodillos de pata de cabra y de neumáticos livianos, seguida de una compactación final con rodillo liso pesado o compactadora pesada de llantas neumáticas.

- **Curado** Antes de colocar una nueva capa, de rodadura, la subrasante, o capa de superficie de rodadura, deben dejarse endurecer hasta que puedan soportar tráfico previsto sin causar ahuellamiento en la superficie. Durante este tiempo, el material estabilizado se mantiene húmedo aplicando agua nebulizada esparcida sobre la superficie o un curado a base de membrana, sellando la capa compactada con una o más aplicaciones de un riego imprimador de emulsión asfáltica de grado SS ó CSS, en una cantidad de 0.45 a 0.90 litros por metro cuadrado de superficie. El período de curado debe ser por lo menos de 7 días.
- **Juntas de Construcción** Para enlazar la operación de cada día con el trabajo terminado el día anterior, se debe remezclar aproximadamente 0.5 m de la capa completada anteriormente, agregándole el 50% de la cantidad original de cal + cemento, antes de procesar las secciones adicionales.

2.3 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES UTILIZADOS EN LOS TRAMOS DE PRUEBA

Los tratamientos superficiales tiene como principal objetivo mantener las condiciones de servicio del pavimento y su buen estado alargando así su vida útil, este término cubre generalmente todas las aplicaciones de asfalto, con o sin agregados a cualquier tipo de camino o superficie de pavimentos, pero cuyo espesor final es por lo general inferior a 25 mm (una pulgada).

Los tratamientos superficiales varían desde una simple y ligera aplicación de cemento asfáltico, sobre los cuales distribuyen agregados pétreos, hasta mezclas con espesores de hasta 2.5 cm. Todos los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de los caminos, teniendo cada uno propósitos especiales.

A continuación, se describen los tratamientos superficiales aplicados a los tramos de prueba, tomando en cuenta que al tramo Estabilizado con Emulsión Asfáltica fue al único que se le aplicaron dos tipos de tratamientos superficiales (Imprimación Asfáltica y Slurry Seal).

2.3.1 IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA

Los riegos asfálticos son aplicaciones delgadas y uniformes de algún tipo de ligante asfáltico en estado líquido sobre superficies, ya sean de pavimentos existentes, bases estabilizadas o de suelos.

Tiene por objeto sellar la superficie, cohesionar las partículas superficiales sueltas de la base, dar estabilidad superficial, para dar una interfase firme para adherir fuertemente al tratamiento asfáltico o la carpeta.

Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones; el vehículo para su aplicación es el agua.

Sus principales características son:

- Compuestos por cemento asfáltico y un solvente.
- El tipo de solvente puede ser nafta, gasolina o queroseno.
- Se clasifican según su velocidad de fraguado.

El asfalto indicado para imprimación es el MC - 30 para bases de textura cerrada y el MC - 70 para las abiertas. La cantidad a usar varía de 0.8 a 1.8 lt/m² dependiendo de dicha textura.

Para el caso de los tramos de prueba en estudio, la imprimación asfáltica fue utilizada como una membrana de curado.

2.3.2 SLURRY SEAL

Conocido mundialmente como “slurry seal”, es una mezcla de Agregados finos, Emulsión Asfáltica, Agua y Aditivos, fue definido por los años 60, por Raymond Young quien fue inventor de la máquina de aplicación continua “asphaltic mortar like mix”, que se refiere a la mezcla asfáltica tipo mortero, resultado de una combinación de emulsión asfáltica con agregados de una granulometría específica.

Se aplicó por primera vez en Alemania a principios de los años 30, fue hasta los 60 cuando se introducen máquinas, emulsiones mejoradas y se populariza su uso. En 1999 en el Mundo se aplicaron poco más de 1,750,000 toneladas de Slurry Seal. La adición de polímeros puede ser opcional. Los morteros están aprobados por las normas ASTM D-3910, ISSA A-105. Este tipo de tratamiento superficial, fue aplicado en el tramo estabilizado con Emulsión Asfáltica.

CAPITULO III

TRAMOS DE PRUEBA

3.1.2 CONDICIONES EXISTENTES DEL CAMINO EN ESTUDIO

Es una vía balastada con material de aporte de bancos cercanos a la zona. Se realizó una medida del espesor del balasto existente en la zona donde serían construidos los tramos de prueba, encontrando espesores que iban desde los 5.0 cm hasta los 20.0 cm.

En la fotografía 3.1 podemos observar el estado del camino en análisis, antes de la construcción de los tramos de prueba.



Fotografía 3.1 Estado de la Ruta CUS18E antes de la construcción de los tramos de prueba

3.1.3 ANÁLISIS DE TRÁFICO DE LA ZONA

Los estudios de tráfico son fundamentales para el análisis de capacidad de una vía, ya sean proyectos de construcción o rehabilitación, en nuestro caso son la base para el diseño de mezcla suelo – estabilizante para cada tramo de prueba que se construyó.

La información proporcionada a cada empresa que diseño la mezcla de cada método de estabilización, consistió en un conteo vehicular de ocho días consecutivos considerando un registro de 10 horas por día, los tipos de vehículos que circulan comúnmente por la vía son livianos particulares, livianos comerciales (pick up), buses y camiones pesados de carga. En el Anexo 1 se muestra el registro diario de conteo vehicular realizado.

3.1.4 OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CADA TRAMO.

Para el estudio y análisis de cada método de estabilización aplicado a cada tramo de prueba, se hace necesario el obtener muestras representativos que reflejen las condiciones del mismo en el sitio, esta actividad puede realizarse de dos formas: obteniendo muestras inalteradas y obteniendo muestras alteradas.

A una muestra se le llama inalterada, cuando se toman todas las precauciones necesarias para mantener las mismas condiciones que tenía en el lugar de procedencia, y alterada, en caso contrario.

Se tomaron muestras alteradas del suelo natural de la zona donde sería construido cada tramo de prueba, se procedió excavando un pozo a cielo abierto con dimensiones de 1.00 m x 1.00 m y una profundidad aproximada de 70 cm en el estacionamiento 0+442, las demás muestras se obtuvieron directamente del suelo escarificado, antes de que se aplicase el estabilizante.

Cada muestra fue debidamente identificada con la fecha de muestreo y el estacionamiento de donde se obtuvo.

La Tabla 3.1 muestra el número de sacos por muestra y el estacionamiento del cual se tomaron.

UBICACIÓN DE MUESTREO	LATERAL	NÚMERO DE MUESTRAS
0+274	Izquierdo	2 sacos
0+353	Derecho	2 sacos
0+442	Izquierdo	2 sacos
0+750	Derecho	2 sacos

Tabla 3.1 Número de sacos por muestra

Posteriormente, se llevaron las muestras obtenidas al Laboratorio de Suelos y Materiales “Miguel Ángel Guzmán Urbina” de la Universidad de El Salvador, donde se solicitó, la realización de los siguientes ensayos:

- ❖ Análisis Granulométrico (ASTM D422)
- ❖ Límites de Consistencia (ASTM D4318)
- ❖ Clasificación de Suelos (ASTM D2487, AASHTO M145)
- ❖ Prueba de Relación de Soporte del Suelo, CBR (AASHTO T193)

3.1.4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422)

A Continuación se presentan los resultados del análisis granulométrico realizado a las muestras de suelo natural, para cada estacionamiento de donde se tomaron:

MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL		ACUMULADO	
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
N° 4	0.00	0.00	0	0	100
N° 8	18.55	4.55	5	5	95
N° 16	33.81	8.29	8	13	87
N° 30	29.95	7.34	7	20	80
N° 50	33.66	8.25	8	28	72
N° 100	40.90	10.03	10	38	62
N° 200	27.33	6.70	7	45	55
PASA N° 200	223.63	54.83	55	100	0
SUMA	407.83				

Tabla 3.2 Resumen del Análisis Granulométrico de la muestra del Est. 0+274 (Ver Anexo 2)

MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL		ACUMULADO	
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
N° 4	0.00	0.00	0	0	100
N° 8	24.88	4.52	5	5	95
N° 16	45.71	8.31	8	13	87
N° 30	44.78	8.14	8	21	79
N° 50	41.50	7.55	8	29	71
N° 100	43.01	7.82	8	36	64
N° 200	35.27	6.41	6	43	57
PASA N° 200	314.85	57.25	57	100	0
SUMA	550.00				

Tabla 3.3 Resumen del Análisis Granulométrico de la muestra del Est. 0+353 (Ver Anexo 2)

MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL		ACUMULADO	
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
N° 4	0.00	0.00	0	0	100
N° 8	8.83	1.74	2	2	98
N° 16	24.53	4.84	5	7	93
N° 30	20.32	4.01	4	11	89
N° 50	16.61	3.28	3	14	86
N° 100	17.20	3.39	3	17	83
N° 200	15.78	3.11	3	20	80
PASA N° 200	403.43	79.62	80	100	0
SUMA	506.70				

Tabla 3.4 Resumen del Análisis Granulométrico de la muestra del Est. 0+442 (Ver Anexo 2)

MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL		ACUMULADO	
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
N° 4	0.00	0.00	0	0	100
N° 8	42.61	9.08	9	9	91
N° 16	56.16	11.97	12	21	79
N° 30	50.19	10.70	11	32	68
N° 50	49.07	10.46	10	42	58
N° 100	56.12	11.96	12	54	46
N° 200	47.26	10.07	10	64	36
PASA N° 200	167.47	35.77	36	100	0
SUMA	469.24				

Tabla 3.5 Resumen del Análisis Granulométrico de la muestra del Est. 0+750 (Ver Anexo 2)

3.1.4.2 LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318)

A Continuación se presenta un cuadro resumen de los límites de consistencia, obtenidos del análisis de las muestras de suelo natural:

LIMITES E INDICES	ESTACION 0+274	ESTACION 0+353	ESTACION 0+442	ESTACION 0+750
LL (%)	41	46	54	42
LP (%)	26	28	31	24
IP (%)	15	18	22	18

Tabla 3.6 Límites de Consistencia según resultados obtenidos en Laboratorio de Suelos (Ver Anexo 3)

3.1.4.3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (ASTM D2487 Y D2488)

A continuación se presentan en una tabla resumen los resultados de laboratorio para la Clasificación SUCS de las muestras de suelo:

ESTACION	CLASIFICACIÓN SUCS
0+274	Arcilla Arenosa (CL), color café claro, con un 45% de arena media a fina
0+353	Limo Arenoso (ML), color café claro, con un 43% de arena media a fina
0+442	Limo con Arena (MH), color café claro, con un 20% de arena
0+750	Arcilla Arenosa (CL), color café claro, con un 63 % de arena fina

Tabla 3.7 Clasificación SUCS de acuerdo a resultados obtenidos en Laboratorio de Suelos (Ver Anexo 2 y 3)

3.1.4.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS Y MEZCLAS DE SUELO-AGREGADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS (CLASIFICACIÓN AASHTO)

Los resultados obtenidos de los análisis de granulometría y límites de consistencia para las muestras son los siguientes:

CARACTERÍSTICA	ESTACION 0+274	ESTACION 0+353	ESTACION 0+442	ESTACION 0+750
% Pasa N° 200	55	57	80	36
LL (%)	41	46	54	42
LP (%)	26	28	31	24
IP (%)	15	18	22	18
CLASIFICACIÓN	A-7-6(6)	A-7-6(8)	A-7-5(20)	A-7-6(2)

Tabla 3.8 Clasificación AASHTO de acuerdo a resultados obtenidos en Laboratorio de Suelos (Ver Anexo 2 y 3)

3.1.4.5 PRUEBA DE RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO, CBR (ASTM D1883, AASHTO T193)

A continuación se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, de la prueba de Relación de Soporte del Suelo (CBR) realizada a cada una de las muestras del suelo del lugar:

PRUEBA DE RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO										
Estación de Muestra	Penetración	N° de Golpes						CBR diseño %	Próctor T 180	
		56		25		12			δd max 3/cm ³	W% opt.
		CBR %	δd	CBR %	δd	CBR %	Δd			
0+274	0.1"	39.6	1.648	26.5	1.58	11.8	1.492	28	1.655	19
0+353	0.1"	10.1	1.634	5.8	1.551	3.3	1.423	6	1.645	19
0+442	0.1"	8.2	1.496	6.5	1.422	2.5	1.286	6.5	1.500	24
0+750	0.1"	17.8	1.76	8.9	1.652	3.3	1.529	9.8	1.790	14.5

Tabla 3.9 Resumen de Prueba de Relación de Soporte obtenidas en Laboratorio de Suelos (Ver Anexo 4)

3.2 TRAMO ESTABILIZADO CON CEMENTO (MÉTODO “PUAD”)

3.2.1 ESTUDIOS PREVIOS A LA COSTRUCIÓN

El ISCYC realizó estudios geotécnicos, los cuales consistieron en la realización de 3 pozos a cielo abierto en la superficie del camino existente con dimensiones de 0.75 m de ancho x 0.75 m de largo y 0.80 m de profundidad, recolección de muestras de suelo y clasificación de los mismos según ASTM D2487 para los diversos estratos de suelo detectados.

Así mismo, se realizaron ensayos de penetrómetro dinámico de cono ASTM D6951 en el fondo de cada pozo a cielo abierto, específicamente a una profundidad de 0.3 m.

El análisis de los ensayos realizados permitió obtener un conocimiento general de las características del suelo del lugar. El suelo considerado como representativo para el diseño de mezcla corresponde a las muestras obtenidas del pozo con estacionamiento 0+442 lateral izquierdo, el cual tiene las siguientes características:

TIPO DE SUELO	Limo de Alta Compresibilidad MH
COMPOSICIÓN GRANULOMETRICA GENERAL	Grava 0.2 %
	Arena 10.8 %
	Finos 89.0 %
LIMITE LIQUIDO	L _l = 58.8 %
LIMITE PLASTICO	L _p = 33.7 %
INDICE DE PLASTICIDAD	I _p = 25.1 %
LIMITE DE CONTRACCIÓN	L _p = 20.9 %

Tabla 3.10 Características de de la muestra del Pozo a cielo abierto de la estación 0+442

FUENTE. “Diseño Estructural de Pavimento Unicapa de Alto Desempeño” Proyecto CUS18E, ISCYC, Dic. 2009

En todos los sitios donde fueron realizados los pozos a cielo abierto, se observó una capa de balasto de espesor variable, entre 0.0 y 5.0 cm, sin embargo, en la mayoría de la longitud del tramo de prueba la superficie presenta suelo fino y plástico.

3.2.2 DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO

Utilizando las muestras de suelo definidas como material para diseño de mezcla, se procedió a realizar el diseño correspondiente considerando la elaboración y ensayo de especímenes con el 11 %, 15 % y 20 % de cemento en peso, con la finalidad de obtener la información necesaria de parámetros de resistencia mecánica y resistencia al desgaste, que permitan definir el porcentaje de cemento a utilizar en el tramo de prueba. El tipo de cemento que se utilizó en el diseño de mezcla fue ASTM C91 Tipo M.

A continuación se listan los ensayos que se realizaron (Ver Anexo 5):

- ❖ Elaboración de ensayos Próctor AASHTO T180 de muestra de suelo con 11 %, 15 % y 20 % de cemento ASTM C91 Tipo M
- ❖ Elaboración de especímenes cilíndricos para cada porcentaje de cemento 11 %, 15 % y 20 % con la finalidad de determinar resistencia a compresión. Los especímenes se realizaron utilizando martillo vibro compactador ASTM C1435. Las edades de ensayo fueron 3, 7, 28 y 60 días.
- ❖ Elaboración de vigas para determinar resistencia a flexión. Edad de ensayo 7 y 60 días, y porcentajes de cemento de 15 % y 20 %
- ❖ Ensayo de resistencia a compresión y flexión de los especímenes a las edades mencionadas.

Luego del proceso de Diseño de Mezcla y Diseño Estructural los Resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ✓ Espesor de Pavimento Unicapa = 0.20 m
- ✓ Modulo de Ruptura a 60 días = 16.0 kg/cm² (1.6 Mpa) obtenido con 18 % de cemento en peso
- ✓ F'c = 14 kg/cm² a 7 días
- ✓ Modulo de Elasticidad a 60 días = 9000 Mpa

El procedimiento para la conformación del pavimento con el espesor calculado de 20 cm, exige la escarificación del material de la rasante existente y el retiro de balasto de espesor variable, mezclando suelo fino y plástico del lugar con el 18% de cemento en peso ASTM C91 tipo M; la mezcla será compactada con humedad óptima de 23 % al 95 % como mínimo del PVS de 1631 Kg/m³, obtenido según AASHTO T180.

En todo caso, el proceso constructivo y control de calidad se detalla más adelante.

3.2.3 MAQUINARIA, EQUIPO Y MANO DE OBRA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA

Para la ejecución del tramo de prueba se utilizaron los siguientes recursos:

3.2.3.1 MAQUINARIA Y EQUIPO

La maquinaria y equipo utilizado fue el siguiente:

- **2 Pipa de 6 m³ de Agua;** se utilizó para aplicar la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad requerida.

- **1 Motoniveladora;** Se utilizó para Escarificar, Mezclar, Nivelar y Afinar el Material.
- **1 RM-350;** Se utilizó para mezclar el material existente con el cemento con el fin de obtener una mezcla lo más homogénea posible.
- **1 Distribuidor de Asfalto;** Se utilizó para el riego de emulsión asfáltica Tipo CSS-1H utilizada en la imprimación asfáltica.
- **1 Rodo Pata de Cabra de 10 Ton;** Se utilizó para compactar el material mezclado hasta obtener un porcentaje de compactación mayor o igual al 95 %
- **1 Rodo Liso de 10 Ton;** Se utilizó para sellar el material mezclado.
- **1 Camión de Volteo;** Se utilizó para acarrear la arena y chispa utilizada en la imprimación asfáltica.
- **1 Camión de Estaca;** Se utilizó para el traslado del personal, señalización y material estabilizante (cemento), así como recurso por cualquier eventualidad que se presentase durante el proceso constructivo.

3.2.3.2 MANO DE OBRA

A continuación se lista la mano de obra utilizada en la ejecución del tramo de prueba:

- 1 Caporal
- 10 Auxiliares
- 1 Operador de Motoniveladora
- 1 Operador de Rodo Liso
- 1 Operador de Rodo Pata de Cabra
- 1 Operador de RM-350
- 4 Motoristas

3.2.4 PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción de este tramo de prueba se llevó a cabo en 2 días, dentro de los cuales se siguió el siguiente proceso constructivo:

3.2.4.1 PREPARACIÓN DEL SUELO NATURAL

Previo inicio de las actividades se colocaron los dispositivos de señalización y control de tráfico según manual de Señalización y Seguridad Vial del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL).

Teniendo la rasante del terreno natural, se procedió a escarificar el suelo con motoniveladora, esto con la finalidad de conformar la superficie de rodadura acomodándose a las dimensiones de la sección existente en la carretera, respetando los alineamientos y pendientes existentes de rodadura y respetando las nuevas secciones transversales indicadas en los planos o disposiciones especiales respectivamente (Ver Fotografía 3.2), luego se removieron los sobre tamaños y rocas del material.



Fotografía 3.2 Escarificación del Suelo Natural

Posteriormente, se realizó la adición de agua mediante una de las dos pipas de 6 m³ de agua sobre el tramo en ejecución en varias pasadas, hasta lograr la formación de una mezcla con apariencia húmeda.

La pulverización y homogeneización del suelo se llevó a cabo con ayuda de la RM-350, logrando de esta forma la distribución del agua en todo el espesor y así mismo la eliminación de grumos a través del contacto de las llantas de la Motoniveladora con el suelo, las cuales transmiten el peso de la máquina. Posteriormente se le adicionó un poco más de agua, hasta obtener en el suelo una humedad de un 3 % arriba de la humedad óptima del suelo. (Ver fotografías 3.3 y 3.4)



Fotografía 3.3 Pulverización y Homogeneización del Suelo Natural



Fotografía 3.4 Humedecimiento del Suelo Natural

A continuación se paso nuevamente la motoniveladora, para nivelar la superficie y conformar las pendientes transversales del tramo, de igual forma este procedimiento sirvió para la eliminación de piedras y sobre tamaños que aún contenía el suelo y que no habían sido eliminados en los procesos anteriores.

3.2.4.2 COLOCACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL CEMENTO

Teniendo ya la superficie de rodadura conformada y acomodada, se procedió a la colocación y distribución de las bolsas de cemento, esta actividad se realizó con la ayuda de 4 auxiliares, un camión de estaca y la cuadrilla de topografía asignada al proyecto, quienes eran los que iban indicando los puntos donde cada bolsa de cemento serían colocadas (Ver Fotografía 3.5). En el Anexo 9 podemos apreciar la forma en cómo fueron distribuidas las bolsas de cemento en campo. Luego de que todas las bolsas de cemento necesarias, según el cálculo de bolsas por peso, se distribuyeran en su totalidad se procedió a esparcir las sobre el suelo (Ver Fotografía 3.6)



Fotografía 3.5 Distribución de las bolsas de Cemento



Fotografía 3.6 Distribución de las bolsas de Cemento

En seguida se distribuyó el cemento hasta lograr una capa en el tramo a pavimentar de aproximadamente 10 cm de espesor; dicha distribución se realizó de forma manual esparciendo el cemento con palas hasta lograr un espesor homogéneo en el carril en ejecución, como se muestra en las Fotografías 3.7 y 3.8



Fotografía 3.7 Distribución de las bolsas de Cemento



Fotografía 3.8 Distribución de las bolsas de Cemento

3.2.4.3 MEZCLADO

Una vez extendido el cemento sobre la superficie del suelo, el mezclado se realizó con la RM-350 (Ver Fotografía 3.9), realizando para esta actividad una ó dos pasadas hasta que se logró obtener una mezcla homogénea.



Fotografía 3.9 Mezclado del Suelo Existente con el Material Estabilizante (Cemento)

La profundidad del tratamiento fue aproximadamente de 20 cm. Durante el proceso de mezclado, se estuvo agregando la cantidad de agua necesaria para llevar la mezcla a un 3 % arriba de la humedad óptima requerida, esto debido al calor de hidratación generado por el cemento al momento de ser esparcido y mezclado con el suelo.

Antes del proceso de compactación se realizaron zanjas o huecos de prueba en la mezcla suelta, para asegurarse que el mezclado del suelo, cemento y agua se haya logrado en todo el espesor y que además la humedad fuera uniforme en todo el espesor tratado.

Se volvió a chequear la humedad del suelo; obteniendo después del proceso anterior una humedad aceptable dentro del rango de la humedad óptima ($\pm 3\%$ de la humedad óptima) (Ver Fotografías 3.10 y 3.11)



Fotografía 3.10 Extracción de material para el chequeo de humedad



Fotografía 3.11 Chequeo de Humedad de la Mezcla por medio del Método “Speedy”

3.2.4.4 COMPACTACIÓN

La compactación se realizó con Rodo vibratorio pata de cabra de 10 Ton en varias pasadas (Ver Fotografía 3.12). Cuando el Rodo había compactado las dos terceras partes del espesor total y quedaban partes compactadas deficientemente en la superficie, se realizó la conformación con motoniveladora. En este proceso tanto la motoniveladora como el Rodo liso vibratorio de 10 Ton trabajaron de forma simultánea.



Fotografía 3.12 Compactación del Tramo de Prueba

Para evitar la pérdida de humedad por evaporación durante este proceso, se realizaron riegos ligeros de agua, para luego seguir con más pasadas con el Rodo liso vibratorio.

Constantemente se estuvo verificando el contenido de humedad antes y durante el proceso de compactación con densímetro nuclear, así mismo se revisó el grado de compactación (Ver Fotografía 3.13).



Fotografía 3.13 Chequeo de Humedad durante el proceso de Compactación por medio del Densímetro Nuclear

3.2.4.5 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL

Luego de la compactación se realiza el curado de la capa estabilizada por medio de la colocación de una imprimación asfáltica; el procedimiento de dicha imprimación fue el siguiente:

1. Con la Pipa de agua se realizó un humedecimiento de la superficie de la calzada previo al riego de emulsión.
2. Se procede al Riego de la Emulsión Asfáltica por medio del Distribuidor de Asfalto.
3. Se coloca una membrana de arena y chispa.

3.2.4.6 SEGUIMIENTO REALIZADO AL CONTROL DE CALIDAD

Durante el proceso constructivo se llevó un control de calidad durante la ejecución, el cual se efectuó de la siguiente manera:

a) Niveles.

Durante el proceso constructivo, previo a la compactación del tramo de prueba, la cuadrilla topográfica marco los niveles con los que la Motoniveladora debía de conformar el tramo de prueba para alcanzar lo acordado entre el Supervisor y Contratista.

b) Grado de Compactación

Para la obtención del grado de compactación se utilizó el Densímetro Nuclear, siendo tomadas las lecturas después de cada pasada del Rodo Liso de 10 toneladas hasta alcanzar la densidad requerida.

Al finalizar todas las pasadas (11 Ciclos con Rodo Pata de Cabra y 3 Ciclos con Rodo Liso) se procedió a tomar la densidad por medio del ensayo de Densidad de Campo, obteniendo los resultados reflejados en la Tabla 3.11

CONTROL DE COMPACTACIÓN EN EL CAMPO (ASTM D 1556, AASHTO T 191)		
Ensayo N°	1	2
Fecha	16 Feb 2010	17 Feb 2010
Estación	0+430	0+540
Lateral	Lat. Derecho	Lat. Izquierdo
Grado de Compactación	97.0	96.5

Tabla 3.11 Resultados del Ensayo de Densidad de Campo

*FUENTE: Informe Mensual de Control de Calidad N° 2 de Prorroga, Contrato FOVIAL N° CO-035/2009,
Contratista: Construcciones y Proyectos Diversos, S.A. de C.V.*

c) Resistencia a la Compresión

Luego de la homogenización del Suelo Natural con el Cemento se tomaron muestras de la mezcla con el fin de elaborar especímenes para la obtención en laboratorio de la Resistencia a la Compresión (Ver Fotografía 3.14), dichos resultados se presentan en la Tabla 3.12.



Fotografía 3.14 Elaboración de Especímenes para ser Ensayados

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
Nº	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Edad	Esfuerzo Kg/cm²
1	16 Febrero 2010	23 Febrero 2010	7	28.1
2	16 Febrero 2010	23 Febrero 2010	7	30.0
3	17 Febrero 2010	24 Febrero 2010	7	36.8
4	17 Febrero 2010	24 Febrero 2010	7	32.9
5	17 Febrero 2010	24 Febrero 2010	7	44.7
6	17 Febrero 2010	24 Febrero 2010	7	45.5
PROMEDIO				36.33

Tabla 3.12 Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión

FUENTE: Informe Mensual de Control de Calidad N° 2 de Prorroga, Contrato FOVIAL N° CO-035/2009, Contratista: Construcciones y Proyectos Diversos, S.A. de C.V.

El Valor de Resistencia a la Compresión de Diseño es de 14 Kg/cm² a los 7 días, por tanto según tabla 3.12 la mezcla utilizada en la estabilización cumple con los requerimientos.

3.2.5 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS

En el Anexo 11 se presenta un desglose de costos unitarios para las actividades de Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño e Imprimación Asfáltica.

3.3 TRAMO ESTABILIZADO CON EL MÉTODO “SUELO + CAL”

A continuación se detalla el proceso seguido durante la construcción del Tramo estabilizado con el Método Suelo + Cal:

3.3.1 ESTUDIOS PREVIOS A LA COSTRUCIÓN

Como en todos los demás tramos, la empresa encargada de diseñar la mezcla adecuada de material estabilizante + suelo, realizo una serie de estudios previos a la construcción de cada tramo de prueba.

En este caso la empresa “HORCALSA”, por medio del Laboratorio Central de su Centro Tecnológico realizó la obtención y análisis de algunos parámetros físicos del suelo del lugar, así como también el análisis de la cal a utilizar (Ver Anexo 6), para así dar lugar al diseño de mezcla adecuado.

A continuación se muestra el análisis granulométrico y los Límites de Atterberg, realizados a la muestra de suelo natural, obtenida de la zona antes de construirse el tramo de prueba “Suelo + Cal”. (Ver Anexos 6)

LIMITES DE ATTERBERG (Norma AASHTO T89 y T90)	
Método Utilizado	B
N° de Ensayo	1
Límite Líquido	46 %
Límite Plástico	33 %
Índice de Plasticidad	13 %
Clasificación del Suelo	OL

Tabla 3.13 Límites de Atterberg

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (Norma AASHTO T311)	
Grava (%)	3.8
Arena (%)	13.4
Fino (%)	82.8
Mus (Kg/m³)	898.3
Clasificación SCU	OL
Clasificación PRA	A-7-5
Materia Orgánica	-
Coefficiente uniformidad	-
Coefficiente Curvatura	-

Tabla 3.14 Análisis Granulométrico

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
2"	50.000	100.0
1 ½"	37.500	100.0
1"	25.000	100.0
¾"	19.000	100.0
3/8"	9.500	100.0
Nº 4	4.750	99.8
Nº 10	2.000	96.2
Nº 40	0.425	87.5
Nº 200	0.075	82.8

Tabla 3.15 Análisis Granulométrico

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: ARCILLA LIMO ARENOSA COLOR ROJO

Las siguiente tablas resumen, muestran los resultados de los ensayos realizados a diferentes mezclas de Suelo+Cal (Ver Anexo 6)

ANÁLISIS DE pH	
ID. DE MUESTRA	pH
CAL HORCALSA	13.08
ARCILLA	8.80
ARCILLA + 2 % CAL	12.53
ARCILLA + 4 % CAL	13.04
ARCILLA + 6 % CAL	13.10

Tabla 3.16 Análisis de pH

RESISTENCIA A COMPRESIÓN NO CONFINADA				
Nº	Resistencia a 7 días corregida por esbeltez			Descripción
	N/mm²	Lb/pulg²	Kg/cm²	
1	2	289	20	Arcilla Limo arenosa color rojiza con 4 % de hidróxido de calcio
2	2	296	21	
5	1.7	249	18	Arcilla Limo Arenosa con el 3 % de hidróxido de calcio
6	1.7	241	17	

Tabla 3.17 Resistencia a Compresión No Confinada

3.3.2 DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO

Ya con los estudios previos a la construcción del tramo de prueba Suelo + Cal, la empresa **HORCALSA** mencionó algunas recomendaciones que se deberían de seguir al momento de la construcción del tramo (Ver Anexo 10) y luego de ello procedió a proporcionar la dosificación de mezcla Suelo + Cal a utilizar, la cual se muestra de la siguiente manera:

DOSIFICACIÓN

La cantidad de cal a mezclar fue:

- ❖ 1.5 sacos de 25 kg por cada 5 m² con un espesor de 0.20 metros

Observación: en este caso la cal modificará y estabilizará el suelo, por lo tanto creará un área libre de lodo, cuando la cal sea aplicada al suelo será más resistente a la erosión sin embargo la resistencia al desgaste dependerá de tráfico, del drenaje y la cantidad de balasto que se mezclará.

3.3.3 MAQUINARIA, EQUIPO Y MANO DE OBRA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA

Para la ejecución del tramo de prueba se utilizaron los siguientes recursos:

3.3.3.1 MAQUINARIA Y EQUIPO

La maquinaria y equipo utilizado fue el siguiente:

- **1 Pipa de 6 m³ de Agua;** se utilizó para aplicar la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad requerida.
- **1 Motoniveladora;** Se utilizó para Escarificar, Mezclar, Nivelar y Afinar el Material.
- **1 Distribuidor de Asfalto;** Se utilizó para el riego de emulsión asfáltica Tipo CSS-1H durante la imprimación asfáltica.
- **1 Rodo Liso de 10 Ton;** Se utilizó para compactar el material mezclado hasta obtener un porcentaje de compactación mayor o igual al 95%
- **1 Camión de Volteo;** Se utilizó para acarrear la arena y chispa utilizada en la imprimación asfáltica.
- **1 Camión de Estaca;** Se utilizó para el traslado del personal, señalización y material estabilizante (Cal), así como recurso por cualquier eventualidad que se presentase durante el proceso constructivo.

3.3.3.2 MANO DE OBRA

A continuación se lista la mano de obra utilizada en la ejecución del tramo de prueba:

- 1 Caporal
- 10 Auxiliares
- 1 Operador de Motoniveladora
- 1 Operador de Rodo Liso
- 4 Motoristas

3.3.4 PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción de este tramo de prueba se llevó a cabo en un día, y dentro del cual se aplicó el siguiente proceso constructivo:

3.3.4.1 PREPARACIÓN DEL SUELO NATURAL

Previo inicio de las actividades se colocaron los dispositivos de señalización y control de tráfico según manual de Señalización y Seguridad Vial del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL).

Teniendo la rasante del terreno natural, se procedió a escarificar el suelo con motoniveladora, escarificando 20 cm aproximadamente.

Esto con la finalidad de conformar la superficie de rodadura acomodándose a las dimensiones de la sección existente en la carretera, respetando los alineamientos y pendientes existentes de rodadura y respetando las nuevas secciones transversales indicadas en los planos o disposiciones especiales

respectivamente (Ver Fotografía 3.15), luego se removieron los sobre tamaños y rocas del material.



Fotografía 3.15 Escarificación del Suelo Natural

3.3.4.2 COLOCACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA CAL

Teniendo ya la superficie de rodadura conformada y acomodada, se procedió a la colocación y distribución de las bolsas de cal, esta actividad se realizó con la ayuda de 4 auxiliares, un camión de estaca y la cuadrilla de topografía asignada al proyecto, quienes eran los que iban indicando los puntos donde cada bolsa de cal sería colocada. (Ver Fotografía 3.16 y 3.17)



Fotografía 3.16 Distribución de las Bolsas de Cal



Fotografía 3.17 Distribución de las Bolsas de Cal

En el Anexo 9 podemos apreciar la forma en cómo fueron distribuidas las bolsas de cemento en campo.

Luego de que todas las bolsas de cal necesarias, según el cálculo de bolsas en peso (Ver Anexo 9), estuvieron distribuidas en su totalidad, se procedió a esparcirla sobre el suelo (Ver Fotografías 3.18 y 3.19)



Fotografía 3.18 Distribución del Material Estabilizante (Cal)



Fotografía 3.19 Distribución del Material Estabilizante (Cal)

Posteriormente con ayuda de Motoniveladora se esparce la cal de manera uniforme sobre el terreno, tal y como se muestra en la siguiente secuencia de fotografías.



Fotografía 3.20 Distribución del Material Estabilizante (Cal)



Fotografía 3.21 Distribución del Material Estabilizante (Cal)

3.3.4.3 MEZCLADO

Para el mezclado de la cal con el suelo se utilizó la Motoniveladora, para así distribuir de una mejor manera la cal esparcida. Se realiza otra inspección para eliminar sobre tamaños y rocas que no se lograron eliminar en la preparación del suelo natural.



Fotografía 3.22 Mezclado del Material Estabilizante con el Suelo Natural

Durante el proceso de mezclado, se estuvo agregando la cantidad de agua necesaria para llevar la mezcla a un 3% arriba de la humedad óptima requerida, esto debido al calor de hidratación generado por la cal al momento de ser esparcida y mezclada con el suelo.



Fotografía 3.23 Humedecimiento de la Mezcla Suelo + Cal

Teniendo una mezcla homogénea se tomaron muestras para la elaboración de especímenes que se analizaron posteriormente en laboratorio, luego la cuadrilla de topografía marca niveles y se procede conformando la calzada con la Motoniveladora, proceso durante el cual se continúa agregando gua para mantener la mezcla a un 3 % arriba de la humedad óptima requerida.



Fotografía 3.24 Humedecimiento de la Mezcla Suelo + Cal



Fotografía 3.25 Conformación del Material Mezclado

3.3.4.4 COMPACTACIÓN

Previo a la compactación se verifica humedades y se decide esperar un tiempo prudencial hasta alcanzar la humedad óptima para ingreso del rodo; una vez alcanzada la humedad requerida se procede a la compactación del tramo de prueba por medio de Rodo Liso de 10 toneladas (Ver Fotografía 3.26), siendo verificada la densidad en cada pasada por medio de lecturas obtenidas a través del Densímetro Nuclear hasta alcanzar la densidad requerida (4 Ciclos).



Fotografía 3.26 Compactación del Tramo de Prueba

Posterior a la compactación (4 Ciclos del Rodo Liso) se toma la densidad final por medio del ensayo de Densidad de Campo (Cono y Arena), obteniéndose resultados satisfactorios.

3.3.4.5 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL

Luego de la compactación se realiza el curado de la capa estabilizada por medio de la colocación de una imprimación asfáltica; el procedimiento de dicha imprimación fue el siguiente:

1. Con la Pipa de agua se realizó un humedecimiento de la superficie de la calzada previo al riego de emulsión. (Ver Fotografía 3.27)
2. Se procede al Riego de la Emulsión Asfáltica por medio del Distribuidor de Asfalto.
3. Se coloca una membrana de arena y chispa.



Fotografía 3.27 Humedecimiento de la Superficie de Rodadura

3.3.4.6 SEGUIMIENTO REALIZADO AL CONTROL DE CALIDAD

A continuación se describen algunos parámetros que se tomaron en cuenta en el control de calidad de la ejecución del tramo de prueba y se presenta un seguimiento a los ensayos que se realizaron posteriores a su construcción.

a) Niveles.

Durante el proceso constructivo, previo a la compactación del tramo de prueba, la cuadrilla topográfica marco los niveles con los que la Motoniveladora debía de conformar el tramo de prueba para alcanzar lo acordado entre el Supervisor y Contratista.

b) Grado de Compactación

Para la obtención del grado de compactación se utilizó el Densímetro Nuclear, siendo tomadas las lecturas después de cada pasada del rodo Liso de 10 toneladas hasta alcanzar la densidad requerida. (Ver fotografía 3.28)



Fotografía 3.28 Toma de densidades por medio del Densímetro Nuclear

Al finalizar todas las pasadas del Rodo (4 Ciclos) se procedió a tomar la Densidad por medio del ensayo de Densidad de Campo (Ver fotografía 3.29), obteniendo los resultados reflejados en la Tabla 3.18



Fotografía 3.29 Toma de densidades por medio del Ensayo de Densidad de Campo

CONTROL DE COMPACTACIÓN EN EL CAMPO (ASTM D 1556, AASHTO T 191)	
Ensayo N°	1
Fecha	17 Mar 2010
Estación	0+365
Lateral	Lat. Izquierdo
Grado de Compactación	95.7

Tabla 3.18 Resultados del Ensayo de Densidad de Campo

FUENTE: Informe Mensual de Control de Calidad N° 3 de Prorroga, Contrato FOVIAL N° CO-035/2009,
Contratista: Construcciones y Proyectos Diversos, S.A. de C.V.

c) Resistencia a la Compresión

Luego de la homogenización del Suelo Natural con Cal se tomaron muestras de la mezcla con el fin de elaborar especímenes (Ver fotografía 3.30) para la obtención en laboratorio de la Resistencia a la Compresión, dichos resultados se presentan en la Tabla 3.19.



Fotografía 3.30 Elaboración de Especímenes para ser Ensayados

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
Nº	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Edad	Esfuerzo Kg/cm²
1	17 Marzo 2010	24 Marzo 2010	7	24.2
2	17 Marzo 2010	24 Marzo 2010	7	27.3
3	17 Marzo 2010	24 Marzo 2010	7	25.9
PROMEDIO				25.8

Tabla 3.19 Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión

FUENTE: Informe Mensual de Control de Calidad N° 3 de Prorroga, Contrato FOVIAL N° CO-035/2009,
Contratista: Construcciones y Proyectos Diversos, S.A. de C.V.

El Valor de Resistencia a la Compresión de Diseño es de 21 Kg/cm², por tanto según tabla 3.19 la mezcla utilizada en la estabilización cumple con los requerimientos.

3.3.5 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS

En el Anexo 11 se presenta un desglose de costos unitarios para las actividades de Estabilización de Suelos Plásticos con Cal e Imprimación Asfáltica.

3.4 TRAMO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

A Continuación se presenta los Estudios previos, recursos y proceso constructivo empleado en la ejecución del tramo de prueba estabilizado con Emulsión Asfáltica:

3.4.1 ESTUDIOS PREVIOS A LA COSTRUCIÓN

ASFALCA, como empresa encargada de diseñar la mezcla adecuada de material estabilizante + suelo, realizó una serie de estudios previos a la construcción, el cual consistió en el análisis de algunos parámetros físicos del suelo del lugar (Ver Anexo 7).

A continuación se muestra un resumen del análisis granulométrico y límites de consistencia realizados a la muestra de suelo natural:

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	
TIPO DE SUELO	A2-6 (AASHTO)
COMPOSICIÓN GRANULOMETRICA GENERAL	Grava 35.0 %
	Arena 42.0 %
	Finos 23.0 %
LIMITE LIQUIDO	Ll = 39.9 %
LIMITE PLASTICO	Lp = 27.6 %
INDICE DE PLASTICIDAD	Ip = 12.3 %

Tabla 3.20 Características de de la muestra (Anexo 7)

La muestra de suelo fue tomada del material que se encontraba entre 0 – 18 cm de profundidad aproximadamente, el cual en su mayoría consistía en Balasto existente proveniente de algún banco de préstamo cercano al lugar.

3.4.2 DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO

Para el diseño de la mezcla se tomaron en cuenta el análisis de tráfico proporcionado por el FOVIAL, así como también ensayos de Relación Densidad – Humedad con mezclas de Suelo + Emulsión Asfáltica. Dichos ensayos se realizaron con diversos porcentajes en peso de emulsión (Ver Anexo 7)

También se elaboraron ensayos de Resistencia a la Compresión Simple con porcentajes entre 4 % - 8 % de Emulsión Asfáltica, las muestras se ensayaron en condición Seca y Saturada con el fin de evaluar parámetros como el % de absorción y la Resistencia a la Compresión de la muestra.

Con estos datos se elaboró una gráfica con el fin de visualizar el porcentaje de Emulsión que más se adecue a los requerimientos del proyecto. Por lo que se concluyó utilizar una dosificación de 4 % de Emulsión con un espesor de 18 cm para la capa estabilizada.

Sin embargo debido a que se observó en campo que en gran parte del tramo a estabilizar el espesor de la muestra de suelo con el que se realizaron los ensayos para determinar la dosificación era menor de 18 cm, por lo que la empresa responsable consideró adecuado el reducir el espesor de diseño a 14 cm, manteniendo la dosificación de 4 % de Emulsión Asfáltica.

El Cálculo del Volumen de Emulsión Asfáltica y Agua requeridas para un tramo de 75 metros lineales con un ancho promedio de 5 metros y espesor de 14 cm se presenta en el Anexo 7.

3.4.3 MAQUINARIA, EQUIPO Y MANO DE OBRA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA

Para la ejecución del tramo de prueba se utilizaron los siguientes recursos:

3.4.3.1 MAQUINARIA Y EQUIPO

La maquinaria y equipo utilizado fue el siguiente:

- **1 Pipa de 6 m³ de Agua;** se utilizó para aplicar la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad requerida.
- **2 Minicargadores con Aditamento de Fresadora y Barredora;** Se utilizaron para pulverizar el material de la calzada antes de aplicar la emulsión y posteriormente para mezclar el material con la emulsión asfáltica. Previa colocación del Slurry Seal se utilizó un Minicargador con aditamento de Barredora para remover el material fino presente en la calzada.
- **1 Motoniveladora;** Se utilizó para Escarificar, Acamellonar, Mezclar, Nivelar y Afinar el Material.
- **1 Distribuidor de Asfalto;** Se utilizó para el riego de emulsión asfáltica Tipo CSS-1H durante el mezclado del material, la imprimación asfáltica y posteriormente la colocación del slurry seal sobre el tramo de prueba.
- **1 Rodo Liso de 10 Ton;** Se utilizó para compactar el material mezclado hasta obtener un porcentaje de compactación mayor o igual al 95%
- **1 Camión de Volteo;** Se utilizó para acarrear la arena y chispa utilizada en la imprimación asfáltica.
- **1 Camión de Estaca;** Se utilizó para el traslado del personal y señalización, así como recurso por cualquier eventualidad que se presentase durante el proceso constructivo.

- **1 Micropavimentadora;** Se utilizó para la colocación del Slurry Seal como capa de protección sobre el tramo de prueba.

3.4.3.2 MANO DE OBRA

A continuación se lista la mano de obra utilizada en la ejecución del tramo de prueba:

- 1 Caporal
- 10 Auxiliares
- 2 Operadores de Minicargador
- 1 Operador de Motoniveladora
- 1 Operador de Rodo Liso
- 1 Técnico Operador de Micropavimentadora
- 5 Motoristas

3.4.4 PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción del tramo de prueba se llevo a cabo en 3 días para la estabilización del material con emulsión asfáltica (el día 1 se estabilizo 50 m y en los días 2 y 3 se estabilizo 75 m por día) y 1 día para la colocación del Slurry Seal, a continuación se describe brevemente dicho proceso:

3.4.4.1 PREPARACIÓN DEL SUELO NATURAL

Previo inicio de las actividades se colocaron los dispositivos de señalización y control de tráfico según manual de Señalización y Seguridad Vial del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL).

Luego se procedió con la escarificación del suelo natural por medio de 2 Minicargadores con aditamento de Fresadora (ver fotografía 3.31); se verificó una profundidad de 14 cm acordada en campo (el espesor de diseño era de 18 cm, sin embargo durante el proceso constructivo se acordó disminuirlo a 14 cm dado que se encontró presencia de arcilla que no fue tomada en cuenta durante el diseño de mezcla) y se removieron los sobre tamaños y rocas del material.



Fotografía 3.31 Escarificación del Suelo Natural

3.4.4.2 COLOCACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Con ayuda de la Motoniveladora se formo un caballete en el lateral izquierdo de la vía con el fin de facilitar el riego de la emulsión asfáltica (Ver Fotografía 3.32)



Fotografía 3.32 Formación del Caballete previo al Riego de Emulsión Asfáltica

Posteriormente con el Distribuidor de Asfalto se realizó el Riego de la Emulsión por capas hasta alcanzar un volumen de la emulsión del 4.0% en Peso (Ver Fotografía 3.33), una vez alcanzado el volumen correcto se conformo la calzada con la Motoniveladora.



Fotografía 3.33 Riego de Emulsión Asfáltica por capas

3.4.4.3 MEZCLADO

Para obtener una mezcla uniforme se utilizaron nuevamente los Minicargadores con aditamento de fresadora con el fin de distribuir de una mejor manera la emulsión que se aplico previamente y eliminar posibles grumos formados durante la aplicación de la misma.

Se realiza otra inspección para eliminar sobre tamaños y rocas que no se lograron eliminar en la preparación del suelo natural.

Teniendo una mezcla homogénea se tomaron muestras para la elaboración de especímenes que se analizaron posteriormente en laboratorio, luego la cuadrilla de topografía marca niveles y se procede conformando la calzada con la Motoniveladora (Ver fotografía 3.34).



Fotografía 3.34 Conformación de la Calzada previa a Compactación

3.4.4.4 COMPACTACIÓN

Previo a la compactación se verifican humedades y se decide esperar un tiempo prudencial hasta alcanzar la humedad óptima para ingreso del rodo; una vez alcanzada la humedad requerida se procede a la compactación del tramo de prueba por medio de un Rodo Liso de 10 Toneladas (Ver Fotografía 3.35), siendo verificada la densidad en cada pasada por medio de lecturas obtenidas a través del Densímetro Nuclear hasta alcanzar la densidad requerida (3 Ciclos). Posterior a la compactación (3 Ciclos del Rodo) se toma la densidad final por medio del ensayo de Densidad de Campo (Cono y Arena), obteniéndose resultados satisfactorios.



Fotografía 3.35 Compactación del Tramo de Prueba

3.4.4.5 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL

Luego de la compactación se realiza el curado del material por medio de la colocación de una imprimación asfáltica; el procedimiento de dicha imprimación fue el siguiente:

1. Con la Pipa de agua se realizó un humedecimiento de la superficie de la calzada previo al riego de emulsión. (Ver Fotografía 3.36)
2. Se procede al Riego de la Emulsión Asfáltica por medio del Distribuidor de Asfalto. (Ver Fotografía 3.37).
3. Se coloca una membrana de arena y chispa. (Ver Fotografía 3.38).



Fotografía 3.36 Humedecimiento de la Superficie de Rodadura



Fotografía 3.37 Riego de Emulsión para la Imprimación Asfáltica



Fotografía 3.38 Colocación de Arena y Chispa para el Curado

El procedimiento antes descrito es semejante para los 3 días en que se realizó la estabilización del tramo de prueba, al finalizar los 200 m, algunos días después se procedió con lo colocación de una capa de protección superficial; para nuestro caso se colocó una capa de Slurry Seal; el procedimiento constructivo de este proceso se describe a continuación:

1. Con ayuda de un Minicargador con aditamento de Barredora se procede a eliminar el material fino presente en la calzada. (Ver Fotografía 3.39)
2. Luego con la Pipa de agua se realizó un humedecimiento de la superficie de la calzada y se vuelve a pasar el Minicargador con la barredora.
3. Se procede al Riego de la Emulsión Asfáltica.
4. Se mezcla y coloca el Slurry Seal. (Ver Fotografía 3.40).



Fotografía 3.39 Eliminación de Finos presentes en la Calzada



Fotografía 3.40 Colocación del Slurry Seal

3.4.4.6 SEGUIMIENTO REALIZADO AL CONTROL DE CALIDAD

A continuación se describen algunos parámetros que se tomaron en cuenta en el control de calidad de la ejecución del tramo de prueba y se presenta un seguimiento a los ensayos que se realizaron posteriores a su construcción.

a) Niveles.

Durante el proceso constructivo, previo a la compactación del tramo de prueba, la cuadrilla topográfica marco los niveles con los que la Motoniveladora debía de conformar el tramo de prueba para alcanzar lo acordado entre el Supervisor y Contratista. (Ver fotografía 3.41)



Fotografía 3.41 Nivelación

b) Grado de Compactación

Para la obtención del grado de compactación se utilizó el Densímetro Nuclear, siendo tomadas las lecturas después de cada pasada del rodo Liso de 10 toneladas hasta alcanzar la densidad requerida. (Ver fotografía 3.42)



Fotografía 3.42 Toma de densidades por medio del Densímetro Nuclear

Al finalizar todas las pasadas del Rodo (3 Ciclos) se procedió a tomar la Densidad por medio del ensayo de Densidad de Campo (Ver fotografía 3.43), obteniendo los resultados reflejados en la Tabla 3.21



Fotografía 3.43 Toma de densidades por medio del Ensayo de Densidad de Campo

CONTROL DE COMPACTACIÓN EN EL CAMPO (ASTM D 1556, AASHTO T 191)			
Ensayo N°	1	2	3
Fecha	09 Mar 2010	10 Mar 2010	11 Mar 2010
Estación	0+680	0+730	0+800
Lateral	Lat. Derecho	Lat. Izquierdo	Lat. Derecho
Grado de Compactación	96.0	95.7	96.8

Tabla 3.21 Resultados del Ensayo de Densidad de Campo

*FUENTE: Informe Mensual de Control de Calidad N° 3 de Prorroga, Contrato FOVIAL N° CO-035/2009,
Contratista: Construcciones y Proyectos Diversos, S.A. de C.V.*

c) Resistencia a la Compresión

Luego de la homogenización del Suelo Natural con la Emulsión Asfáltica se tomaron muestras de la mezcla con el fin de elaborar especímenes (Ver fotografía 3.44) para la obtención en laboratorio de la Resistencia a la Compresión, dichos resultados se presentan en la Tabla 3.22.



Fotografía 3.44 Elaboración de Especímenes para ser Ensayados

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
Nº	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Edad	Esfuerzo Kg/cm²
1	09 Marzo 2010	11 Marzo 2010	3	17.9
2	09 Marzo 2010	11 Marzo 2010	3	23.6
3	10 Marzo 2010	12 Marzo 2010	3	17.5
4	10 Marzo 2010	12 Marzo 2010	3	18.9
PROMEDIO				19.48

Tabla 3.22 Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión

FUENTE: Informe Mensual de Control de Calidad N° 3 de Prorroga, Contrato FOVIAL N° CO-035/2009, Contratista: Construcciones y Proyectos Diversos, S.A. de C.V.

El Valor de Resistencia a la Compresión de Diseño es de 14 Kg/cm², por tanto según tabla 3.22 la mezcla utilizada en la estabilización cumple con los requerimientos.

3.4.5 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS

En el Anexo 11 se presenta un desglose de costos unitarios para las actividades de Estabilización de Suelos Plásticos con Emulsión Asfáltica, Imprimación Asfáltica y Colocación de Slurry Seal.

3.5 TRAMO ESTABILIZADO CON EL MÉTODO “SUELO + CAL + CEMENTO”

A continuación se detalla el proceso seguido durante la construcción del tramo estabilizado con el método Suelo + Cal + Cemento:

3.5.1 ESTUDIOS PREVIOS A LA COSTRUCCIÓN

Como en todos los demás tramos, la empresa encargada de diseñar la mezcla adecuada de material estabilizante + suelo natural, realizó una serie de estudios previos a la construcción de cada tramo de prueba.

En este caso la empresa “HORCALSA”, por medio del laboratorio Central de su Centro Tecnológico realizó la obtención y análisis de algunos parámetros físicos del suelo del lugar, así como también el análisis de la cal a utilizar (Ver Anexo 8), para así dar lugar al diseño de mezcla adecuado.

A continuación se muestra el análisis granulométrico y los límites de Atterberg, realizados a la muestra de suelo natural, obtenida de la zona antes de construirse el tramo de prueba “Suelo + Cal + Cemento” (Ver Anexo 8)

LIMITES DE ATTERBERG (Norma AASHTO T89 y T90)	
Método Utilizado	B
N° de Ensayo	1
Límite Líquido	46 %
Límite Plástico	33 %
Índice de Plasticidad	13 %
Clasificación del Suelo	OL

Tabla 3.23 Límites de Atterberg

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (Norma AASHTO T311)	
Grava (%)	3.8
Arena (%)	13.4
Fino (%)	82.8
Mus (Kg/m³)	898.3
Clasificación SCU	OL
Clasificación PRA	A-7-5
Materia Orgánica	-
Coefficiente uniformidad	-
Coefficiente Curvatura	-

Tabla 3.24 Análisis Granulométrico

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
2"	50.000	100.0
1 ½"	37.500	100.0
1"	25.000	100.0
¾"	19.000	100.0
3/8"	9.500	100.0
Nº 4	4.750	99.8
Nº 10	2.000	96.2
Nº 40	0.425	87.5
Nº 200	0.075	82.8

Tabla 3.25 Análisis Granulométrico

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: ARCILLA LIMO ARENOSA COLOR ROJO

Las siguiente tabla resumen, muestran los resultados de los ensayos realizados a diferentes mezclas de Suelo + Cal + Cemento (Ver Anexo 8)

ANÁLISIS DE pH	
ID. DE MUESTRA	pH
CAL HORCALSA	13.08
ARCILLA	8.80
ARCILLA + 2 % CAL	12.53
ARCILLA + 4 % CAL	13.04
ARCILLA + 6 % CAL	13.10

Tabla 3.26 Análisis de pH

RESISTENCIA A COMPRESIÓN NO CONFINADA				
Nº	Resistencia a 7 días corregida por esbeltez			Descripción
	N/mm²	Lb/pulg²	Kg/cm²	
3	2.2	325	23	Arcilla Limo arenosa color rojiza con 3 % de hidróxido de calcio + 3 % de cemento bajo norma ASTM C1157
4	2.2	325	23	
5	1.7	249	18	Arcilla Limo Arenosa con el 3 % de hidróxido de calcio
6	1.7	241	17	

Tabla 3.27 Resistencia a Compresión No Confinada

3.5.2 DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO

Ya con los estudios previos a la construcción del tramo de prueba Suelo + Cal + Cemento, la empresa HORCALSA presentó algunas recomendaciones que se deberían de seguir al momento de la construcción del tramo (Ver Anexo 10) y luego de ello procedió a proporcionar la dosificación de mezcla Suelo + Cal + Cemento a utilizar, la cual se muestra de la siguiente manera:

DOSIFICACIÓN

La cantidad de Cal + Cemento a mezclar fue:

- 1.5 sacos de 25 Kg 0.63 sacos de cemento bajo norma ASTM C1157, por cada 5 metros cuadrados con un espesor de 20 cm.

3.5.3 MAQUINARIA, EQUIPO Y MANO DE OBRA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA

Para la ejecución del tramo de prueba se utilizaron los siguientes recursos:

3.5.3.1 MAQUINARIA Y EQUIPO

La maquinaria y equipo utilizado fue el siguiente:

- **1 Pipa de 6 m³ de Agua;** se utilizó para aplicar la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad requerida.
- **1 Motoniveladora;** Se utilizó para Escarificar, Mezclar, Nivelar y Afinar el Material.
- **1 Distribuidor de Asfalto;** Se utilizó para el riego de emulsión asfáltica Tipo CSS-1H durante la imprimación asfáltica.
- **1 Rodo Liso de 10 Ton;** Se utilizó para compactar el material mezclado hasta obtener un porcentaje de compactación mayor o igual al 95%
- **1 Camión de Volteo;** Se utilizó para acarrear la arena y chispa utilizada en la imprimación asfáltica.
- **1 Camión de Estaca;** Se utilizó para el traslado del personal, señalización y material estabilizante (Cal y Cemento), así como recurso por cualquier eventualidad que se presentase durante el proceso constructivo.

3.5.3.2 MANO DE OBRA

A continuación se lista la mano de obra utilizada en la ejecución del tramo de prueba:

- 1 Caporal
- 10 Auxiliares
- 1 Operador de Motoniveladora
- 1 Operador de Rodo Liso
- 4 Motoristas

3.5.4 PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción del tramo de prueba se llevo a cabo en 4 días, ya que el tramo de 100 m a construir se dividió en dos “sub-tramos”. El primero de estos de 40 m, al cual se le aplicó la cal al suelo natural y se dejó madurando durante dos días, para posteriormente aplicarle el cemento.

Para el segundo sub-tramo de 60 m, se aplico simultáneamente el porcentaje de Cal y Cemento. En ambos casos se procedió de manera similar, siendo el proceso constructivo el que se describe a continuación:

3.5.4.1 PREPARACIÓN DEL SUELO NATURAL

Previo inicio de las actividades se colocaron los dispositivos de señalización y control de tráfico según manual de Señalización y Seguridad Vial del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL).

Teniendo la rasante del terreno natural, se procedió a escarificar el suelo con motoniveladora, escarificando 20 cm aproximadamente.

Esto con la finalidad de conformar la superficie de rodadura acomodándose a las dimensiones de la sección existente en la carretera, respetando los alineamientos y pendientes existentes, así como las nuevas secciones transversales indicadas en los planos o disposiciones especiales respectivamente (Ver Fotografía 3.45), luego se removieron los sobre tamaños y rocs del material.



Fotografía 3.45 Escarificación del Suelo Natural

Para el tramo de cal + cemento de 60 m se siguió el mismo proceso anteriormente descrito, con la diferencia de que cuando ya se tenía aproximadamente conformada la superficie de rodadura, el equipo de topografía asignado al proyecto procedió al chequeo de niveles y pendiente de bombeo del tramo, comprobando de esta manera, que la pendiente de bombeo de la rasante del terreno era insuficiente, ya que según el diseño se necesita una pendiente del 2.5% - 5 % para un bombeo fluido de la escorrentía superficial, por lo que se acarrió material de un banco de préstamo cercano a la zona para llegar a la pendiente de bombeo deseada (Ver Fotografía 3.46).



Fotografía 3.46 Material proveniente de Banco de Préstamo para Subsanan pendiente de bombeo

3.5.4.2 COLOCACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA CAL Y EL CEMENTO

Teniendo ya la superficie de rodadura conformada y acomodada, se procedió a la colocación y distribución de las bolsas de Cal y Cemento, esta actividad se realizó con la ayuda de 4 auxiliares, un camión de estaca y la cuadrilla de topografía asignada al proyecto, quienes eran los que iban indicando los puntos donde cada bolsa de cal y cemento serían colocadas (Ver Fotografías 3.47 y 3.48)



Fotografía 3.47 Distribución de las Bolsas de Cemento y Cal



Fotografía 3.48 Distribución de las Bolsas de Cemento y Cal

En el Anexo 9 se presenta un esquema de la distribución de las bolsas de Cal y Cemento que se siguió en campo.

Luego de que todas las bolsas de cal y cemento necesarias, según el cálculo de bolsas en peso (Ver Anexo 9), estuvieron distribuidas en su totalidad se procedió a esparcirla sobre el suelo. Posteriormente con ayuda de la Motoniveladora, tanto la cal como el cemento fueron esparcidos simultáneamente de manera uniforme sobre el terreno.

3.5.4.3 MEZCLADO

Para el mezclado de la cal y el cemento con el suelo natural se utilizó la Motoniveladora, con el fin de distribuir de una mejor manera la cal y el cemento esparcidos. Posteriormente se realiza otra inspección para eliminar sobre tamaños y rocas que no se lograron eliminar en la preparación del suelo natural. Durante el proceso de mezclado, se estuvo agregando la cantidad de agua necesaria para llevar la mezcla a un 3 % de la humedad óptima requerida, esto debido al calor de hidratación generado por la cal y el cemento al momento de ser mezclados con el suelo natural.

3.5.4.4 COMPACTACIÓN

Previo a la compactación se verifican humedades y se decide esperar un tiempo prudencial hasta alcanzar la humedad óptima para ingreso del rodo; una vez alcanzada la humedad requerida se procede a la compactación del tramo de prueba por medio de Rodo Liso de 10 Toneladas, siendo verificada la densidad en cada pasada por medio de lecturas obtenidas a través del Densímetro Nuclear hasta alcanzar la densidad requerida (4 Ciclos).

Posterior a la compactación (4 Ciclos del Rodo) se toma la densidad final por medio del ensayo de Densidad de Campo (Cono y Arena), obteniéndose resultados satisfactorios.

3.5.4.5 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL

Luego de la compactación se realiza el curado del material por medio de la colocación de una imprimación asfáltica; el procedimiento de dicha imprimación fue el siguiente:

1. Con la Pipa de agua se realizó un humedecimiento de la superficie de la calzada previo al riego de emulsión. (Ver Fotografía 3.49)
2. Se procede al Riego de la Emulsión Asfáltica por medio del Distribuidor de Asfalto. (Ver Fotografía 3.50)
3. Se coloca una membrana de arena y chispa.



Fotografía 3.49 Humedecimiento de la Superficie de Rodadura



Fotografía 3.50 Riego de Emulsión para la Imprimación Asfáltica

3.4.4.6 SEGUIMIENTO REALIZADO AL CONTROL DE CALIDAD

A continuación se describen algunos parámetros que se tomaron en cuenta en el control de calidad de la ejecución del tramo de prueba y se presenta un seguimiento a los ensayos que se realizaron posteriores a su construcción.

a) Niveles.

Durante el proceso constructivo, previo a la compactación del tramo de prueba, la cuadrilla topográfica marco los niveles con los que la Motoniveladora debía de conformar el tramo de prueba para alcanzar lo acordado entre el Supervisor y Contratista.

b) Grado de Compactación

Para la obtención del grado de compactación se utilizó el Densímetro Nuclear, siendo tomadas las lecturas después de cada pasada del rodo Liso de 10 toneladas hasta alcanzar la densidad requerida.

Al finalizar todas las pasadas del Rodo (4 Ciclos) se procedió a tomar la Densidad por medio del ensayo de Densidad de Campo, obteniendo los resultados reflejados en la Tabla 3.28

CONTROL DE COMPACTACIÓN EN EL CAMPO (ASTM D 1556, AASHTO T 191)		
Ensayo N°	1	2
Fecha	15 Mar 2010	18 Mar 2010
Estación	0+614	0+275
Lateral	Lat. Izquierdo	Lat. Derecho
Grado de Compactación	96.7	96.2

Tabla 3.28 Resultados del Ensayo de Densidad de Campo

*FUENTE: Informe Mensual de Control de Calidad N° 3 de Prorroga, Contrato FOVIAL N° CO-035/2009,
Contratista: Construcciones y Proyectos Diversos, S.A. de C.V.*

c) Resistencia a la Compresión

Luego de la homogenización del Suelo Natural + Cal + Cemento se tomaron muestras de la mezcla con el fin de elaborar especímenes para la obtención en laboratorio de la Resistencia a la Compresión, dichos resultados se presentan en la Tabla 3.29.

El Valor de Resistencia a la Compresión de Diseño es de 14 Kg/cm², por tanto según tabla 3.29 la mezcla utilizada en la estabilización cumple con los requerimientos.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Edad	Esfuerzo Kg/cm²
1	09 Marzo 2010	11 Marzo 2010	14	17.9
2	09 Marzo 2010	11 Marzo 2010	14	23.6
3	10 Marzo 2010	12 Marzo 2010	14	17.5
3	10 Marzo 2010	12 Marzo 2010	14	17.5
3	10 Marzo 2010	12 Marzo 2010	14	17.5
4	10 Marzo 2010	12 Marzo 2010	14	18.9
PROMEDIO				19.48

Tabla 3.29 Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión

FUENTE: Informe Mensual de Control de Calidad N° 3 de Prorroga, Contrato FOVIAL N° CO-035/2009,

Contratista: Construcciones y Proyectos Diversos, S.A. de C.V.

3.5.5 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS

En el Anexo 11 se presenta un desglose de costos unitarios para las actividades de Estabilización de Suelos Plásticos con Cal y Cemento e Imprimación Asfáltica.

CAPITULO IV
PROPUESTA DEL PLAN
DE EVALUACIÓN DE
DETERIORO

4.1 EVALUACIÓN DE DETERIORO

El transporte por carretera en nuestro país es el de mayor contribución a la actividad nacional en sus aspectos comercial, industrial y de movimiento de pasajeros y de carga, por lo que la red nacional de carreteras se convierte en la columna vertebral en la vida económica, social y política de El Salvador.

El mantenimiento de una vía “No Pavimentada” consiste en prever y solucionar los problemas que se presentan, a causa de su uso, y así brindar al usuario transitabilidad entre un lugar y otro.

La vida de un camino está en función de una adecuada respuesta al mantenimiento para prolongar su vida útil, por lo que la creación de un Plan de Evaluación es necesaria para decidir el tipo de mantenimiento que más se adecue a los daños que presente la vía

4.1.1 DEFINICIÓN DE LA DE EVALUACIÓN DE DETERIORO

Para realizar desde el punto de vista técnico un adecuado programa de conservación, se requiere disponer de buena información de campo, obtenida mediante un sistema de recolección de datos, realizado de forma periódica, con el fin de realizar una de Evaluación de Deterioro de la vía, la cual debe actualizarse regularmente para permitir la medición de los cambios de la condición del pavimento y que reflejen el comportamiento de éste, sometido a las condiciones de tráfico y clima existentes de la zona, con el fin de brindar posteriormente el mantenimiento que mejor se adecue a los tramos.

El deterioro de la estructura de pavimento está en función de la clase de daño, cantidad o densidad del mismo y su severidad.

4.1.2 ALCANCE DE LA EVALUACIÓN DE DETERIORO

La información obtenida de una vía es muy variada, pero lo que se requiere para preparar un programa de mantenimiento es solo una fracción de toda la información que se puede producir, por lo que se debe revisar constantemente para medir solo aquellos datos que realmente influyan en las decisiones que se tomen para el mantenimiento de la vía o para la elaboración de un proyecto detallado de rehabilitación de un tramo específico.

Dentro de la Evaluación de Deterioro, lo que se pretende identificar son los daños que la vía presenta tanto en la Capa de Rodadura, como en sus drenajes. Realizando estas evaluaciones de manera programada, cada dos meses o después de suceder un evento lluvioso importante.

Esta evaluación es realizada con el objetivo de determinar el alcance y la magnitud de los problemas que presenta la vía y así, a partir de esta evaluación, determinar la reparación o el tipo de mantenimiento necesario.

El índice de Condición de Carreteras no Pavimentados URCI (Unsurfaced Road Condition Index), está basado en la misma metodología de evaluación y calificación objetiva del Índice de Condición del pavimento (PCI).

Esta metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema.

Como se mencionó anteriormente, el deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, cantidad o densidad del mismo y su severidad.

La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones.

Para superar esta dificultad se introdujeron los valores deducidos, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

El URCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

En la tabla 4.1 se presentan los rangos de URCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición de la vía.

RANGO	CLASIFICACIÓN
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy Bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy Malo
10 - 0	Fallado

Tabla 4.1 Clasificación de la Condición del Pavimento según Rango de URCI
FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

4.1.3 PARAMETROS A EVALUAR

Es fundamental para la evaluación del comportamiento de un camino, el establecimiento de medidas o parámetros seleccionados de manera que exista uniformidad de los datos recogidos en campo y procesados a través del sistema de información.

Para el caso de esta investigación, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros a evaluar:

1. Sección Transversal Inadecuada
2. Corrugaciones
3. Ahuellamiento
4. Perdida de Agregado
5. Baches
6. Drenaje Inadecuado
7. Polvo

Dichos parámetros fueron tomados del Manual de Daños del URCI (*Fuente: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY*), el cual considera siete daños de los cuales cinco están incluidos en el Catálogo de Daños a Pavimentos Viales (SIECA), la descripción de estos daños se presenta a continuación:

4.1.3.1 SECCIÓN TRANSVERSAL INADECUADA.

DESCRIPCIÓN: Deformaciones en la superficie de la carretera que no permiten el flujo de las aguas pluviales y dificultan el tránsito.

POSIBLES CAUSAS: Están relacionadas con el asentamiento diferencial de la vía, el movimiento de los materiales del pavimento por acción de las aguas pluviales, ausencia de drenes y cargas del tránsito.

NIVELES DE SEVERIDAD: La sección transversal de la vía es inadecuada cuando existen altas posibilidades de quedar el agua acumulada en su superficie (Empozamientos). De acuerdo con la siguiente guía, se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) en función de dicho parámetro:

- ❖ **B (Bajo)** Cuando los empozamientos ocupan menos del 10% de la sección transversal de la vía y son poco profundos.
- ❖ **M (Mediano)** Cuando los empozamientos ocupan entre el 10% y el 30% de la sección transversal de la vía y son poco profundos.
- ❖ **A (Alto)** Cuando los empozamientos ocupan más del 30% de la sección transversal de la vía y son poco profundos o cuando estos originan grandes acumulaciones de agua.

MEDICIÓN: Es medida en metros lineales, por unidad de muestreo a lo largo del eje longitudinal o paralelo al eje longitudinal de la sección, la medición incluye los hombros. La máxima longitud que puede ser reportada es la misma de la unidad de muestreo.

ESQUEMA:

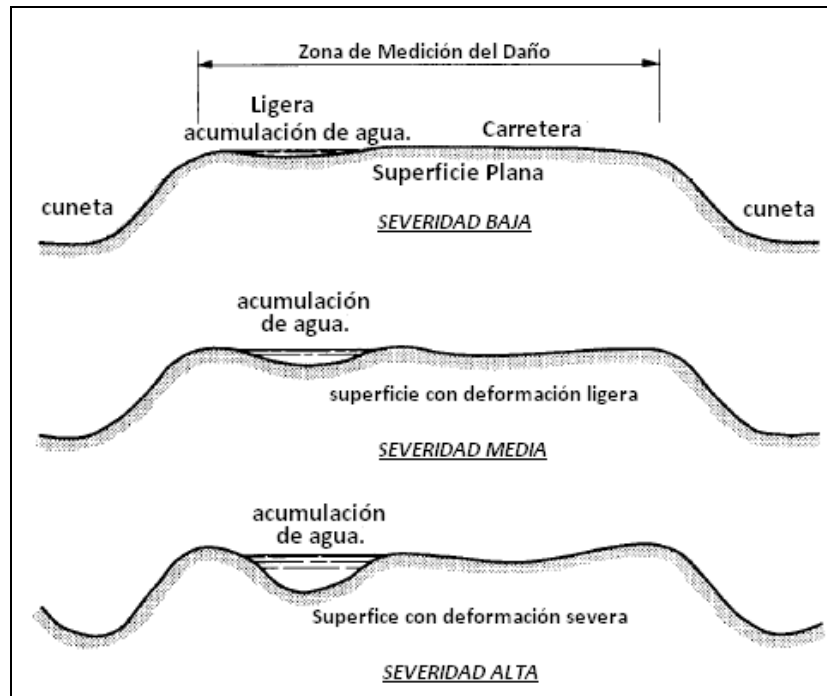


Figura 4.1 Nivel de Severidad del Daño: Sección Transversal Inadecuada

FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY



Fotografía 4.1 Sección Transversal Inadecuada

FUENTE: Ruta CUS18E / Suchitoto – Cinqera, Estación 0+000 (15 de Septiembre de 2010)

4.1.3.2 CORRUGACIONES

DESCRIPCIÓN: Serie de ondulaciones constituidas por crestas y depresiones perpendiculares a la dirección del tránsito, los cuales se suceden muy próximas, unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menores de 1 metro, a lo largo de la superficie.

POSIBLES CAUSAS: Este daño es usualmente causado por la acción del tránsito y la falta de cohesión del material de superficie; desarrollándose mayormente en la época seca. Los materiales que presentan baja plasticidad, escasez de finos y agregados de tamaño mayor de 5 cm son más susceptibles de desarrollar este daño.

NIVELES DE SEVERIDAD: La severidad de la corrugación se determina en función de la profundidad de la depresión entre dos crestas. Estas se miden con una regla de 2.0 metros de longitud colocada a lo largo de la carretera. Se promedian los valores máximos de las depresiones. Se definen tres niveles de severidad (alto, mediano, bajo) de acuerdo con la siguiente guía:

- ❖ **B (Bajo)** La profundidad promedio es menor de 2.5 cm.
- ❖ **M (Mediano)** La profundidad promedio está comprendida entre 2.5 y 7 cm.
- ❖ **A (Alto)** La profundidad promedio es mayor de 7 cm.

MEDICIÓN: El daño es medido en metros cuadrados, el área no puede exceder el área de la unidad de muestreo.

ESQUEMA

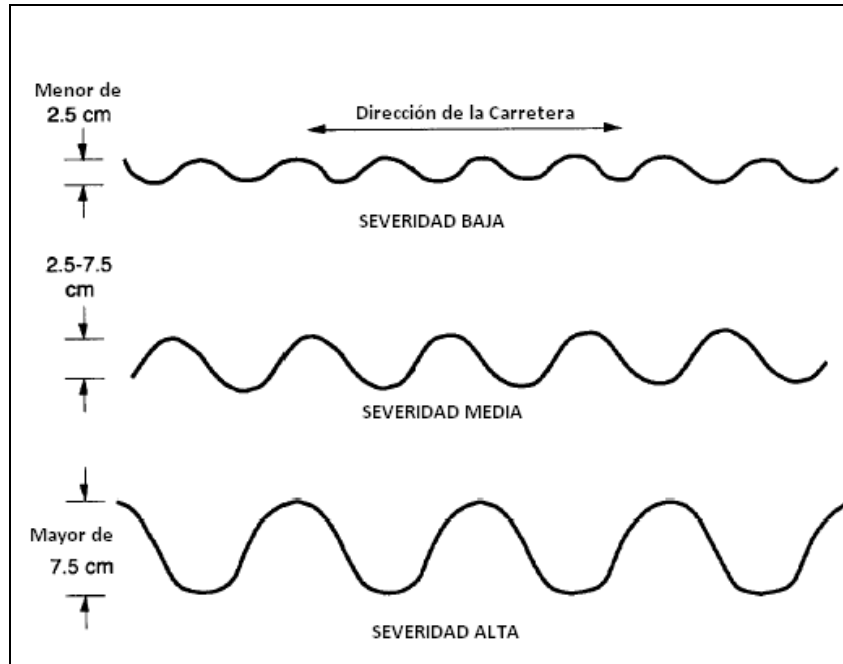


Figura 4.2 Nivel de Severidad del Daño: Corrugaciones

FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY



Fotografía 4.2 Corrugaciones

FUENTE: Ruta CUS18E / Suchitoto - Cinquera, Estación 0+230 (30 de Octubre de 2010)

4.1.3.3 AHUELLAMIENTO

DESCRIPCIÓN: Es una deformación longitudinal continua a lo largo de las huellas de canalización del tránsito, de longitud mínima de 6 m. En casos extremos la sección transversal de la carretera muestra un perfil en forma de W.

POSIBLES CAUSAS: Es la acción de las cargas transmitidas por los neumáticos de los vehículos, así como por la frecuencia de los mismas. Las características del material de superficie y las condiciones climáticas son factores que posibilitan el desarrollo de este daño. Por ejemplo, materiales arcillosos en clima húmedo o materiales sin cohesión (arenoso) en clima seco.

NIVELES DE SEVERIDAD: La severidad del ahuellamiento se determina en función de la profundidad de la huella, midiendo ésta con una regla de 2 m de longitud colocada transversalmente al eje de la carretera. La medición se efectúa donde la profundidad es mayor, promediando los resultados obtenidos a intervalos de 3 m de largo de la huella. Se definen tres niveles de severidad (alto, mediano, bajo) de acuerdo con la siguiente guía:

- ❖ **B (Bajo)** La profundidad promedio es menor de 2.5 cm.
- ❖ **M (Mediano)** La profundidad promedio está comprendida entre 2.5 y 7 cm.
- ❖ **A (Alto)** La profundidad promedio es mayor de 7 cm.

MEDICIÓN: El daño es medido en metros cuadrados, dentro de la unidad de muestreo.

ESQUEMA:

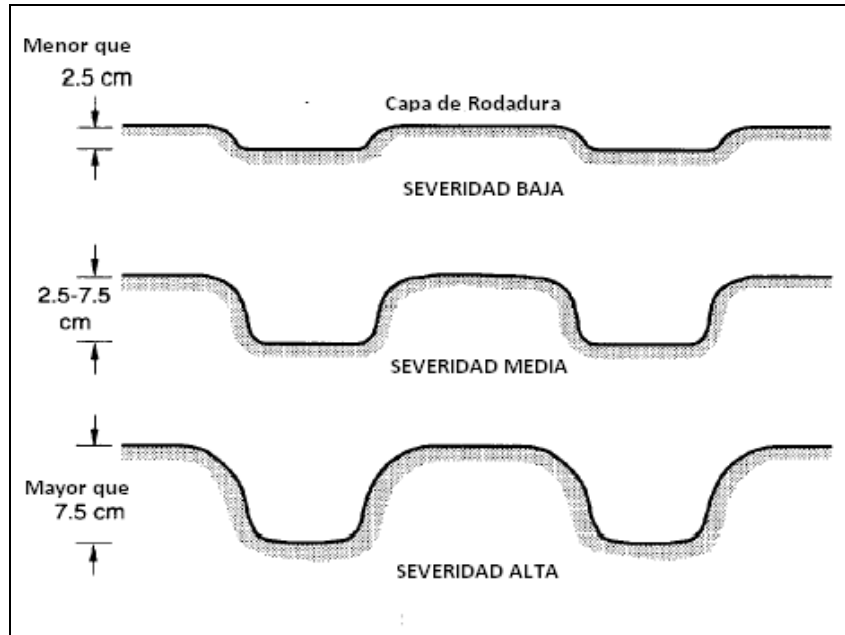


Figura 4.3 Nivel de Severidad del Daño: Ahuellamiento

FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY



Fotografía 4.3 Ahuellamiento

FUENTE: Ruta CUS18E / Suchitoto - Cinquera, Estación 1+000 (18 de Julio de 2010)

4.1.3.4 PÉRDIDA DE AGREGADO

DESCRIPCIÓN: Se refiere a la separación de los agregados de la capa de superficie, quedando dichos agregados en estado suelto y formando cordones a lo largo de la carretera.

POSIBLES CAUSAS: Principalmente se origina por acción del tránsito sobre capas de superficie carente de finos plásticos y con presencia de agregados cuyas partículas son mayores a 5 cm. El daño se desarrolla con mayor rapidez cuando las partículas carecen de angulosidad. El tránsito desplaza longitudinalmente los agregados gruesos a las orillas de las huellas de canalización o ahuellamiento.

NIVELES DE SEVERIDAD: Según la altura de los cordones longitudinales sueltos que se forman, se definen tres niveles de severidad (alto, mediano, bajo) de acuerdo con la siguiente guía:

- ❖ **B (Bajo)** Altura promedio del cordón menor de 5 cm.
- ❖ **M (Mediano)** Altura promedio del cordón entre 5 y 10 cm.
- ❖ **A (Alto)** Altura promedio del cordón mayor de 10 cm.

MEDICIÓN: La pérdida de agregado es medida en metros lineales paralelo al eje longitudinal de la unidad de muestreo, se mide separadamente cada una de las acumulaciones de agregado, es decir en una unidad de muestreo de 30 metros de longitud, pueden existir tres acumulaciones de agregados a lo largo de la unidad de muestreo producida por el daño, en este caso en la longitud a contabilizar en el formato de evaluación será 90 metros.

ESQUEMA

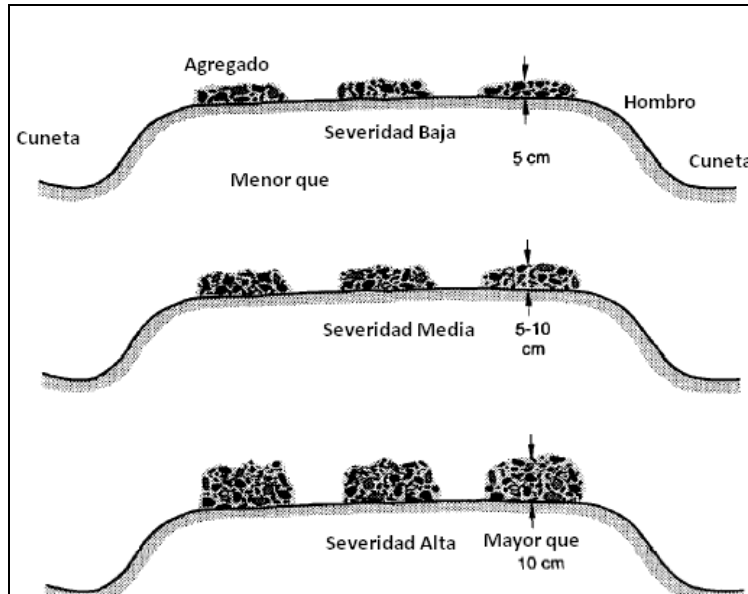


Figura 4.4 Nivel de Severidad del Daño: Pérdida de Agregado

FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY



Fotografía 4.4 Pérdida de Agregado

FUENTE: Ruta CUS18E / Suchitoto – Cinquera, Estación 0+980 (18 de Julio de 2010)

4.1.3.5 BACHES

DESCRIPCIÓN: Cavidades en la superficie de la carretera en forma de tazón, cuyo diámetro promedio usualmente es menor de 1 m.

POSIBLES CAUSAS: Son muy variadas las causas que originan este daño. Se producen debido a un estado muy avanzado de otros daños, por ejemplo las corrugaciones, ahuellamientos, etc. Y también por la combinación del tránsito, clima y características de los materiales de la capa de rodadura, son factores que influyen en la formación de este daño. Este daño tiende a desarrollarse durante la época húmeda, durante la cual cualquier deformación en la superficie, posibilita la concentración de agua y por tanto el debilitamiento de dichas áreas.

NIVELES DE SEVERIDAD: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) en función del diámetro promedio y profundidad del bache, condición y estado de los bordes, de acuerdo a la siguiente tabla:

PROFUNDIDAD MAXIMA	DIAMETRO PROMEDIO (m)			
	Menor de 0.30	0.30 – 0.60	0.60 -1.00	Mayor de 1.00(*)
1.5 – 5 cm	B	B	M	M
5 – 10 cm	B	M	A	A
> 10 cm	M	A	A	A
(*) Si el diámetro promedio del bache es mayor de 1 m, se obtendrá un área del bache (metros cuadrados) y se dividirá entre 7 para encontrar un número equivalente de baches.				

Tabla 4.2 Nivel de Severidad del Daño: Baches

FUENTE: *Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY*

MEDICIÓN: contando el número de baches que son de baja, media y alta severidad en la unidad de muestreo.

ESQUEMA

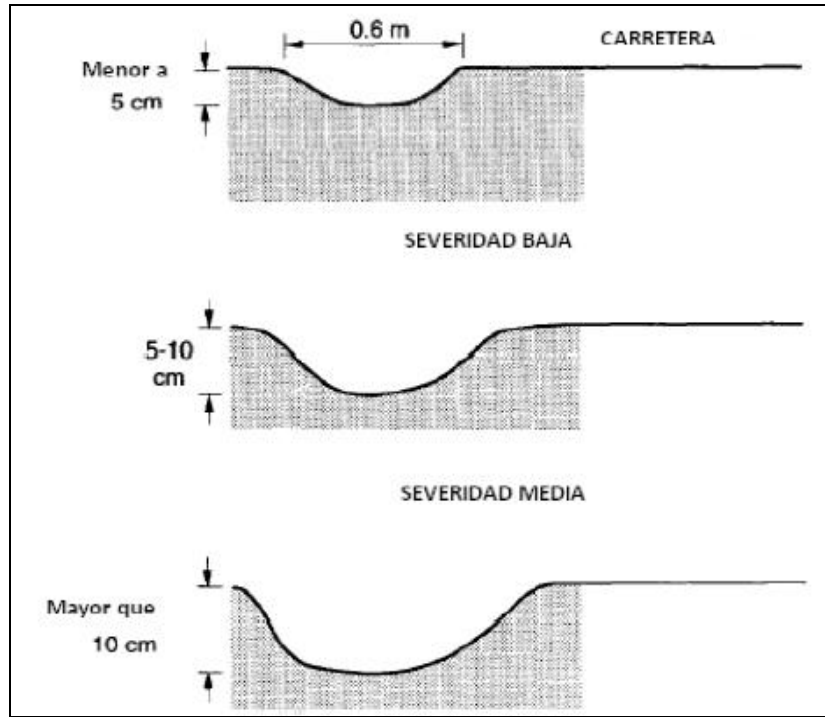


Figura 4.5 Nivel de Severidad del Daño: Baches

FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY



Fotografía 4.5 Baches

FUENTE: Ruta CUS18E / Suchitoto - Cinqera, Estación 0+680 (15 de Septiembre de 2010)

4.1.3.6 DRENAJE INADECUADO

DESCRIPCIÓN: Se presenta como una acumulación de agua en las cunetas, producida por la dificultad de escurrimiento del agua.

POSIBLES CAUSAS: este problema se da cuando las cunetas no están en buena condición, cuando hay crecimiento de hierba en las cunetas, acumulaciones de agregado que obstaculizan que el agua corra, estancándose.

NIVELES DE SEVERIDAD: definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) de la siguiente manera:

- ❖ **B (Bajo)** Existen leves casi nulos estancamiento de agua en las cunetas, se puede observar el crecimiento de hierba dentro de la cuneta.
- ❖ **M (Mediano)** Existen moderados estancamientos de agua en la cuneta y evidencia de escurrimiento en la capa de rodadura, se observa erosión en las cunetas afectando al hombro o en su defecto a la capa de rodadura.
- ❖ **A (Alto)** Existen severos estancamientos de agua en la cuneta, impidiendo seriamente que el agua corra libremente en la cuneta, con abundante crecimiento de hierba.

MEDICIÓN: El problema de drenaje se mide en metros lineales, por unidad de muestreo, la longitud máxima a reportar es el doble de la unidad de muestreo.

ESQUEMA

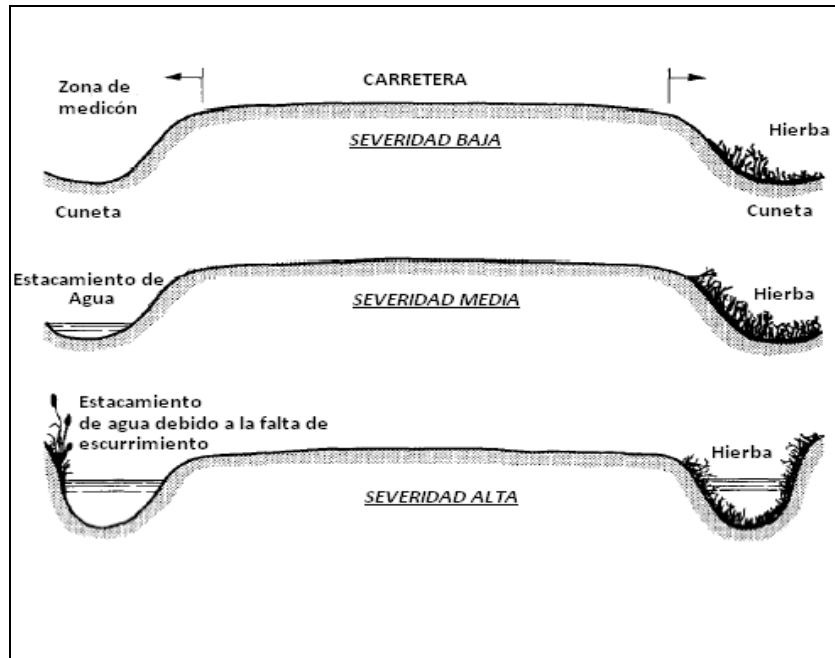


Figura 4.6 Nivel de Severidad del Daño: Drenaje Inadecuado

FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY



Fotografía 4.6 Drenaje Inadecuado

FUENTE: Ruta CUS18E / Suchitoto - Cinquera, Estación 0+060 (24 de Abril de 2010)

4.1.3.7 POLVO

DESCRIPCIÓN: Consiste en una nube que afecta la visibilidad del conductor. Este daño será analizado cuando no se cuente con la capa impermeabilizante.

POSIBLES CAUSAS: Es originado debido al desprendimiento de partículas de suelo, causado por el servicio de la carretera, y al aumento del tráfico, formando nubes de polvo que disminuyen la visibilidad y contribuyen a la contaminación del medio ambiente.

NIVELES DE SEVERIDAD: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto).

- ❖ **B (Bajo)** El tráfico normal de la carretera ocasiona una tela delgada de polvo que no afecta la visibilidad del conductor.
- ❖ **M (Mediano)** El tráfico normal de la carretera ocasiona una gruesa nube de polvo que afecta parcialmente la visibilidad y causa que el conductor disminuya la velocidad.
- ❖ **A (Alto)** El tráfico normal de la carretera ocasiona una gruesa nube de polvo que afecta severamente la visibilidad, causa que el conductor disminuya la velocidad significativamente o se detenga.

MEDICIÓN: Se conduce un vehículo a velocidad de 40 KPH observándose la nube de polvo, es medido según la severidad baja, media y alta, por unidad de muestreo.

ESQUEMA

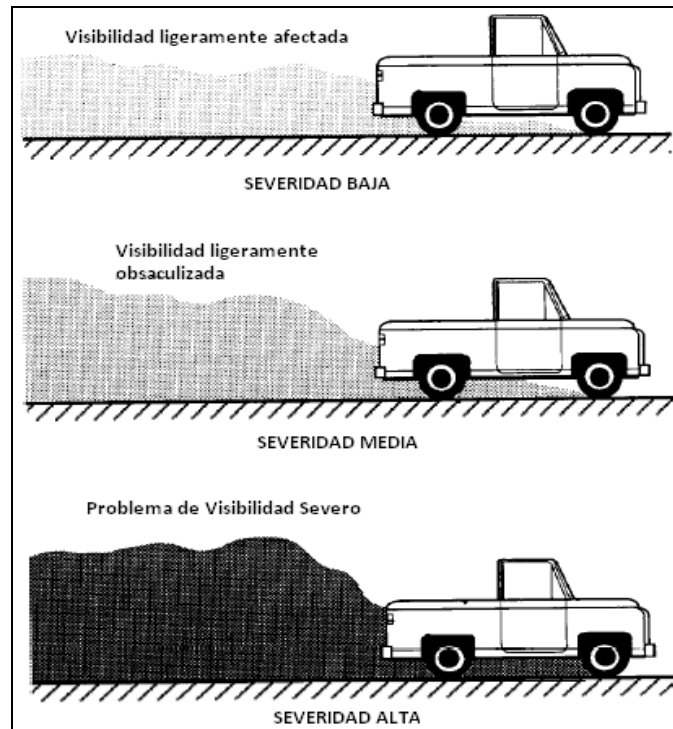


Figura 4.7 Nivel de Severidad del Daño: Polvo

FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY



Fotografía 4.7 Polvo

FUENTE: Ruta CUS18E / Suchitoto - Cinquera, Estación 0+360 (24 de Abril de 2010)

4.1.4 PERIODOS DE EVALUACIÓN.

Para el caso de los tramos de prueba en estudio se realizaron evaluaciones de cada uno, un mes después de construidos respectivamente y siguiendo así las visitas de campo cada dos meses o cuando ocurría un evento lluvioso de magnitud significativa y por ende, afectaba considerablemente el desempeño de cada método de estabilización aplicado a los tramos de prueba. A continuación se presenta las fechas en las que se realizó cada levantamiento:

N° DE LEVANTAMIENTO	FECHA
1	24 ABRIL 2010
2	12 JUNIO 2010
3	18 JULIO 2010
4	15 SEPT. 2010
5	30 OCTUBRE 2010
6	16 ENERO 2011

Tabla 4.3 Fecha en la que se realizó cada Levantamiento de Daños

4.2 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE LA CAPA DE RODADURA DE CADA TRAMO

4.2.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en el formato adecuado para tal fin (Ver Anexo 12).

Se divide la vía en secciones o unidades de muestreo, cuyas dimensiones varían de acuerdo al ancho de la vía. Para Carreteras no pavimentadas pueden variar desde 140 hasta 325 metros cuadrados con un promedio recomendado de 231 metros cuadrados. En general la unidad de muestreo es de 30 metros de largo. Si el camino es más estrecho que 4.5 metros, la longitud debe ser incrementada. Si el camino es más ancho que 10.5 metros, la longitud debe ser disminuida; en nuestro caso debido a la corta longitud de cada tramo de prueba se considero como unidad de muestreo 20 metros de largo, considerando la totalidad del tramo de prueba.

Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del URCI confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

a. Equipo.

- ❖ Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- ❖ Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

- ❖ Manual de Daños del URCI, con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad. El manual de daños considera siete daños de los cuales cinco están incluidos en el Catálogo de daños a pavimentos viales (SIECA).

b. Procedimiento.

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa un formulario u para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

4.2.2 CALCULO DEL URCI

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el URCI. El cálculo se basa en los Valores Deducidos de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

1. El primer paso en el cálculo del URCI es determinar la densidad de cada uno de los daños contabilizados en la inspección, los cuales han sido registrados en el formato de inspección, la densidad de los daños se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\text{Cantidad del Daño}}{\text{Area de la Unidad de Muestreo}} \times 100\%$$

Cuando se tiene como daño el polvo no es necesario obtener la densidad del daño en la unidad de muestreo.

2. Con el uso de las graficas, se obtiene el valor deductivo de acuerdo con el tipo de daño y severidad. (Ver Anexo)
3. Obtenemos el valor total deductivo (VDT) y el valor q . El VDT no es más que la suma de todos los valores deductivos de los daños registrados en la unidad de muestreo y el valor q es el número de valores deductivos mayores a 5. (Ver Anexo: gráfica para obtener URCI)
4. Cálculo del URCI de una Sección de Pavimento. Una sección de capa de rodadura abarca varias unidades de muestro. En nuestro caso dado que se realizó la medición en todas las unidades de muestreo, el URCI de la sección es el promedio de los URCI calculados en todas las unidades de muestreo.

4.2.2.1 EJEMPLO DEL CÁLCULO DEL URCI PARA UNA UNIDAD DE MUESTRA

Luego de realizar la inspección de campo se obtienen datos de acuerdo a la Hoja de Inspección que se presenta en la siguiente página, para este ejemplo se tomo como unidad de muestra la estación 0+020 del Levantamiento de fecha 12 de Junio de 2010, la cual corresponde al Tramo de Balasto Inicial.

Como se puede observar en la figura 4.8 los daños que se tienen para esta Unidad de Muestra son: Pérdida de Agregados, Drenaje Inadecuado y Polvo. El Primer paso para calcular el URCI es obtener la Densidad de cada daño:

Para la calcular la densidad de la Pérdida de Agregados tenemos:

$$D = \frac{\text{Cantidad del Daño}}{\text{Area de la Unidad de Muestreo}} \times 100\%$$

$$D = \frac{40.00}{110.00} \times 100\% = 36.36\%$$

De manera similar se calcula la Densidad para los Drenajes Inadecuados, en el caso del Polvo no es necesario calcular esto dado que por medio de la Tabla (Ver Anexo) se puede encontrar el Valor Deductivo.

HOJA DE INSPECCION PARA CARRETERAS NO PAVIMENTADAS								
1. Estacionamiento (Inicial - Final):		2. Unidad de Muestreo:		3. Fecha:				
0+020 0+040		20.00 metros		12/06/2010				
4. Ruta:		5. Área de Muestreo (m2)		6. Inspeccionado por:				
CUS18E / Suchitoto - Cinqera		110.00 m2		7. Ancho de Calzada (m): 5.50				
8. Esquema:				Daños en Carretera No Pavimentadas				
				F1. Sección Transversal Inadecuado F2. Corrugación F3. Ahuellamiento F4. Pérdida de Agregados F5. Baches F6. Drenaje Inadecuado F7. Polvo				
9. Cantidad y Severidad de los Daños								
Tipo		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Cantidad y Severidad	B							X
	M				40.00			
	A						20.00	
10. Cálculo del URCI								
Tipo de Daño	Densidad	Severidad	Valor Deductivo	11. Observaciones:				
F4	36.36%	M	20					
F6	18.18%	A	16					
F7	-	B	2					
Valor Total Deductivo:		q =	URCI:	Clasificación:				
38		2	72	Muy Bueno				

Figura 4.8 Hoja de Inspección

Una vez calculada la Densidad y ya que tenemos la Severidad del Daño (la cual fue obtenida con anterioridad en la Inspección de Campo), con ayuda de las graficas (Ver Anexos) se pueden obtener el Valor Deductivo de cada Daño.

Para el caso de la Perdida de Agregados tenemos:

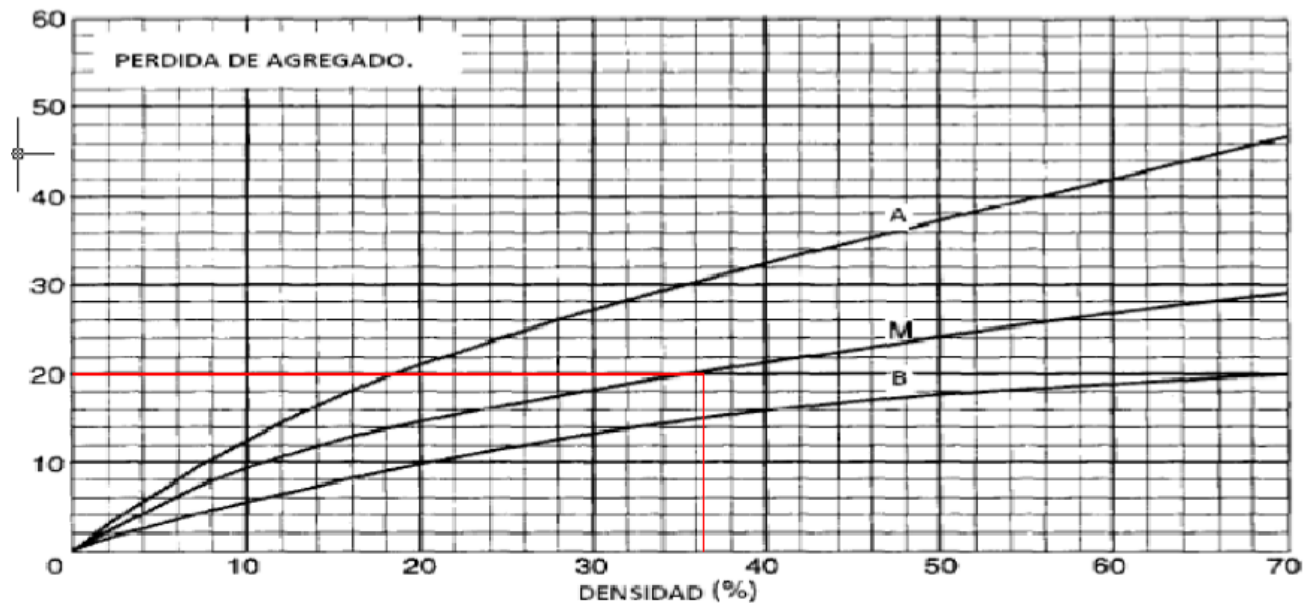


Figura 4.9 Grafica de Densidad - Valor Deductivo para Perdida de Agregado
FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

Como podemos observar en la figura 4.9 para la Perdida de Agregados con una Densidad de 36.36 % y Severidad Media se tiene un Valor Deductivo de 20 Puntos, de manera similar se obtiene el Valor Deductivo para el Drenaje Inadecuado.

En el Caso del Polvo se obtiene el Valor Deductivo con ayuda de la Figura 4.10. De esta figura tenemos que el Valor Deductivo para el Polvo de Severidad Baja es de 2 Puntos.

POLVO.		
Para este daño no se obtiene densidad. Los valores deductivos de este daño son:		
BAJO	-----	2 Puntos.
MEDIO	-----	4 Puntos.
ALTO	-----	15 Puntos.

Figura 4.10 Valor Deductivo para el Polvo

FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

Por tanto tenemos que el Valor Total Deductivo es la suma de todos los Valores Deductivos obtenidos, para nuestro caso el Valor Total Deductivo es igual a 38 Puntos.

Luego se obtiene el valor de “ q ” el cual es la suma de los Valores Deductivos mayores a 5, en nuestro caso se tienen dos Valores deductivos mayores a 5, por tanto el valor de q es igual a 2. Con estos datos y con ayuda de la Grafica correspondiente podemos obtener el valor del URCI, para nuestro caso ver la figura 4.11.

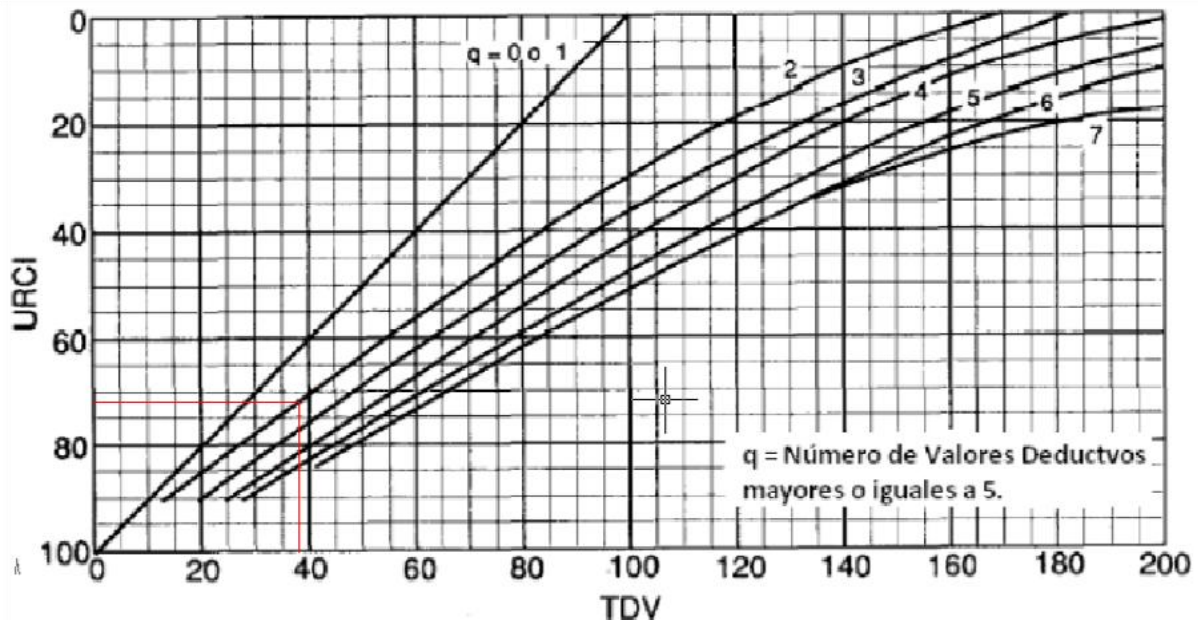


Figura 4.11 Grafica de TDV - URCI

FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

De aquí obtenemos que el URCI para esta Unidad de Muestra es de Aproximadamente 72 puntos.

De acuerdo a la Tabla 4.1 para un URCI de 72 se tiene una clasificación de la vía de MUY BUENO, sin embargo esta clasificación es solamente para esta Unidad de Muestra.

Para obtener el URCI del Tramo Completo se debe de promediar todos los URCI's obtenidos en cada Unidad de Muestra.

4.2.3 EVALUACIÓN DE DAÑOS EN LA CAPA DE RODADURA

Se realizaron 6 Levantamiento de Daños de los Tramos de Prueba abarcados entre el período de Abril de 2010 a Enero de 2011, con el fin de evaluar el Deterioro de la Capa de Rodadura de cada Tramo y determinar según la obtención del URCI que método se ha comportado mejor con respecto a los demás.

Así como la determinación de los posibles mantenimientos que debe dársele a cada tramo de prueba, para poder evaluar en un futuro la factibilidad de la utilización de dichos métodos de estabilización de suelos plásticos con el objetivo de optimizar recursos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada Levantamiento para cada Tramo en estudio, así como un grafico Tiempo – URCI con el fin de comparar y visualizar de mejor manera el comportamiento de todos los tramos.

4.2.3.1 BALASTO INICIAL (EST. 0+000 - 0+240)

A continuación se presentan los resultados para el tramo inicial de balasto de acuerdo a la fecha en la que se realizó cada levantamiento:

N°	LEVANTAMIENTO (FECHA)	BALASTO INICIAL	
		URCI	CLASIFICACIÓN
1	24 ABRIL 2010	82.83	Muy Bueno
2	12 JUNIO 2010	77.00	Muy Bueno
3	18 JULIO 2010	69.17	Bueno
4	15 SEPT. 2010	55.58	Bueno
5	30 OCTUBRE 2010	53.50	Bueno
6	16 ENERO 2011	60.25	Bueno

Tabla 4.4 Calculo del URCI para el tramo del Balasto Inicial

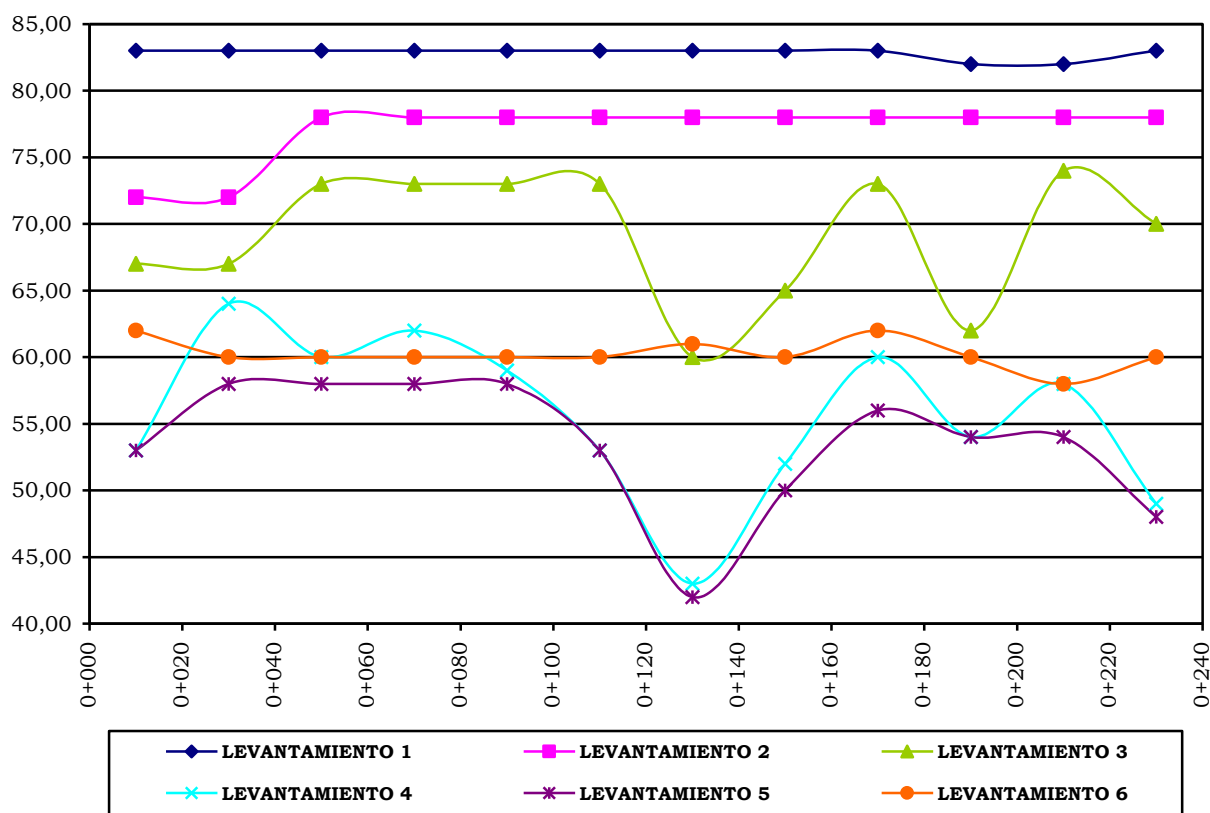


Figura 4.12 Grafico de Distancia - URCI de Tramo de Balasto Inicial

Como se puede observar en los resultados se ha tenido un deterioro constante en la capa de rodadura de los tramos conformados con Balasto, se aprecia una mejora en el Levantamiento realizado el día 16 de Enero del 2011, dado que al momento de realizar dicho levantamiento se pudo constatar que se realizaron actividades de mantenimiento al mismo.

Los principales daños que presenta la Capa de Balasto es Perdida de Agregados en la totalidad del tramo (Ver Fotografías), así como Ahuellamientos y Corrugaciones en las pendientes, por lo demás el polvo es mínimo y solo en una parte se presento Sección Transversal Inadecuada, dado que se lavo a totalidad el material.

En la Figura 4.12 se puede observar que en los Levantamientos 1 y 6 en todo el tramo de Balasto se tiene una condición similar entre las Unidades de Muestra. A la vez se puede observar que entre los estacionamientos 0+000 – 0+040 a partir del Levantamiento 2 se presenta un deterioro acelerado, dado que en este tramo se presento sección transversal Inadecuada, siendo este daño superado en la Conformación que se realizó en el mes de Diciembre de 2010.

Además se puede observar entre los estacionamientos 0+100 – 0+160 otra caída acelerada del URCI, esta vez causada por acumulamiento de Material, lo que genera en estas unidades de muestras, al igual que en el tramo anterior, Sección Transversal Inadecuada.

Al final del Tramo se observan variaciones, causadas por el aparecimiento de corrugaciones y la falta de drenaje u obstrucción del mismo, como se puede apreciar luego de la intervención a finales del 2010 se tuvo un incremento en el URCI de aproximadamente 6.75 puntos.



Levantamiento 1



Levantamiento 2



Levantamiento 3



Levantamiento 4



Levantamiento 5



Levantamiento 6

Fotografías 4.8 Comportamiento del Tramo de Balasto Inicial
FUENTE: Levantamiento de Daños realizados desde Abril de 2010 a Enero de 2011

4.2.3.2 TRAMO ESTABILIZADO CON CAL + CEMENTO (EST. 0+245 – 0+305 TRAMO DE 60 METROS)

A continuación se presentan los resultados para el tramo estabilizado con Cal y Cemento de acuerdo a la fecha en la que se realizo cada levantamiento:

N°	LEVANTAMIENTO (FECHA)	TRAMO DE 60 METROS	
		URCI	CLASIFICACIÓN
1	24 ABRIL 2010	90.00	Excelente
2	12 JUNIO 2010	90.00	Excelente
3	18 JULIO 2010	92.00	Excelente
4	15 SEPT. 2010	81.33	Muy Bueno
5	30 OCTUBRE 2010	81.33	Muy Bueno
6	16 ENERO 2011	85.00	Muy Bueno

Tabla 4.5 Calculo del URCI para el tramo Estabilizado con Cal + Cemento

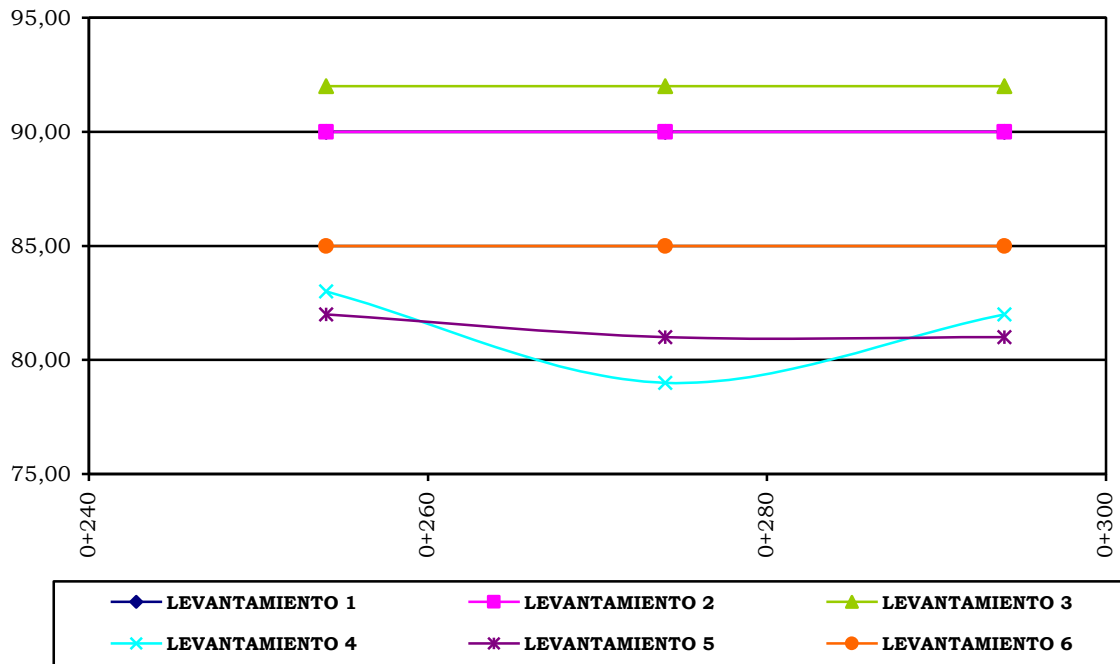


Figura 4.13 Grafico de Distancia - URCI de Tramo de Estabilización de Cal + Cemento (60m)

Para el Tramo de 60 metros los resultados son muy variables debido a la Limpieza de los Drenajes, donde se ha tenido incremento se debe a que dichos drenajes se encontraban limpios con respecto al levantamiento anterior, en su totalidad este tramo se ha comportado muy bien ya que con respecto a los demás tramos de prueba es el que menor deterioro presenta.

Se tuvo un decremento considerable del levantamiento 4 con respecto al levantamiento 3 debido a la pérdida de agregado debido a las constantes lluvias durante ese periodo de tiempo.

Con respecto al levantamiento 6 se ha tenido un incremento dado que los Drenajes no se encuentran obstruidos, como fue el caso de los levantamientos anteriores.

Como se puede observar en la Figura 4.13 en todos los levantamientos se han encontrados condiciones similares entre las unidades de muestra, con excepción del levantamiento 4 en donde la variación se debe a la obstrucción de los drenajes.

A continuación se presentan fotografías de todos los levantamientos realizados en este tramo de prueba, con el propósito de apreciar el deterioro en el mismo de una mejor manera:



Levantamiento 1



Levantamiento 2



Levantamiento 3



Levantamiento 4



Levantamiento 5



Levantamiento 6

Fotografías 4.9 Comportamiento del Tramo de Estabilización con Cal+Cemento (60 m)
FUENTE: Levantamiento de Daños realizados desde Abril de 2010 a Enero de 2011

4.2.3.3 TRAMO ESTABILIZADO CON CAL (EST. 0+305 - 0+405)

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a la fecha en la que se realizo cada levantamiento:

Nº	LEVANTAMIENTO (FECHA)	URCI	CLASIFICACIÓN
1	24 ABRIL 2010	88.00	Excelente
2	12 JUNIO 2010	87.60	Excelente
3	18 JULIO 2010	87.60	Excelente
4	15 SEPT. 2010	77.80	Muy Bueno
5	30 OCTUBRE 2010	77.00	Muy Bueno
6	16 ENERO 2011	75.00	Muy Bueno

Tabla 4.6 Calculo del URCI para el tramo Estabilizado con Cal

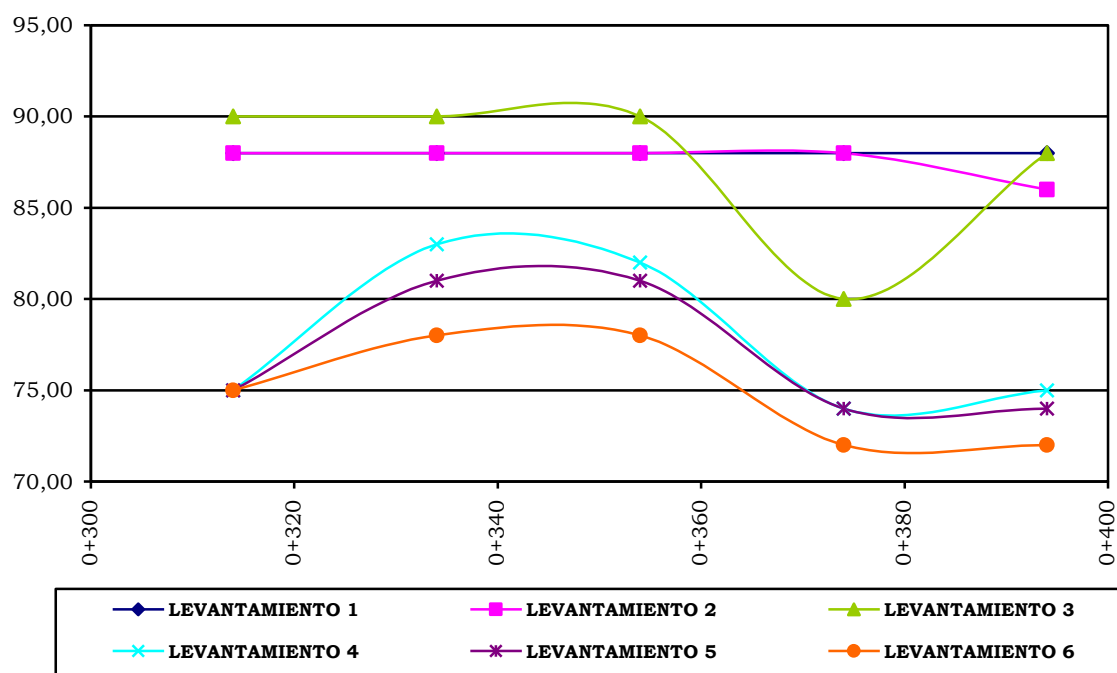


Figura 4.14 Grafico de Distancia - URCI de Tramo de Estabilización de Cal

Como se puede observar en los resultados de los levantamientos se ha tenido un deterioro progresivo pero lento para el tramo estabilizado con Cal, en su totalidad el tramo presenta condiciones regulares, Los principales daños que presenta son Perdida de Agregados, Drenajes Obstruidos en algunos levantamientos y Ahuellamientos.

Como se puede observar en la fotografía del Levantamiento 6 el daño mas considerable es la perdida de agregado que ha sufrido este método de estabilización.

Como se puede observar en la figura 4.14 solo en el Levantamiento 1 se tiene un URCI similar en todas las unidades de muestra, a partir del Levantamiento 2 se empieza a apreciar un daño más marcado en las Unidades de muestra ubicadas entre los estacionamientos 0+364 – 0+404, donde se presento una mayor pérdida de agregados, así como baches entre la calzada y la canaleta de concreto.

A continuación se presentan fotografías de todos los levantamientos realizados en este tramo de prueba, con el propósito de apreciar el deterioro en el mismo de una mejor manera:



Levantamiento 1



Levantamiento 2



Levantamiento 3



Levantamiento 4



Levantamiento 5



Levantamiento 6

Fotografías 4.10 Comportamiento del Tramo de Estabilización con Cal
FUENTE: Levantamiento de Daños realizados desde Abril de 2010 a Enero de 2011

4.2.3.4 TRAMO ESTABILIZADO CON CEMENTO (MÉTODO PUAD) (EST. 0+410 – 0+610)

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a la fecha en la que se realizó cada levantamiento:

Nº	LEVANTAMIENTO (FECHA)	URCI	CLASIFICACIÓN
1	24 ABRIL 2010	98.00	Excelente
2	12 JUNIO 2010	93.00	Excelente
3	18 JULIO 2010	76.40	Muy Bueno
4	15 SEPT. 2010	73.10	Muy Bueno
5	30 OCTUBRE 2010	73.00	Muy Bueno
6	16 ENERO 2011	72.00	Muy Bueno

Tabla 4.7 Calculo del URCI para el tramo Estabilizado con Cemento

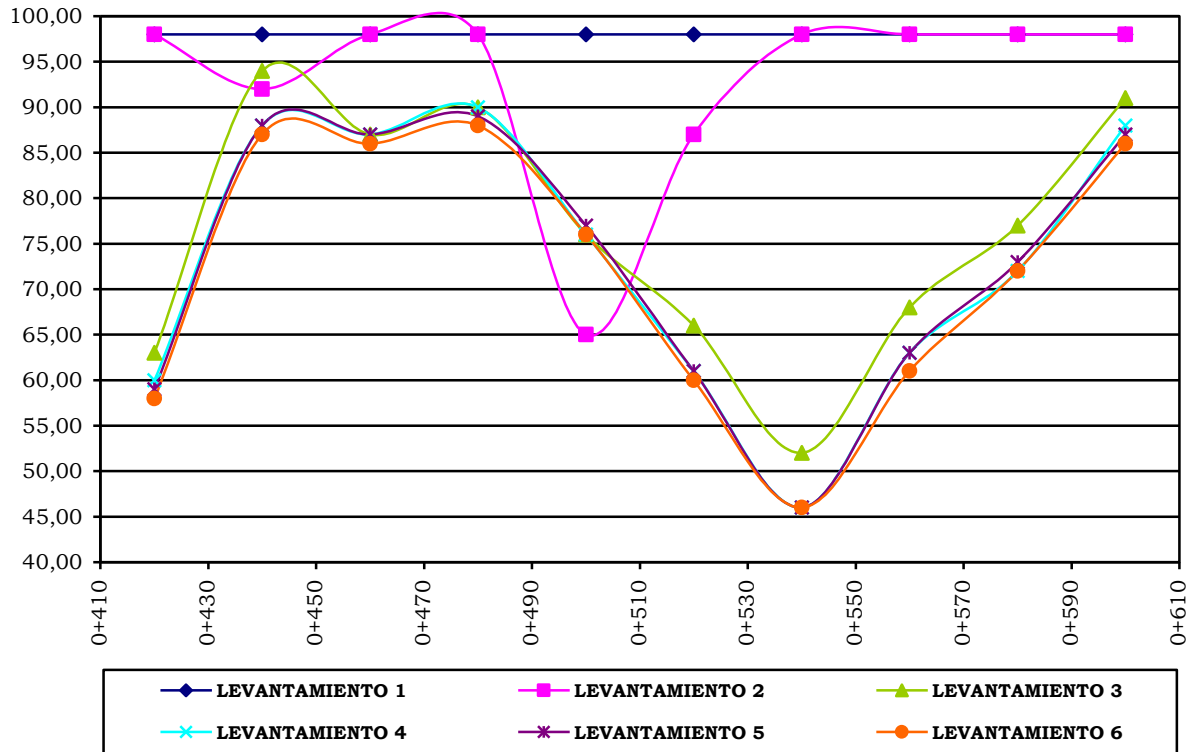


Figura 4.15 Gráfico de Distancia - URCI de Tramo de Estabilización con el Método "PUAD"

Como se puede observar en los resultados de los levantamientos se ha tenido un deterioro progresivo en los primeros meses, luego del levantamiento del 18 de Julio se tiene un deterioro lento de la Capa de Rodadura, ya que el deterioro que más se presenta es pérdida de agregados con mayor gravedad donde se encuentra la pendiente, además presenta baches en los empalmes con las Canaletas debido a la falta de compactación en este punto, lo que lo vuelve un lugar crítico a la hora de construir.

Como se puede observar en la Figura 4.15 el deterioro de la Capa de Rodadura se presento de manera grave entre los estacionamientos 0+510 – 0+590, dado que en este punto es donde se encuentra una pendiente pronunciada en el tramo de prueba, dicha pérdida de agregado, dejo de incrementar una vez perdida una laminilla que se formo debido a la sobre compactación que se generó en la construcción del tramo, esto se puede observar en la poca variación que existe entre los Levantamientos 5 y 6.

Al inicio del tramo se presentan daños, estos son a causa de los empalmes del Tramo de Prueba con un Empedrado ubicado en el estacionamiento 0+405 y los empalmes con las canaletas de concreto ubicadas en ambos laterales del tramo.

A continuación se presentan fotografías de todos los levantamientos realizados en este tramo de prueba, con el propósito de apreciar el deterioro en el mismo de una mejor manera:



Levantamiento 1



Levantamiento 2



Levantamiento 3



Levantamiento 4



Levantamiento 5



Levantamiento 6

Fotografías 4.11 Comportamiento del Tramo de PUAD

FUENTE: Levantamiento de Daños realizados desde Abril de 2010 a Enero de 2011

4.2.3.5 TRAMO ESTABILIZADO CON CAL + CEMENTO (EST. 0+610 – 0+650 TRAMO DE 40 METROS)

A continuación se presentan los resultados para el tramo de acuerdo a la fecha en la que se realizó cada levantamiento:

N°	LEVANTAMIENTO (FECHA)	TRAMO DE 40 METROS	
		URCI	CLASIFICACIÓN
1	24 ABRIL 2010	79.00	Muy Bueno
2	12 JUNIO 2010	96.00	Excelente
3	18 JULIO 2010	89.00	Excelente
4	15 SEPT. 2010	79.00	Muy Bueno
5	30 OCTUBRE 2010	80.00	Muy Bueno
6	16 ENERO 2011	82.00	Muy Bueno

Tabla 4.8 Calculo del URCI para el tramo Estabilizado con Cal + Cemento

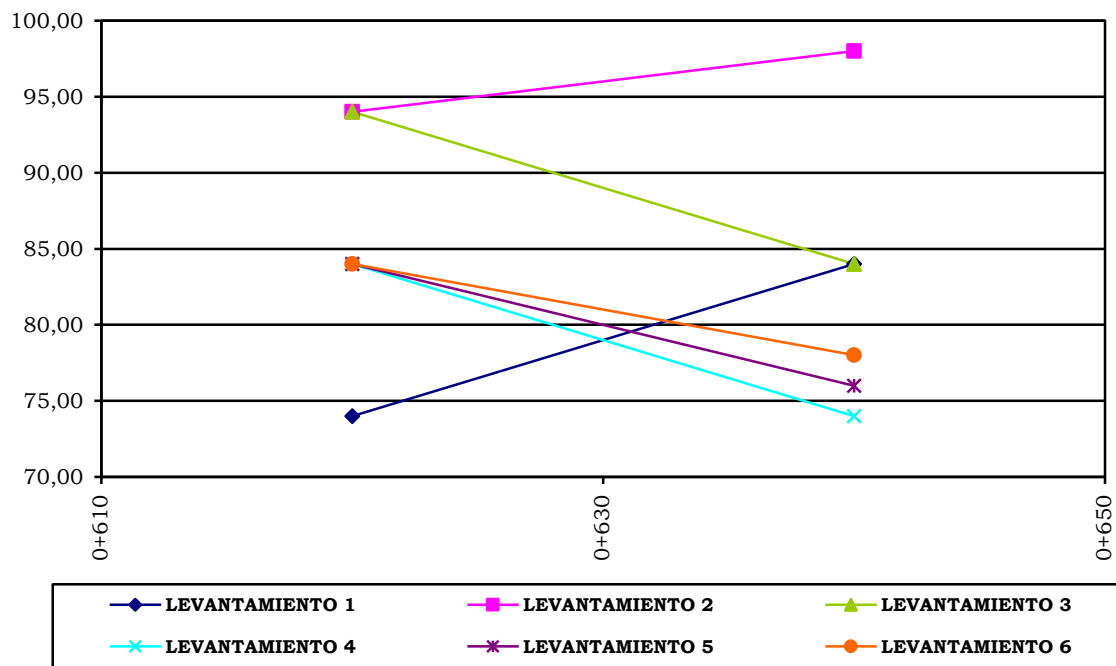


Figura 4.16 Grafico de Distancia - URCI de Tramo de Estabilización de Cal + Cemento (40m)

El incremento del URCI que se presenta entre los levantamientos 1 y 2 se debe a que cuando se realizó el segundo levantamiento los drenajes se encontraban limpios, no así en el primer levantamiento donde dichos drenajes se entraron obstruidos en ciertos puntos.

En el caso de este tramo de prueba se presentan deterioros debido a su corta longitud, ya que ambos empalmes presentan daños, dado que para este tramo solo se tienen dos unidades de muestra esto repercute en el cálculo del URCI, esto se puede observar en la tabla 4.8.

Los principales daños que presenta son Pérdida de Agregados, Drenajes Obstruidos en algunos levantamientos y Baches (en el caso del Empalme del tramo de 40 m con el Tramo Estabilizado con Emulsión Asfáltica).

En la figura 4.16 se pueden observar variaciones grandes entre el URCI de las Unidades de Muestra, esto se debe en gran manera a que para este tramo solo se tienen dos Unidades de Muestra, lo que lo vuelve poco representativo, ya que en ambas unidades existen empalmes que se vieron afectados por deficiencias en la Construcción de los mismos.

A continuación se presentan fotografías de todos los levantamientos realizados en este tramo de prueba, con el propósito de apreciar el deterioro en el mismo de una mejor manera:



Levantamiento 1



Levantamiento 2



Levantamiento 3



Levantamiento 4



Levantamiento 5



Levantamiento 6

Fotografías 4.12 Comportamiento del Tramo de Estabilización Con Cal+Cemento (40 m)
FUENTE: Levantamiento de Daños realizados desde Abril de 2010 a Enero de 2011

4.2.3.6 TRAMO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN ASFALTICA (EST. 0+650 – 0+850)

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a la fecha en la que se realizo cada levantamiento:

Nº	LEVANTAMIENTO (FECHA)	URCI	CLASIFICACIÓN
1	24 ABRIL 2010	81.20	Muy Bueno
2	12 JUNIO 2010	81.20	Muy Bueno
3	18 JULIO 2010	80.50	Muy Bueno
4	15 SEPT. 2010	78.30	Muy Bueno
5	30 OCTUBRE 2010	76.00	Muy Bueno
6	16 ENERO 2011	76.00	Muy Bueno

Tabla 4.9 Calculo del URCI para el tramo Estabilizado con Cemento

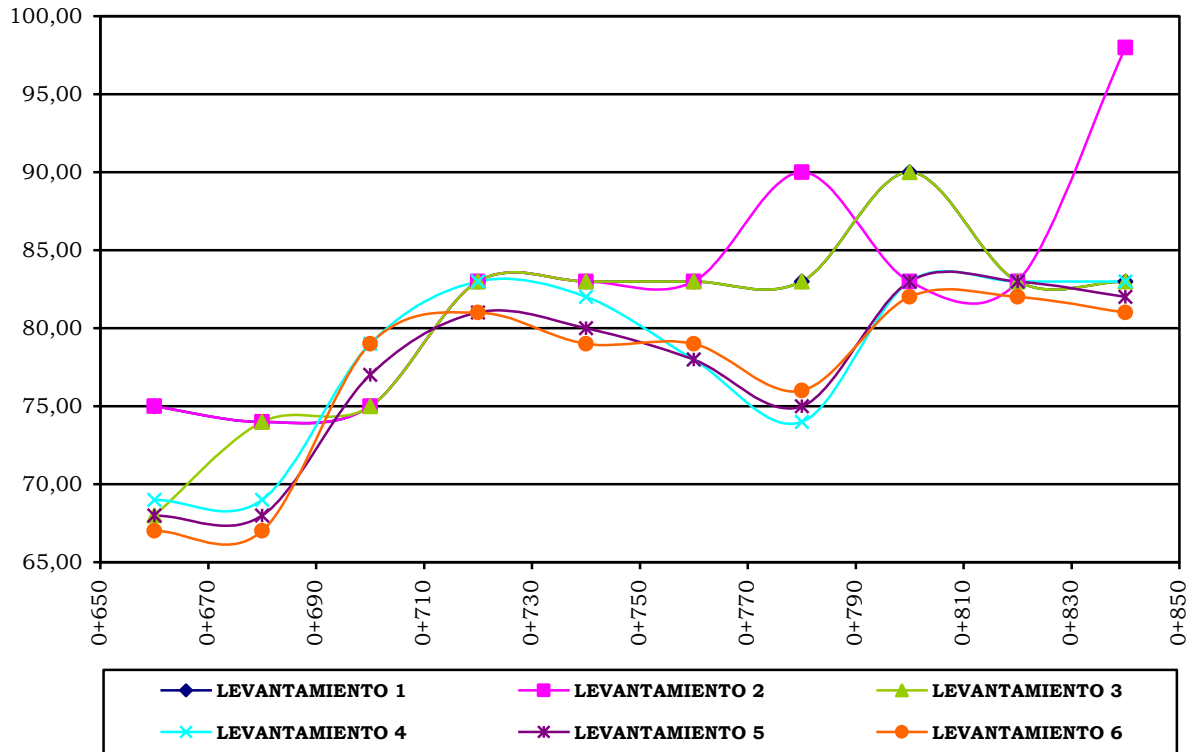


Figura 4.17 Grafico de Distancia - URCI de Tramo de Estabilización con Emulsión Asfáltica

Si se observa, este tramo de prueba comenzó con una clasificación de Muy Bueno, debido a la falta de Drenajes en el lateral izquierdo a lo largo de todo el tramo, y drenaje obstruido en el lateral derecho, a diferencia de los otros tramos de prueba la pendiente de este tramo no es considerable, situación que se aprecia en la acumulación de basura en el drenaje derecho.

Los daños que mayor presenta este tramos son sus Drenajes y la Generación de Baches en los primeros 60 metros del mismo, además hay que recordar que este tramo es el único que se trato con Slurry Seal, el cual a la fecha presenta grietas transversales y longitudinales, además de piel de cocodrilo en algunas zonas (estos daños no fueron considerados al calcular el URCI, dado que el método no los considera).

Como se puede apreciar en la Figura 4.17 las Unidades de Muestra para el Tramo estabilizado con Emulsión, presentaron URCI variados, esto se debe en gran medida a los Drenajes, los cuales en ocasiones se encontraron Obstruidos, el daño más apreciable para este tramo de prueba es la aparición de baches entre los estacionamientos 0+650 – 0+710.

A continuación se presentan fotografías de todos los levantamientos realizados en este tramo de prueba, con el propósito de apreciar el deterioro en el mismo de una mejor manera:



Levantamiento 1



Levantamiento 2



Levantamiento 3



Levantamiento 4



Levantamiento 5



Levantamiento 6

Fotografías 4.13 Comportamiento del Tramo de Estabilización Con Emulsión Asfáltica
FUENTE: Levantamiento de Daños realizados desde Abril de 2010 a Enero de 2011

4.2.3.7 BALASTO FINAL (EST. 0+850 - 1+010)

A continuación se presentan los resultados para el tramo Final de balasto de acuerdo a la fecha en la que se realizó cada levantamiento:

N°	LEVANTAMIENTO (FECHA)	BALASTO FINAL	
		URCI	CLASIFICACIÓN
1	24 ABRIL 2010	86.88	Muy Bueno
2	12 JUNIO 2010	79.88	Muy Bueno
3	18 JULIO 2010	76.00	Muy Bueno
4	15 SEPT. 2010	57.63	Bueno
5	30 OCTUBRE 2010	55.20	Bueno
6	16 ENERO 2011	62.30	Bueno

Tabla 4.10 Calculo del URCI para el tramo del Balasto Final

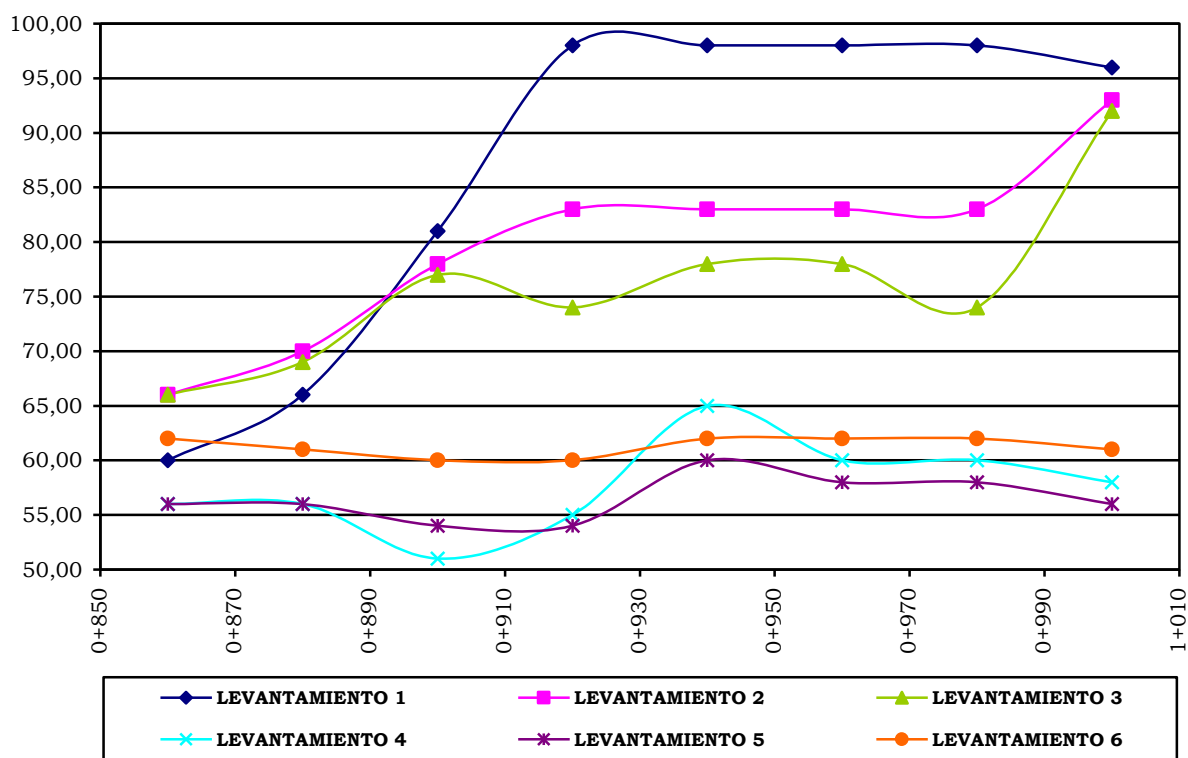


Figura 4.18 Grafico de Distancia - URCI de Tramo de Balasto Final

Como se puede observar en los resultados se ha tenido un deterioro constante en la capa de rodadura del tramo conformados con Balasto, al igual que en el caso del Balasto Inicial se aprecia una mejora en el Levantamiento 6, dado que al momento de realizar dicho levantamiento se pudo constatar que se realizaron actividades de mantenimiento al mismo.

Los principales daños que presenta la Capa de Balasto es Perdida de Agregados en la totalidad del tramo, así como Ahuellamientos en las pendientes, por lo demás el polvo es mínimo y solo en una parte se presento Sección Transversal Inadecuada, dado que se lavo a totalidad el material, sin embargo algunos de estos daños fueron subsanados en el periodo comprendido entre los levantamientos 5 y 6.

Como se observa en la Figura 4.18 se tiene una gran variación a partir de la tercera Unidad de Muestra, esto se debe a que en los primeros tramos no existe canaleta, cosa contraria a partir de donde se presenta el incremento de URCI, sin embargo como se puede apreciar a partir del Levantamiento 3 la parte que posee drenajes cae radicalmente, esto debido a que en dicho tramo existe una pendiente pronunciada, la cual se vio afectada por las constantes lluvias que hubieron durante el periodo en estudio.

A continuación se presentan fotografías de todos los levantamientos realizados en este tramo de prueba, con el propósito de apreciar el deterioro en el mismo de una mejor manera:



Levantamiento 1



Levantamiento 2



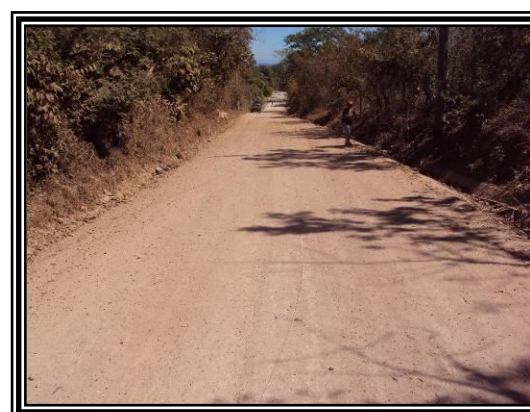
Levantamiento 3



Levantamiento 4



Levantamiento 5



Levantamiento 6

Fotografías 4.14 Comportamiento del Tramo de Balasto Final
FUENTE: Levantamiento de Daños realizados desde Abril de 2010 a Enero de 2011

4.2.3.8 GRAFICA COMPARATIVA DEL DETERIORO DE LOS TRAMOS DE PRUEBA.

A continuación se presenta un gráfico de los resultados del URCI con respecto al tiempo (según datos obtenidos en los Levantamientos de Daños):

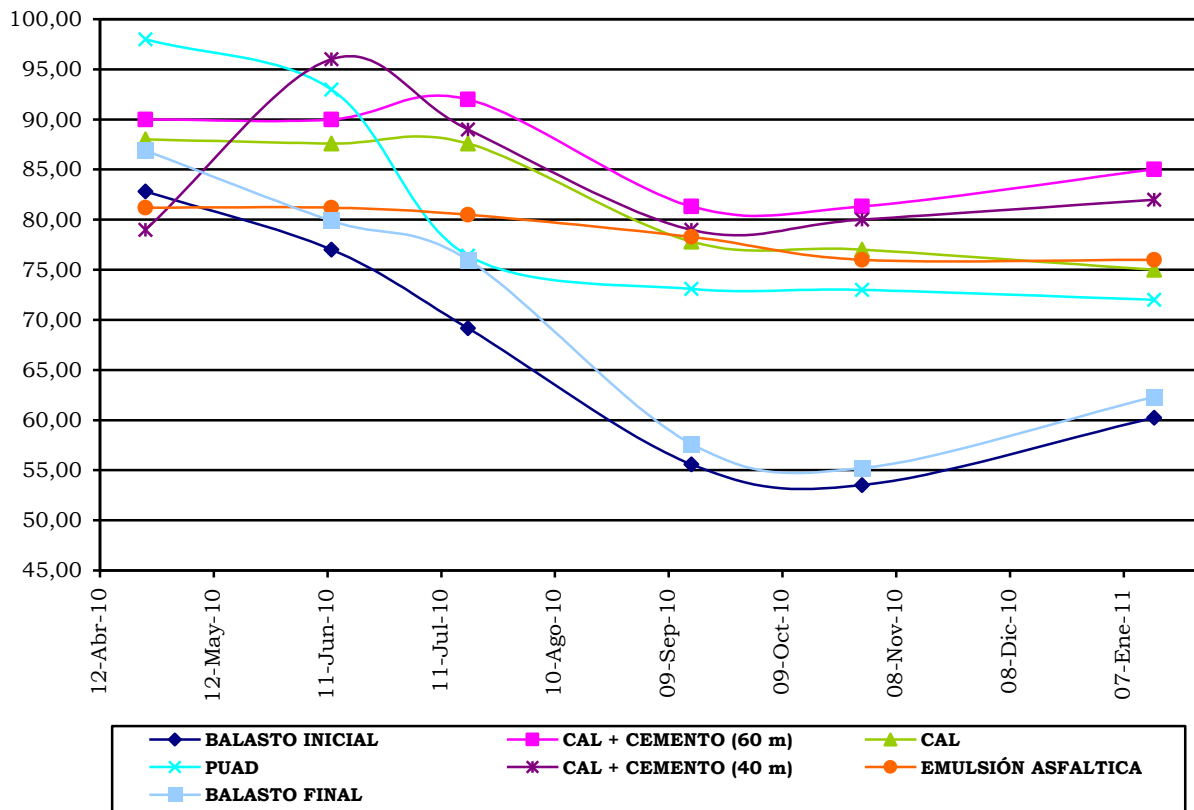


Figura 4.19 Gráfico de Comparación del URCI de cada Tramo

Como se puede observar en el gráfico el Método de Estabilización Pavimento Unicapa de Alto Desempeño tuvo un decremento considerable entre los levantamientos 2 y 3, esto se debe a la pérdida de una capa de aproximadamente 2 cm, que se generó a causa de exceso de compactación en la construcción del tramo, a partir del tercer levantamiento se ha tenido una degeneración leve.

En el caso del tramo de Cal + Cemento de 60 metros, el comportamiento en la gráfica se debe a la obstrucción de los drenajes y la pérdida de la imprimación asfáltica, debido a que en algunos levantamientos se encontraron los drenajes limpios es que se han tenido algunos incrementos del URCI para este tramo de prueba. Para el caso del tramo de 40 metros se tuvo un incremento considerable entre los primeros levantamientos debido a la limpieza de los drenajes en este tramo, de ahí se ha tenido un deterioro constante ya que los empalmes en este tramo han sufrido daños considerables, debido a que no se le prestó mayor atención a estos en el proceso constructivo.

Para el caso del tramo estabilizado con Cal, se ha tenido condiciones parecidas al tramo anterior, con la excepción de que la pérdida de agregados ha sido más notable en los últimos levantamientos por lo que se tiene un deterioro mayor de la vía en este tramo.

En el caso del Tramo estabilizado con emulsión asfáltica, se observa que el URCI obtenido se ha mantenido relativamente constante en comparación a los demás tramos, esto a pesar de que se han presentado baches en los primeros 60 metros del tramo, sin embargo su bajo URCI se debe en gran medida a la falta de Drenajes en el Lateral Izquierdo y a obstrucciones del mismo en el Lateral Derecho.

Como se observa los tramos más dañados son los tramos conformados con Balasto, el decremento fue considerable en los levantamientos 4 y 5, teniéndose un pequeño incremento en el levantamiento 6 debido al mantenimiento que se le dio a los tramos en Diciembre de 2010.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Como se pudo observar en la Gráfica 4.1, los Tramos Conformados con Balasto; que es la técnica más utilizada en la actualidad; son los que se deterioran con mayor rapidez siendo necesario realizar actividades de mantenimiento anualmente para poder mantener la transitabilidad de la vía.
- No se tuvo cuidado en la construcción de los empalmes entre cada tramo de prueba, lo que generó daños en los tramos que fueron construidos en diferentes periodos, el único empalme que no presento problemas es el que se encuentra entre el método estabilizado con Cal + Cemento de 60 m y el Estabilizado con Cal, esto se debe a que ambos tramos fueron realizados el mismo día, lo que genero continuidad en la vía.



**Fotografía 5.1 Empalme entre el Tramo Estabilizado con Cal+Cemento (40 m)
y el Estabilizado con Emulsión Asfáltica**

FUENTE: Levantamiento de Daños N° 2 (12 de Junio de 2010)

- Durante el período en que se realizaron los levantamientos de daños, se ha podido observar que el tramo que mejor se ha comportado es el Tramo Estabilizado con Mezcla Mixta (Cal-Cemento) de 60 metros ubicado entre los estacionamientos 0+245 al 0+305 y al comparar el Tramo de 40 metros estabilizado con la misma técnica, tenemos cierta desventaja y esto se debe en gran medida a los empalmes.

- En el tramo estabilizado con cemento (Método PUAD), hubo una sobre compactación lo que generó una “laminilla” de 2 cm aproximadamente; sobre la cual fue aplicada la emulsión asfáltica utilizada como membrana de curado. En la época de invierno, dicha “laminilla” con el tráfico de la vía, fue desprendida por las llantas de los automóviles, ya que ésta se adhería a ellas y así generando pérdida de la emulsión asfáltica y de material estabilizado, lo que generó daños en la capa de rodadura, afectando de esta manera su desempeño.



Fotografía 5.2 Desprendimiento de Capa de Aproximadamente 2 cm

FUENTE: Levantamiento de Daños N° 3 (18 de Julio de 2010)

- En la estación 0+445 perteneciente al tramo estabilizado con cemento (Método PUAD), se encuentran unos baches debido a un acceso vehicular en el que se construyó un badén con una pendiente pronunciada lo cual causa que los neumáticos de los vehículos derrapen al salir, ocasionando el desgaste de la capa de rodadura (Ver Fotografía 5.1).



Fotografía 5.3 Baches en la Estación 0+445

FUENTE: Levantamiento de Daños N° 2 (12 de Junio de 2010)

- Se presentaron daños en los empalmes entre la vía y las Canaletas construidas en los tramos de prueba de los métodos de estabilización con: Cal, PUAD y Cal + Cemento (40 m); estos se debieron a la falta de compactación en esta zona (Ver Fotografía 5.4).



Fotografía 5.4 Empalme entre la vía y la Canaleta Construida

FUENTE: Levantamiento de Daños N° 3 (18 de Julio de 2010)

- En el tramo estabilizado con Emulsión Asfáltica, se observó la aparición de “Piel de Cocodrilo” entre las Estaciones 0+650 – 0+710, la causa probable de ese daño es una mayor cantidad de material plástico en la capa de suelo estabilizada con respecto al resto del tramo. Esto debido a que durante el proceso constructivo, se tocó parte del suelo plástico del lugar, cuando con anterioridad se había decidido trabajar solamente con el balasto existente en el tramo.



Fotografía 5.5 Piel de Cocodrilo en el Tramo Estabilizado con Emulsión Asfáltica

FUENTE: Levantamiento de Daños N° 4 (15 de Septiembre de 2010)

- En el estabilizado con Emulsión Asfáltica (Método SAE), dentro de la gráfica del URCI para cada tramo, la tendencia de su respectiva gráfica es uniforme comparada con las de los demás tramos; esto debido en parte a que el polvo no existe en dicho tramo. Aun así se observó la aparición de “piel de cocodrilo” en la capa de Slurry Seal colocada, este daño no pudo considerarse dentro de la Evaluación de Deterioro, por consiguiente no fue tomado en cuenta para la obtención del URCI de este tramo, pues el daño en mención es propio de una vía pavimentada y la vía en análisis es una vía no pavimentada.

Por lo tanto, no puede hacerse una comparación “real” del tramo estabilizado con Emulsión Asfáltica con respecto a los otros tramos de prueba, ya que la superficie de rodadura de éste es prácticamente la de una vía pavimentada.

- Dado que los tramos de Balasto final e inicial presentaron daños graves, la empresa contratista encargada del mantenimiento rutinario de la vía, realizo una conformación “parcial” de balasto en el mes de Diciembre 2010 (no en todo el tramo, si no que en algunas áreas) y lo que se pudo observar que con dicha medida de mantenimiento se obtuvo un incremento del 10% en el respectivo URCI, lo cual se considera un porcentaje relativamente bajo de incremento, viéndolo desde el punto de vista de la condición y desempeño de la vía.
- Uno de los propósitos principales de la construcción, seguimiento y posterior estudio de los tramos de prueba en análisis, es la utilización y aprovechamiento de los suelos del lugar como materiales de construcción para vías no pavimentadas, lo cual según el seguimiento dado a la construcción del tramo estabilizado con Emulsión Asfáltica, no fue puesto en práctica pues solo se estabilizo la capa de balasto que se

encontraba en la ruta, dejando sin tratar el verdadero material del lugar (en este caso arcilla).

- Dado que el tramo estabilizado con Emulsión Asfáltica posee cierta “ventaja” con respecto a los otros tramos (ya que la superficie de rodadura de éste es prácticamente la de una vía pavimentada) no puede realizarse una comparación real y equitativa de este tramo con respecto a los otros. En vista de ello, además de obtenerse el URCI de este tramo se obtuvo el Índice de Condición del Pavimento (PCI) el cual es utilizado en las vías pavimentadas para su respectiva evaluación de la condición del pavimento. Dicho procedimiento de obtención del PCI para el tramo estabilizado con Emulsión Asfáltica se adjunta en los anexos del presente trabajo de graduación.

5.2 RECOMENDACIONES

- En el levantamiento 4 se encontraron daños en la estación 0+760 perteneciente al tramo estabilizado con Emulsión Asfáltica, provocados por la extracción de muestras, por lo que se recomienda realizar una adecuada reparación posterior a la realización de dicha actividad (Ver Fotografía 5.6).



Fotografía 5.6 Daño causado por Extracción de Muestras posterior a la construcción del Tramo
FUENTE: Levantamiento de Daños N° 4 (15 de Septiembre de 2010)

- Para que un método de estabilización aplicado a una vía no pavimentada, funcione y de buenos resultados, es necesario un drenaje adecuado de la vía; por lo que se recomienda la construcción de las mismas ya que la deficiente recolección y encauce del agua, tiende a afectar en gran medida el desempeño de la vía.
- Para la obtención del URCI de cada tramo de prueba se sacó un promedio, se tomaron **unidades de muestreo** de 20m a lo largo de cada tramo de prueba; en cada unidad se realizó la evaluación de daños

existentes, se obtuvo el correspondiente URCI, y luego se sumaron todos los URCI de cada **unidad de muestreo** encontrados dentro del tramo de prueba en análisis y se dividieron entre el número total de URCI y así de esta forma se obtuvo un URCI promedio para cada tramo de prueba.

Dicha metodología de obtención del URCI se recomienda para tramos relativamente no muy largos (en este caso los tramos de prueba en estudio) ya que a través de un URCI promedio se logra visualizar una condición de la vía en análisis, mas general y acertada.

- Debido a la acumulación de basura, arrastre de sedimentos y crecimientos de hierba en el invierno, la canaleta no cumple su función y el agua se desborda sobre la superficie de rodadura, dañándola. Por lo que se recomienda la limpieza de estas periódicamente y en especial en época de invierno.
- Se recomienda compactar con bailarina los empalmes entre la vía y las canaletas construidas, ya que estos puntos presentaron deficiencias en la compactación, lo cual es comprensible ya que dichas zonas al equipo para la compactación utilizado (Rodo 10 Ton) no alcanza a llegar con facilidad, pues estas áreas son de menor tamaño.
- Una evaluación de deterioro es la medición de los cambios de la condición del pavimento y refleja el comportamiento de éste, sometido a las condiciones de tráfico y climas existentes de la zona. Por lo que se recomienda realizar una inspección de campo cada dos meses o luego de algún acontecimiento climático relevante, con el fin de evaluar los daños existentes en la vía y posterior a dicha evaluación del deterioro, elaborar un posible Plan de Mantenimiento adecuado, con el fin de incrementar la vida útil y desempeño de la vía.


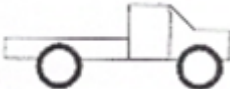
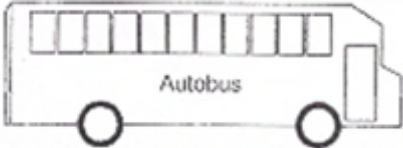
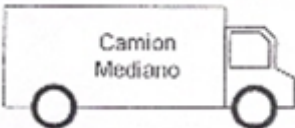

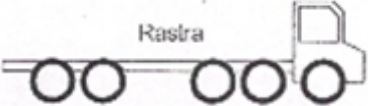
ANEXOS

ANEXO 1:

CONTEO VEHICULAR


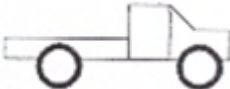
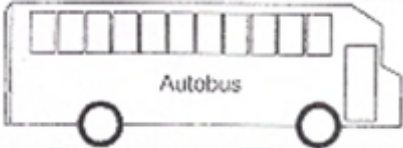
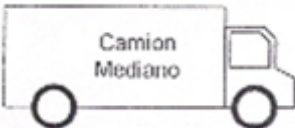

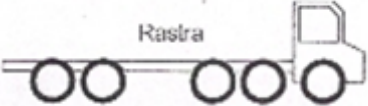
CONTEO VEHICULAR

Proyecto: FOVIAL Grupo 8 No Pavimentadas
Alcaldía: Suchitoto
Longitud: 150 metros
Ancho Promedio: 5.50 metros
Fecha de conteo: Jueves 08 de Octubre de 2009
Hora de Inicio: 7:30 A.M.
Hora de Finalización: 5:00 P.M.

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD
 Automoviles	33
 Pick Up	82
 Autobus	16
 Camion Mediano	20
 Camión 8 Ton.	7
 Rastra	0


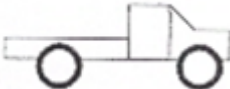
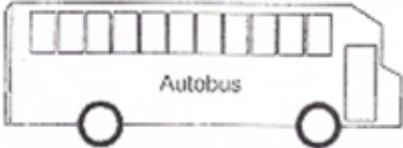
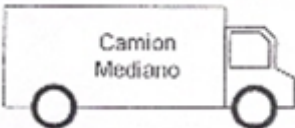

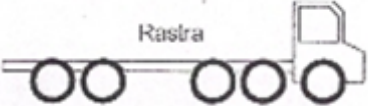
CONTEO VEHICULAR

Proyecto: FOVIAL Grupo 8 No Pavimentadas
Alcaldía: Suchitoto
Longitud: 150 metros
Ancho Promedio: 5.50 metros
Fecha de conteo: Viernes 09 de Octubre de 2009
Hora de Inicio: 8:00 A.M.
Hora de Finalización: 5:00 P.M.

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD
 Automoviles	20
 Pick Up	77
 Autobus	10
 Camion Mediano	22
 Camión 8 Ton.	10
 Rastra	0


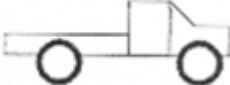
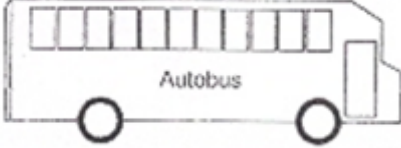
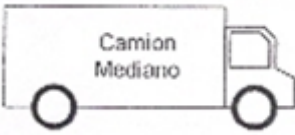

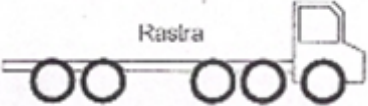
CONTEO VEHICULAR

Proyecto: FOVIAL Grupo 8 No Pavimentadas
Alcaldía: Suchitoto
Longitud: 150 metros
Ancho Promedio: 5.50 metros
Fecha de conteo: Sábado 10 de Octubre de 2009
Hora de Inicio: 7:30 A.M.
Hora de Finalización: 5:00 P.M.

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD
 Automoviles	25
 Pick Up	64
 Autobus	3
 Camion Mediano	24
 Camión 8 Ton.	15
 Rastra	0


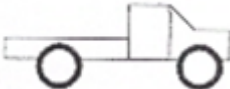
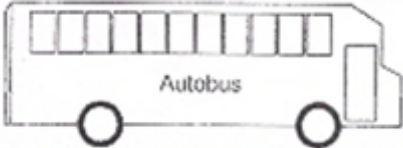
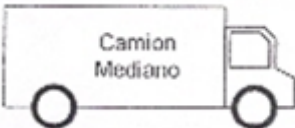

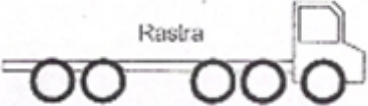
CONTEO VEHICULAR

Proyecto: FOVIAL Grupo 8 No Pavimentadas
Alcaldía: Suchitoto
Longitud: 150 metros
Ancho Promedio: 5.50 metros
Fecha de conteo: Domingo 11 de Octubre de 2009
Hora de Inicio: 7:30 A.M.
Hora de Finalización: 5:00 P.M.

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD
 Automoviles	33
 Pick Up	90
 Autobus	10
 Camion Mediano	12
 Camión 8 Ton.	18
 Rastra	0


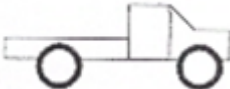
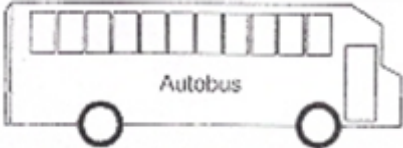
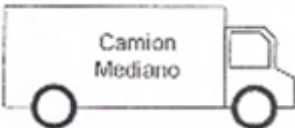

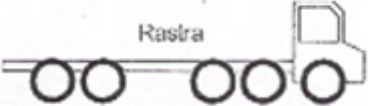
CONTEO VEHICULAR

Proyecto: FOVIAL Grupo 8 No Pavimentadas
Alcaldía: Suchitoto
Longitud: 150 metros
Ancho Promedio: 5.50 metros
Fecha de conteo: Lunes 12 de Octubre de 2009
Hora de Inicio: 7:30 A.M.
Hora de Finalización: 5:00 P.M.

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD
 Automoviles	28
 Pick Up	66
 Autobus	6
 Camion Mediano	15
 Camión 8 Ton.	13
 Rastra	0


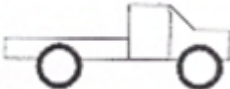
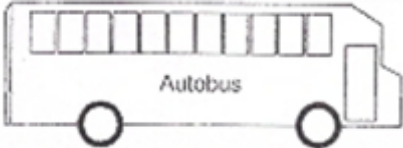
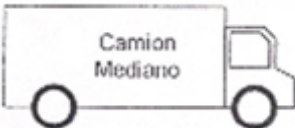

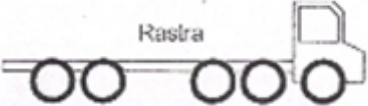
CONTEO VEHICULAR

Proyecto: FOVIAL Grupo 8 No Pavimentadas
Alcaldía: Suchitoto
Longitud: 150 metros
Ancho Promedio: 5.50 metros
Fecha de conteo: Martes 13 de Octubre de 2009
Hora de Inicio: 7:30 A.M.
Hora de Finalización: 5:00 P.M.

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD
 Automoviles	22
 Pick Up	58
 Autobus	6
 Camion Mediano	18
 Camión 8 Ton.	8
 Rastra	0


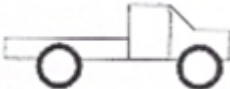
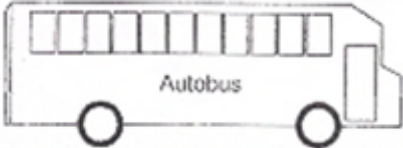
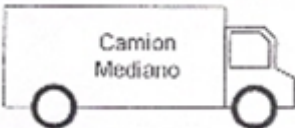

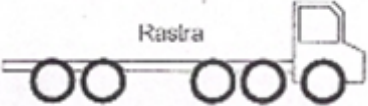
CONTEO VEHICULAR

Proyecto: FOVIAL Grupo 8 No Pavimentadas
Alcaldía: Suchitoto
Longitud: 150 metros
Ancho Promedio: 5.50 metros
Fecha de conteo: Miércoles 14 de Octubre de 2009
Hora de Inicio: 7:30 A.M.
Hora de Finalización: 5:00 P.M.

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD
 Automoviles	20
 Pick Up	75
 Autobus	8
 Camion Mediano	20
 Camión 8 Ton.	13
 Rastra	0

CONTEO VEHICULAR

Proyecto: FOVIAL Grupo 8 No Pavimentadas
Alcaldía: Suchitoto
Longitud: 150 metros
Ancho Promedio: 5.50 metros
Fecha de conteo: Jueves 15 de Octubre de 2009
Hora de Inicio: 8:00 A.M.
Hora de Finalización: 5:00 P.M.

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD
 Automoviles	30
 Pick Up	70
 Autobus	8
 Camion Mediano	16
 Camión 8 Ton.	10
 Rastra	0

ANEXOS

***ANEXO 2: ANALISIS
GRANULOMETRICO***



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".



SOLICITA: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Reporte No: 95-2010

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION

Hoja No: 1/1

Ubicación: Est. 0+274

Fecha: 26-Jun-10

PROCEDENCIA: _____

Ensayo No: 1

Muestra No: 4

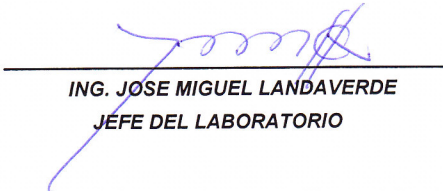
ENSAYO GRANULOMETRICO
DE SUELO POR LAVADO
ASTM D-422

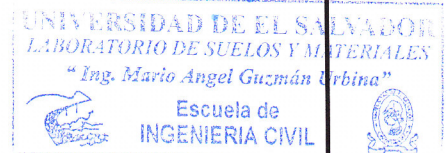
Peso inicial: 407.83 g

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA	
		PARCIAL	ACUMULADO		
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
No 4	0.00	0.00	0	0	100
No 8	18.55	4.55	5	5	95
Nº 16	33.81	8.29	8	13	87
Nº 30	29.95	7.34	7	20	80
Nº 50	33.66	8.25	8	28	72
Nº 100	40.90	10.03	10	38	62
Nº 200	27.33	6.70	7	45	55
PASA Nº 200	223.63	54.83	55	100	0
Suma	407.83				

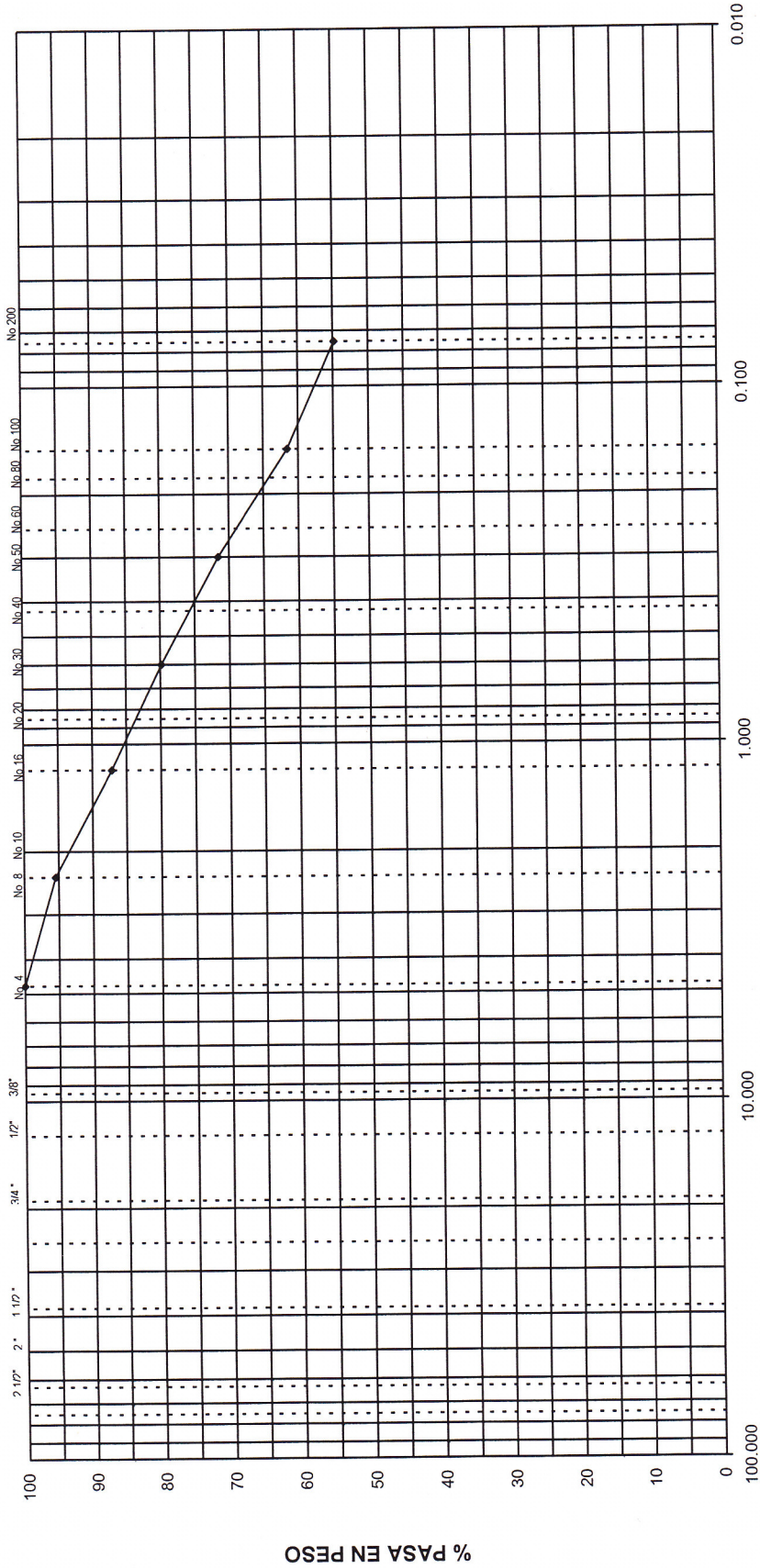
Clasificación
según S.U.C.S.: Arcilla arenosa (CL), color café claro, con un 45% de arena media a fina

Observaciones: Granulometría por lavado


ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE
JEFE DEL LABORATORIO




TAMAÑO MALLA U.S. STANDARD




TAMAÑO GRANO EN MM.

GUIJARRO	GRAVA	ARENA	LIMO O ARCILLA
GRUESA	FINA	GRUESA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"

CURVA GRANULOMETRICA DEL SUELO

PROYECTO: **TRABAJO DE GRADUACION**

TRABAJO No: 95-2010-P2

Hoja No: 2/2

UBICACION: Est. 0+274

SOLICITA: **WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS**

LABORATORISTA: Carlos Morataya

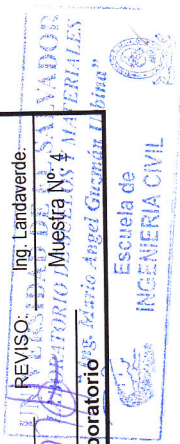
REVISOR: Ing. Landaverde

CALCULO: Leticia de Medina

REVISOR: Ing. Landaverde

FIRMA: *[Signature]*

Jefe del Laboratorio: *[Signature]*





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".



SOLICITA: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
Ubicación: Est. 0+353
PROCEDENCIA: _____

Reporte No: 95-2010
Hoja No: 1/1
Fecha: 16 de Junio de 2010
Ensayo No: 1
Muestra No: 2

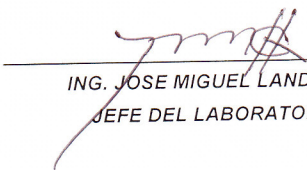
ENSAYO GRANULOMETRICO
DE SUELO POR LAVADO
ASTM D-422

Peso inicial: 550.00 g

MALLA	PESO RETENIDO (GRS.)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	0			100
No 4	0.00	0.00	0	100
No 8	24.88	4.52	5	95
Nº 16	45.71	8.31	8	87
Nº 30	44.78	8.14	8	79
Nº 50	41.50	7.55	8	71
Nº 100	43.01	7.82	8	64
Nº 200	35.27	6.41	6	57
PASA Nº 200	314.85	57.25	57	0
Suma	550.00			

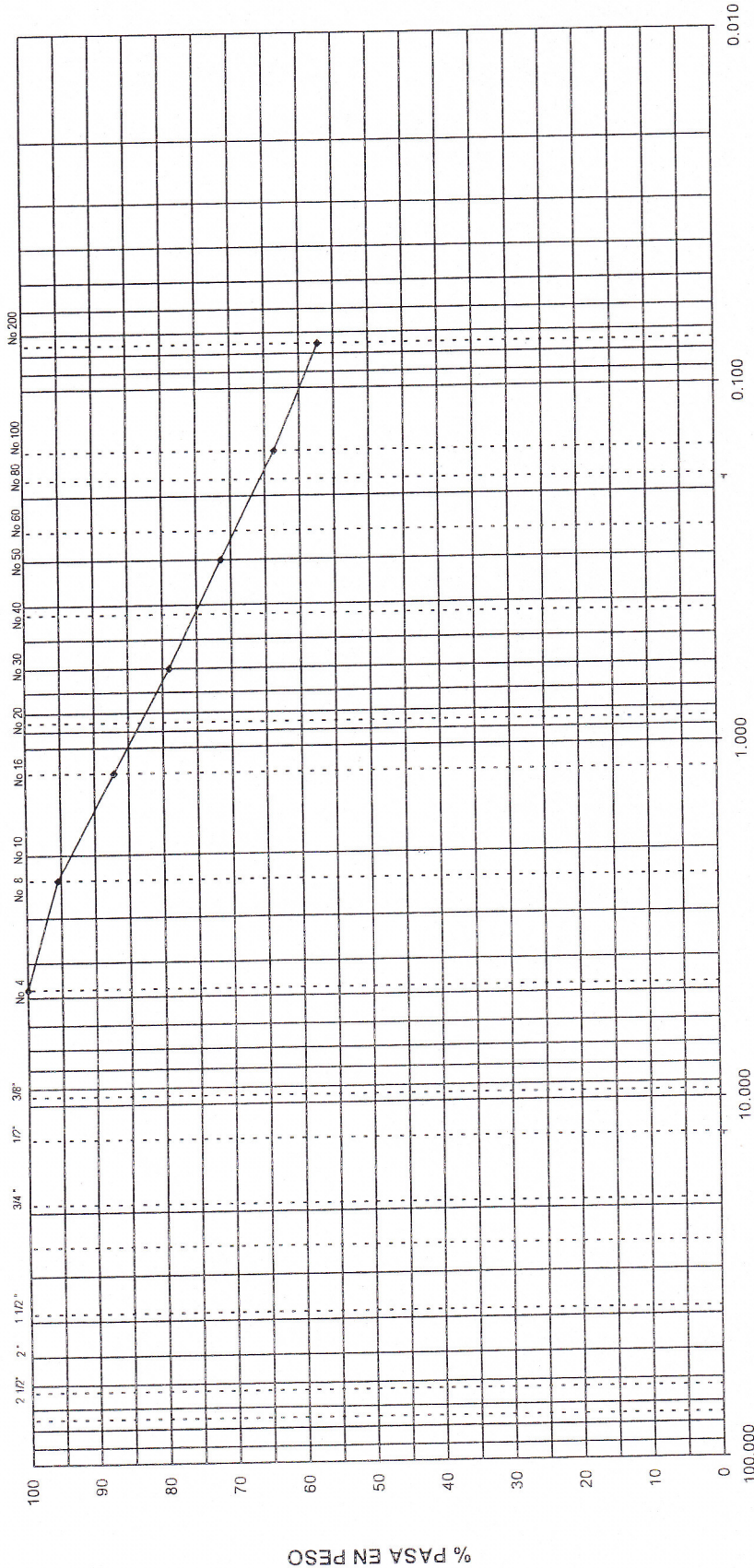
Clasificación
según S.U.C.S.: Limo arenoso (ML), color café claro con un 43% de arena media a fina

Observaciones: Granulometría por lavado


ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE
JEFE DEL LABORATORIO




UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"Ing. Mario Angel Guzmán Urbina"
Escuela de
INGENIERIA CIVIL

TAMAÑO MALLA U.S. STANDARD



TAMAÑO GRANO EN MM.

GUIJARRO	GRAVA	ARENA	LIMO O ARCILLA
GRUESA	FINA	GRUESA	FINA

 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"</p>	 <p>CURVA GRANULOMETRICA DEL SUELO PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION UBICACION: Est. 0+353 SOLICITA: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS LABORATORISTA: Carlos Morataya REVISO: Ing. Landaverde</p>
 <p>Jefe del Laboratorio ELOS Y MATERIALES</p>	<p>Muestra No 2 Hoja No: 2/2 FECHA: 16-06-2010 REVISO: Ing. Landaverde Muestra No: 2</p>

Escuela de INGENIERIA CIVIL



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".



SOLICITA: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS Reporte No: 95-2010
 PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION Hoja No: 1/1
 Muestra No 3 Fecha: 16 de Junio de 2010
 Ubicación: Est. 0+442 Ensayo No: 1
 PROCEDENCIA: _____ Muestra No: _____

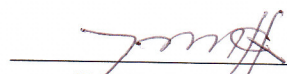
ENSAYO GRANULOMETRICO
 DE SUELO POR LAVADO
 ASTM D-422

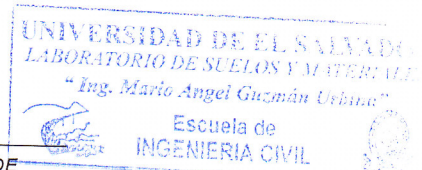
Peso inicial: 506.70 g

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	0.00			100
No 4	0.00	0.00	0	100
No 8	8.83	1.74	2	98
Nº 16	24.53	4.84	5	93
Nº 30	20.32	4.01	4	89
Nº 50	16.61	3.28	3	86
Nº 100	17.20	3.39	3	83
Nº 200	15.78	3.11	3	80
PASA Nº 200	403.43	79.62	80	0
Suma	506.70			

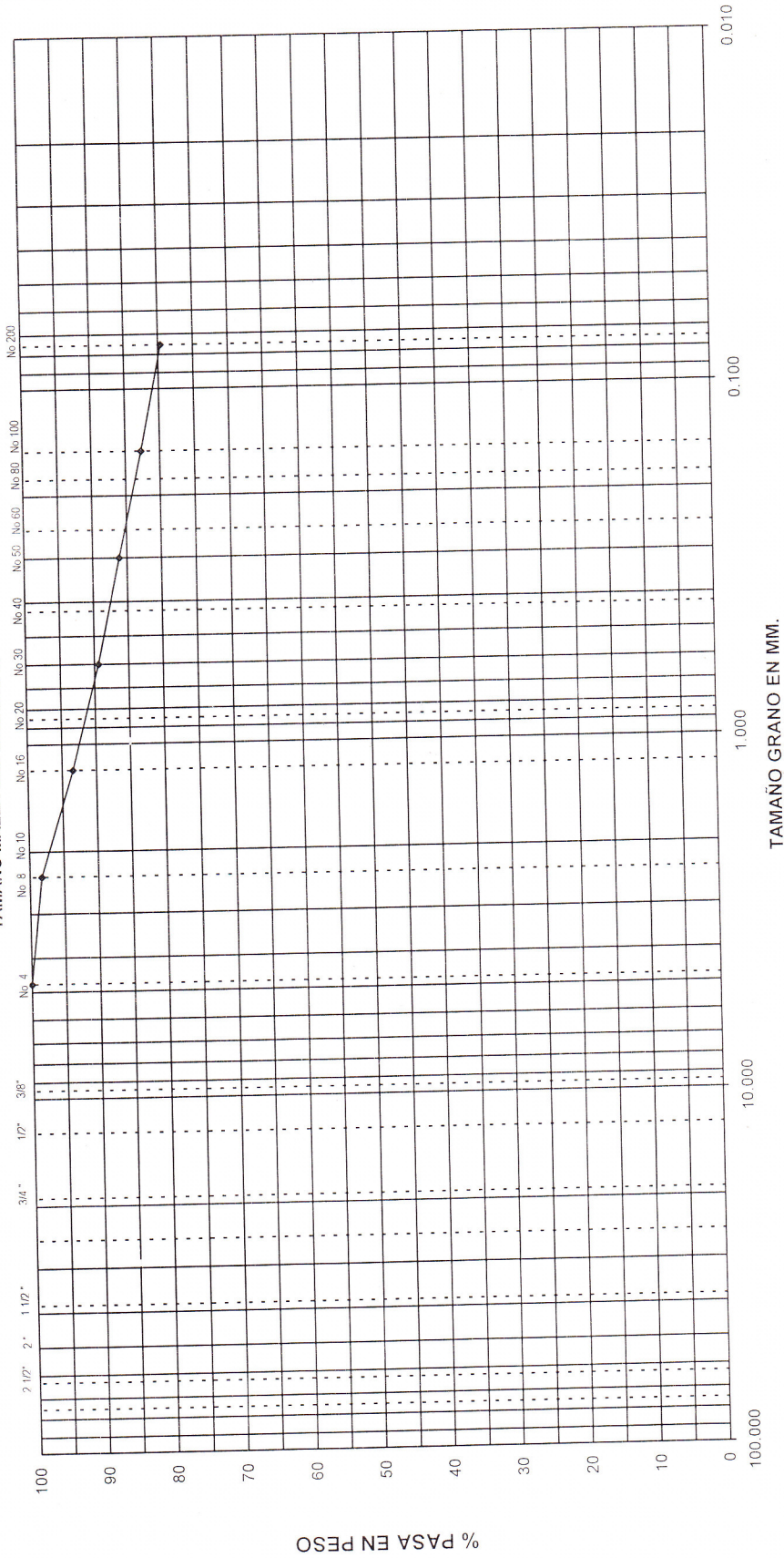
Clasificación
 según S.U.C.S.: Limo con arena (MH), color café claro con un 20% de arena

Observaciones: Granulometría por lavado


 ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE
 JEFE DEL LABORATORIO



TAMAÑO MALLA U.S. STANDARD



TAMAÑO GRANO EN MM.

LIMO O ARCILLA

ARENA

GRAVA

GUIJARRO

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
 Muestra No: 3 Ubicación: Est. 0-442
 SOLICITA: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS CALCULO: Lety de Medina REVISO: Ing. Landaverde.
 LABORATORISTA: Carlos Morataya. FIRMA: [Signature] Muestra No: EST#3
 REVISO: Ing. Landaverde. Jefe del Laboratorio: [Signature] **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**
 "Ing. Mario Angel Guzman Urbina"

CURVA GRANULOMETRICA DEL SUELO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"

Escuela de INGENIERIA CIVIL



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".



SOLICITA: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS Reporte No: 95-2010
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION Hoja No: 1/1
Ubicación: Est. 0+750 Fecha: _____
Ensayo No: 1
PROCEDENCIA: _____ Muestra No: 3

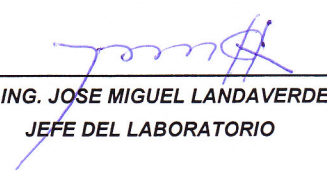
ENSAYO GRANULOMETRICO
DE SUELO POR LAVADO
ASTM D-422

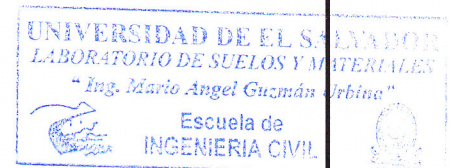
Peso inicial: 469.28 g

MALLA	PESO RETENIDO (GRS.)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	0.00	0.00	0	100
No 4	0.00	0.00	0	100
No 8	42.61	9.08	9	91
Nº 16	56.16	11.97	12	79
Nº 30	50.19	10.70	11	68
Nº 50	49.07	10.46	10	58
Nº 100	56.12	11.96	12	46
Nº 200	47.26	10.07	10	36
PASA Nº 200	167.87	35.77	36	0
Suma	469.28			

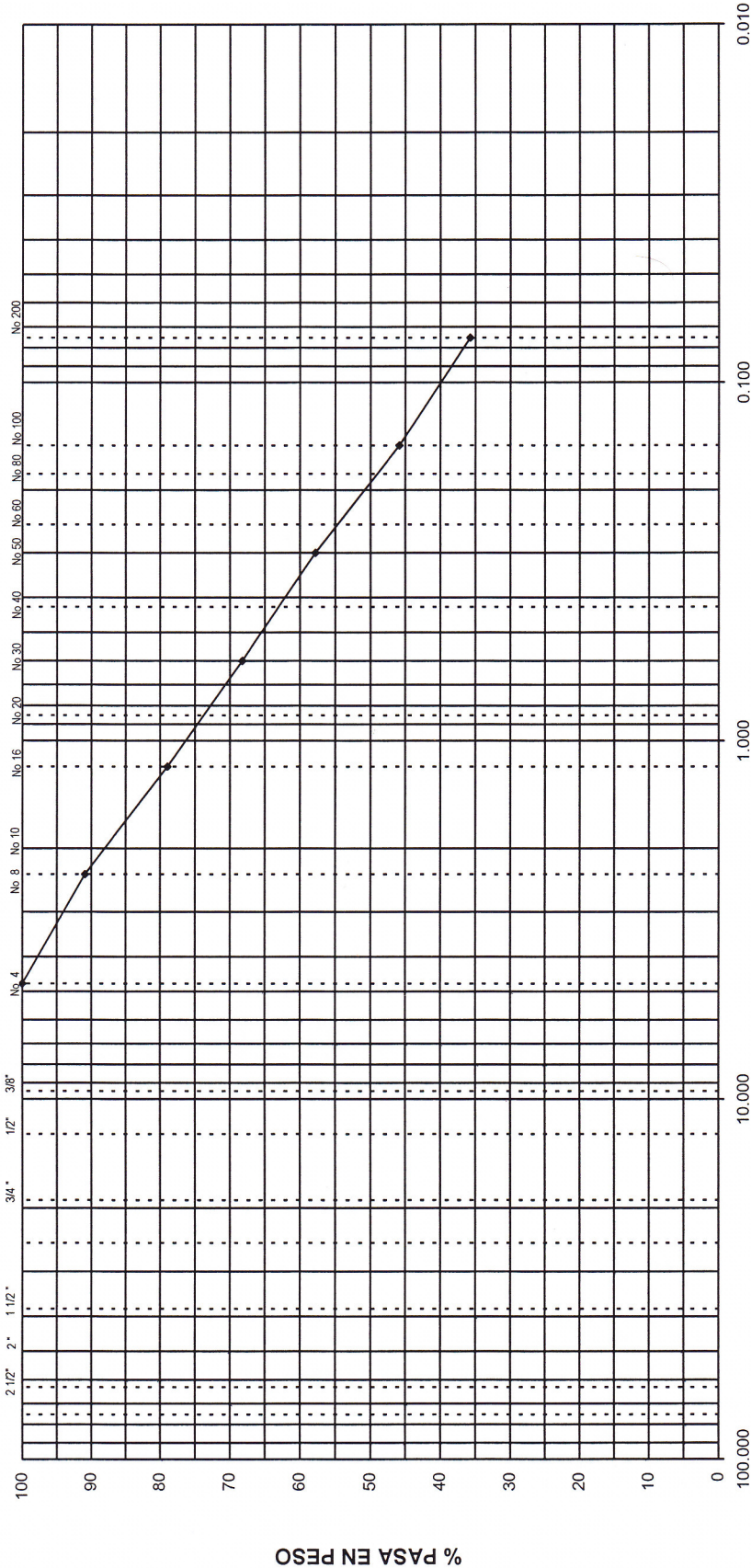
Clasificación
según S.U.C.S.: Arcilla arenosa (CL), color café claro, con un 63% de arena fina

Observaciones: Granulometría por lavado


ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE
JEFE DEL LABORATORIO



TAMAÑO MALLA U.S. STANDARD



TAMAÑO GRANO EN MM.

GUIJARRO	GRAVA		ARENA		LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"

CURVA GRANULOMETRICA DEL SUELO

PROYECTO: **TRABAJO DE GRADUACION** TRABAJO No: 95-2010-P2
 UBICACION: Est. 0+750 Hoja No: 2/2
 SOLICITA: **WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS** CALCULO: Leticia de Medina
 LABORATORISTA: Carlos Morataya
 REVISO: Ing. Landaverde. REVISO: Ing. Landaverde

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 Muestra No. 3
 Jefe del Laboratorio - Ing. Mario Abel Guzman Urbina
 Escuela de INGENIERIA CIVIL

ANEXOS

ANEXO 3:

LIMITES DE

CONSISTENCIA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ÁNGEL GUZMAN URBINA



LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES
 ASTM D 4318

Ensayo No: Lim-95-2010

Fecha: _____

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Laboratorista: Carlos Morataya

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION

Elaboró: Lety de Medina

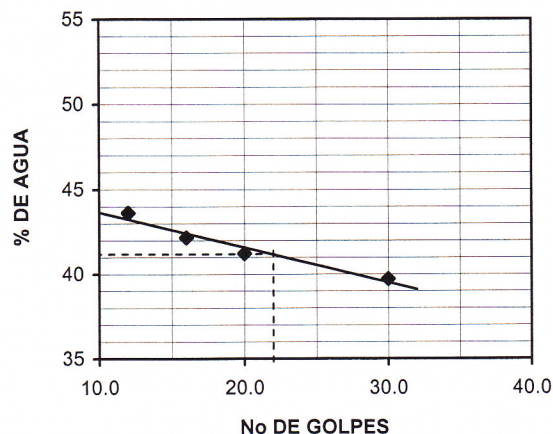
Ubicación: Est. 0+274

Muestra: 4 Material: Suelo Pozo No: _____ Profundidad: _____ m

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No de Golpes	30	20	16	12					
Recipiente No.	100	18	77	94			1	2	6
Peso de suelo Húmedo y tara	53.61	47.27	43.17	45.80			47.13	48.11	46.79
Peso de suelo seco y tara	46.87	39.98	37.01	38.69			43.66	44.47	43.21
Tara	29.90	22.30	22.40	22.39			30.42	30.63	29.71
Peso de agua	6.74	7.29	6.16	7.11			3.47	3.64	3.58
Peso de suelo seco	16.97	17.68	14.61	16.30			13.24	13.84	13.50
Contenido de agua %	39.72	41.23	42.16	43.62			26.21	26.30	26.52

L I M I T E S %	
Líquido	41
Plástico	26
Indice de Plasticidad	15
Clasificación	CL

CURVA DE FLUIDEZ



CLASIFICACION SEGÚN SUCS:

Arcilla arenosa (CL), color café claro
 con un 45% de arena media a fina

OBSERVACIONES:

Los valores de Limites Líquido y Plásticos e Índice de plasticidad están reportados al número entero

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina

ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE
 JEFE DEL LABORATORIO





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ÁNGEL GUZMAN URBINA



LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES
 ASTM D 4318

Ensayo No: Lim-95-2010

Fecha: 14 de Junio de 2010

Solicita: WILFREDO ARGUETAMEJIA Y OTROS

Laboratorista: Carlos Morataya

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION

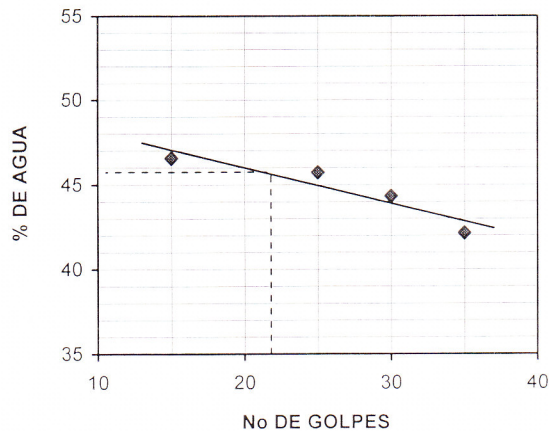
Elaboró: Lety de Medina

Ubicación: Est. 0+353

Muestra: 2 Material: Suelo Pozo No: Profundidad: m

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No de Golpes	15	25	30	35					
Recipiente No.	H-H	N	M	F			94	G	C-C
Peso de suelo Húmedo y tara	42.16	39.02	44.13	50.78			39.48	34.72	31.48
Peso de suelo seco y tara	35.04	32.97	38.11	43.99			35.72	31.33	28.56
Tara	19.75	19.74	24.53	27.88			22.40	19.33	18.11
Peso de agua	7.12	6.05	6.02	6.79			3.76	3.39	2.92
Peso de suelo seco	15.29	13.23	13.58	16.11			13.32	12.00	10.45
Contenido de agua %	46.57	45.73	44.33	42.15			28.23	28.25	27.94

CURVA DE FLUIDEZ



L I M I T E S %	
Líquido	46
Plástico	28
Índice de Plasticidad	18
Clasificación	ML

CLASIFICACION SEGÚN SUCS:

Limo arenoso (ML), color café claro con un 43% de arena media a fina

OBSERVACIONES:

Los valores de Límites Líquido y Plásticos e Índice de plasticidad están reportados al número entero

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE
 JEFE DEL LABORATORIO
 Escuela de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ÁNGEL GUZMAN URBINA



LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES
 ASTM D 4318

Ensayo No: Lim-95-2010

Fecha: 14 de Junio de 2010

Solicita: WILFREDO ARGUETAMEJIA Y OTROS

Laboratorista: Carlos Morataya

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION

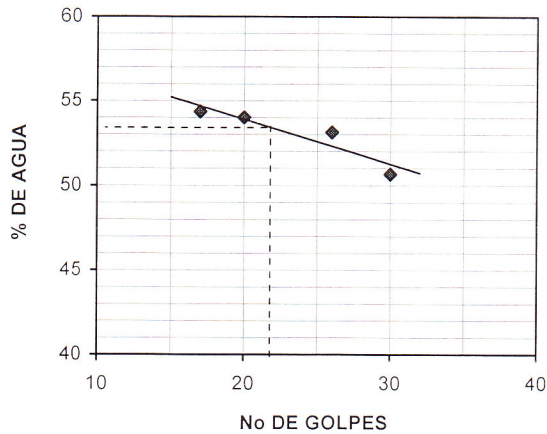
Elaboró: Lety de Medina

Ubicación: Est. 0+442

Muestra: 3 Material: Suelo Pozo No: Profundidad: m

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No de Golpes	30	26	20	17					
Recipiente No.	0-13	81	100	77			0-10	0-11	C-C
Peso de suelo Húmedo y tara	44.64	44.58	51.23	44.01			32.55	31.69	31.83
Peso de suelo seco y tara	36.68	36.85	43.75	36.40			29.34	29.10	29.13
Tara	20.97	22.30	29.90	22.40			18.80	20.79	20.78
Peso de agua	7.96	7.73	7.48	7.61			3.21	2.59	2.70
Peso de suelo seco	15.71	14.55	13.85	14.00			10.54	8.31	8.35
Contenido de agua %	50.67	53.13	54.01	54.36			30.46	31.17	32.34

CURVA DE FLUIDEZ



L I M I T E S %	
Líquido	54
Plástico	31
Índice de Plasticidad	22
Clasificación	MH

CLASIFICACION SEGÚN SUCS:

Limo con arena (MH), color café claro con un 20% de arena

OBSERVACIONES:

Los valores de Límites Líquido y Plásticos e Índice de plasticidad están reportados al número entero

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE
 JEFE DEL LABORATORIO





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ÁNGEL GUZMAN URBINA**



**LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES
ASTM D 4318**

Ensayo No: Lim-95-2010

Fecha: _____

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Laboratorista: Carlos Morataya

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION

Elaboró: Lety de Medina

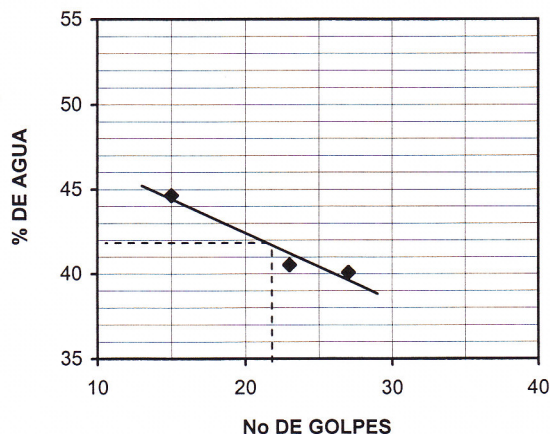
Ubicación: Est. 0+750

Muestra: 3 Material: Suelo Pozo No: _____ Profundidad: _____ m

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No de Golpes	27	23	15						
Recipiente No.	H-H	E	C				8	12	
Peso de suelo Húmedo y tara	44.03	41.94	44.26				37.30	37.47	
Peso de suelo seco y tara	37.08	35.58	36.56				34.85	35.64	
Tara	19.74	19.89	19.31				24.52	27.88	
Peso de agua	6.95	6.36	7.70				2.45	1.83	
Peso de suelo seco	17.34	15.69	17.25				10.33	7.76	
Contenido de agua %	40.08	40.54	44.64				23.72	23.58	

LIMITES %	
Líquido	42
Plástico	24
Indice de Plasticidad	18
Clasificación	CL

CURVA DE FLUIDEZ



CLASIFICACION SEGÚN SUCS:

Arcilla arenosa (CL), color café claro
con un 63% de arena fina

OBSERVACIONES:

Los valores de Límites Líquido y Plásticos e Índice de plasticidad están reportados al número entero

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ÁNGEL GUZMAN URBINA

ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE
JEFE DEL LABORATORIO

ANEXOS

ANEXO 4:

PRUEBA DE RELACIÓN

DE SOPORTE DEL

SUELO (CBR)



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Ciudad Universitaria, 20 de Julio de 2010

Br. Wilfredo Argueta Mejía y otros
 Trabajo de Graduación,
 Presente.

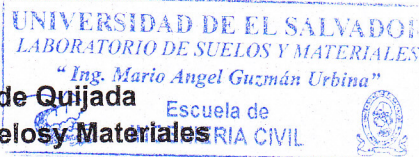
Atentamente por este medio tengo el agrado de hacer de su conocimiento los resultados obtenidos de los ensayos de Laboratorio: CBR de Laboratorio, Granulometría por lavado y los Limites líquido y plástico realizados a los materiales recibidos en este Laboratorio y que ustedes solicitaron se les realizaran.

Los resultados del ensayo CBR se resumen en la forma siguiente:

Estacionamiento muestra	Penetración	Número de Golpes						CBR Diseño %	Proctor T-180	
		56		25		12			δd max 3/cm³	W% opt.
		CBR %	δd	CBR %	δd	CBR %	δd			
0+274	0.1"	39.6	1.648	26.5	1.58	11.8	1.492	28	1.655	19
0+353	0.1"	10.1	1.634	5.8	1.551	3.3	1.423	6	1.645	19
0+442	0.1"	8.2	1.496	6.5	1.422	2.5	1.286	6.5	1.500	24
0+750	0.1"	17.8	1.76	8.9	1.652	3.3	1.529	9.8	1.790	14.5

Agradiendo por la utilización de nuestros servicios de Laboratorio, quedamos a sus apreciables ordenes.

Ing. José Miguel Landaverde Quijada
 Jefe del Laboratorio de Suelos y Materiales
 Escuela de Ingeniería Civil





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".



RELACION HUMEDAD DENSIDAD.
(PRUEBA PROCTOR)
ASTM D1557

Proyecto TRABAJO DE GRADUACION

Reporte: 95/2010

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Hoja No: 1

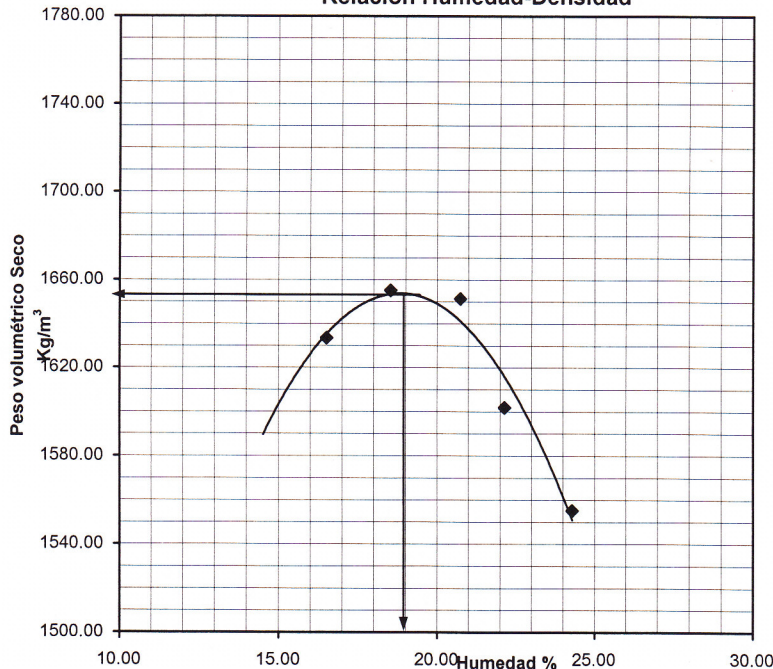
No de Capas 5 Método : ASTM Dimensiones del Molde
 Muestra No 4 Golpes / capa : 25 h = 11.7 cm
 Ubicación: Est. 0+274 No de Molde : 0-1 D = 10.1 cm
 Peso de martillo : 10 Lb
 Altura de caída : 18 pul

Fecha: 26 de Junio/2010
 Laboratorista: Carlos Morataya- Ing. Landaverde
 Calculo: Lesly Mendoza
 Revisó: Ing. Landaverde Q.

W de la muestra (g)		2800	2800	2800	2800	2800		
Humedad de prueba (%)		18.0	20.0	22.0	24.0	26.0		
Wsuelo h + molde (g)		6,035	6,090	6,120	6,085	6,063		
Wmolde (g)		4,248	4,248	4,248	4,248	4,248		
Wsuelo Húmedo (g)		1,787	1,842	1,872	1,837	1,815		
Volumen de molde (cm ³)		939	939	939	939	939		
Peso vol. húmedo (g/cm ³)		1.903	1.962	1.994	1.956	1.933		
Humedad Promedio (%)		16.5	18.5	20.7	22.1	24.3		
Peso vol. seco (kg/m ³)		1,633	1,655	1,651	1,602	1,555		

No de Tara		14	CH	1	L	4	C	12	5	7	3		
Wsuelo húmedo + Tara (g)		740.3	795.4	879.8	878.9	899.3	905.0	743.7	769.3	744.4	703.7		
Wsuelo seco + Tara (g)		644.7	689.5	749.8	749.8	753.8	758.1	613.0	635.6	603.9	571.6		
W de Agua (g)		95.6	105.9	130.0	129.1	145.5	146.9	130.7	133.7	140.5	132.1		
W de Tara (g)		64.3	50.4	50.4	50.6	51.0	50.6	27.6	26.8	26.7	26.6		
W de suelo seco (g)		580.4	639.1	699.4	699.3	702.9	707.5	585.3	608.9	577.2	544.9		
Contenido de humedad (%)		16.47	16.56	18.59	18.46	20.69	20.77	22.33	21.96	24.34	24.24		

Relación Humedad-Densidad



$W_{optima} = 19 \%$
 $\gamma_{máximo} = 1655 \text{ Kg/m}^3$

Observaciones:

Arcilla arenosa (CL), color café claro
 con un 45% de arena media a fina

Ing. José Miguel Landaverde Q.
 Jefe de Laboratorio.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO
 (C.B.R.)

Solicita: **WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS**
 Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION**
 Muestra No: **4**
 Ubicación: **Est. 0+274**
 Tipo de suelo:

Reporte No: **95/2010**
 Hoja No:
 Muestra No: **-**
 Profundidad: **-**
 Anillo No: **Celda de carga**
 Capacidad = **50 K N.**

Molde No. / No de Golpes	1 / 56		2 / 25		3 / 12	
Agua Agregada (ml)	348		348		348	
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	10.558		10.325		10.173	
Peso molde (Kgs)	6.308		6.285		6.402	
Peso Suelo Húmedo (Kg)	4.250		4.040		3.771	
Volumen del Molde (m ³)	0.00211		0.00212		0.00212	
Contenido de Agua (%)	19.0		19.0		19.0	
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	2015		1907		1780	
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1693		1603		1496	
Peso de la muestra Antes Penetrac. (Kg)	10.614		10.459		10.402	
Saturada + Molde Después Penetrac. (Kg)	10.608		10.452		10.393	
Peso Muestra Sat. Después Penetrac.	4.306		4.174		4.000	
Peso Volumétrico Húmedo después de penetración (Kg/m ³)	2042		1971		1889	
Peso Volumétrico Seco después de penetración (Kg/m ³)	1684		1580		1492	
W % (de saturación).	21.25		24.69		26.61	
Tara No	11	10	4	6	13	
Peso Suelo Húmedo + Tara	481.2	544.9	565.1	525.8	608.3	
Peso Suelo Seco + Tara	402.8	463.14	464.4	432.3	492.2	
Peso de Tara	49.4	61.2	59.3	51.0	55.5	
Peso de Agua	78.33	81.8	100.67	93.53	116.19	
Peso de Suelo Seco	353.5	401.99	405.1	381.25	436.6	
Contenido de Agua %	22.16	20.35	24.85	24.53	26.61	

REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No 1			Molde No 2			Molde No 3		
Sobrecarga 10 lb.			Sobrecarga 10 lb.			Sobrecarga 10 lb.		
Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)
01/07/2010 11:30 a.m.	200	0	01/07/2010 11:30 a.m.	200	0	01/07/2010 11:30 a.m.	200	0
02/07/2010 11:30 a.m.	215	0.015	02/07/2010 11:30 a.m.	235	0.035	02/07/2010 11:30 a.m.	248	0.048
05/07/2010 09:00 a.m.	221	0.021	05/07/2010 09:00 a.m.	245	0.045	05/07/2010 09:00 a.m.	253	0.053

PENETRACION

Penetración en pulg.	Molde No 1		Molde No 2		Molde No 3	
	No de Golpes 56		No de Golpes 25		No de Golpes 12	
	Tipo		Tipo		Tipo	
	Lect (lb)	Lb/pulg ²	Lect (lb)	Lb/pulg ²	Lect (lb)	Lb/pulg ²
0.025	207.2	69.1	148.8	49.6	111.4	37.1
0.050	539.9	180.0	375.6	125.2	218.4	72.8
0.075	897.3	299.1	661.3	220.4	267.7	89.2
0.100	1188.2	396.1	795.4	265.1	354.7	118.2
0.150	1637.2	545.7	999.7	333.2	416.0	138.7
0.200	1947.7	649.2	1129.6	376.5	461.1	153.7
0.250	2136.9	712.3	1207.1	402.4	498.1	166.0
0.300	2319.0	773.0	1290.1	430.0	534.3	178.1
0.400	2626.5	875.5	1455.1	485.0	594.0	198.0
0.500	2965.4	988.5	1612.7	537.6	648.1	216.0

Observaciones:

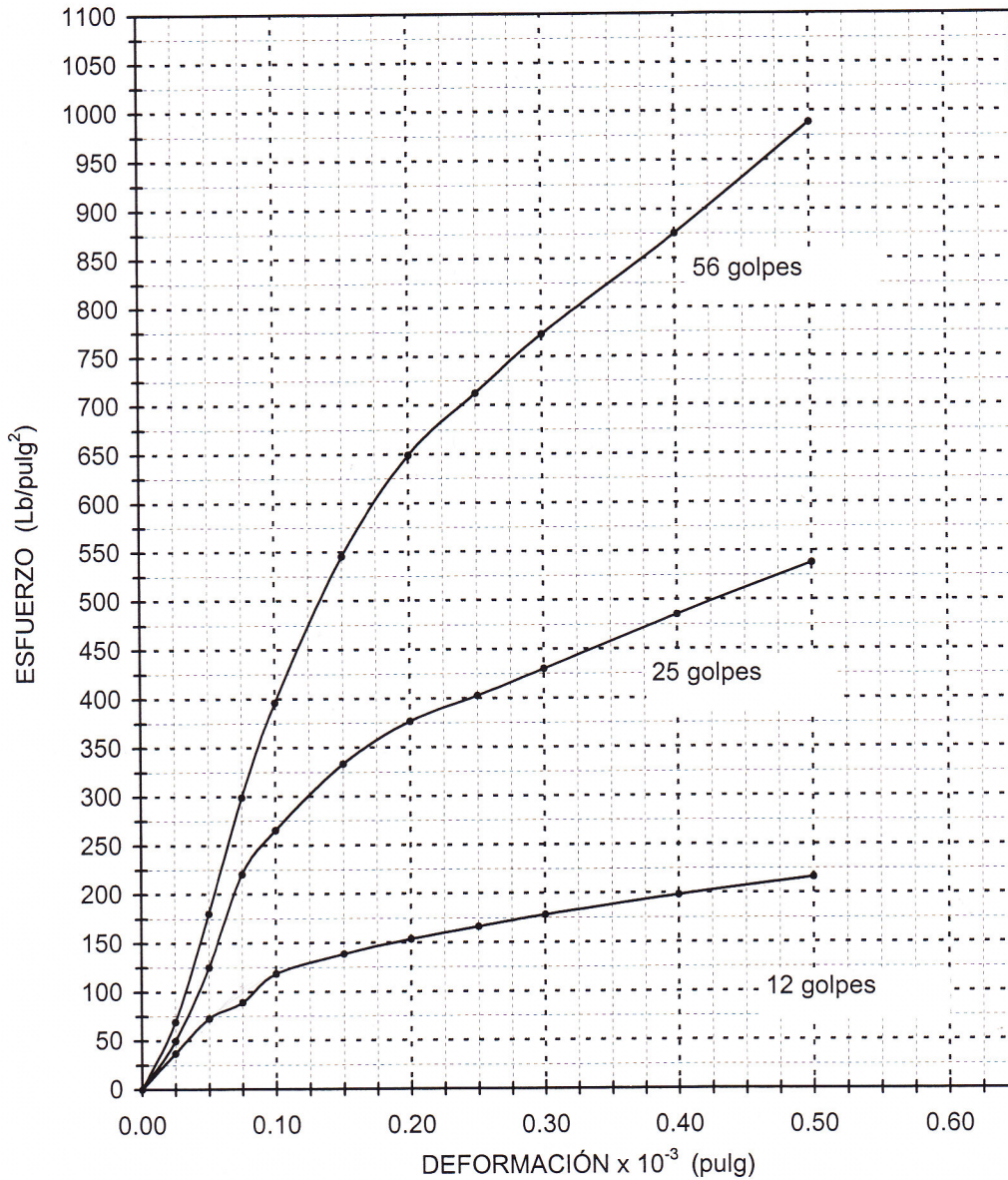
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 " Ing. Mario Angel Guzman Urbina"
 Escuela de INGENIERIA CIVIL
 Ing. José Miguel Landaverde Q.
 Jefe de Laboratorio.

CURVA ESFUERZO-DEFORMACION

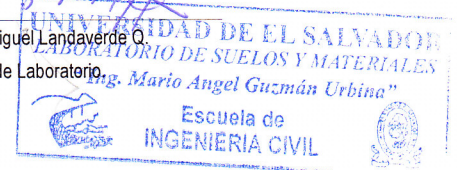
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Muestra No 4 est. 0+274



Ing. José Miguel Landaverde Q.
Jefe de Laboratorio

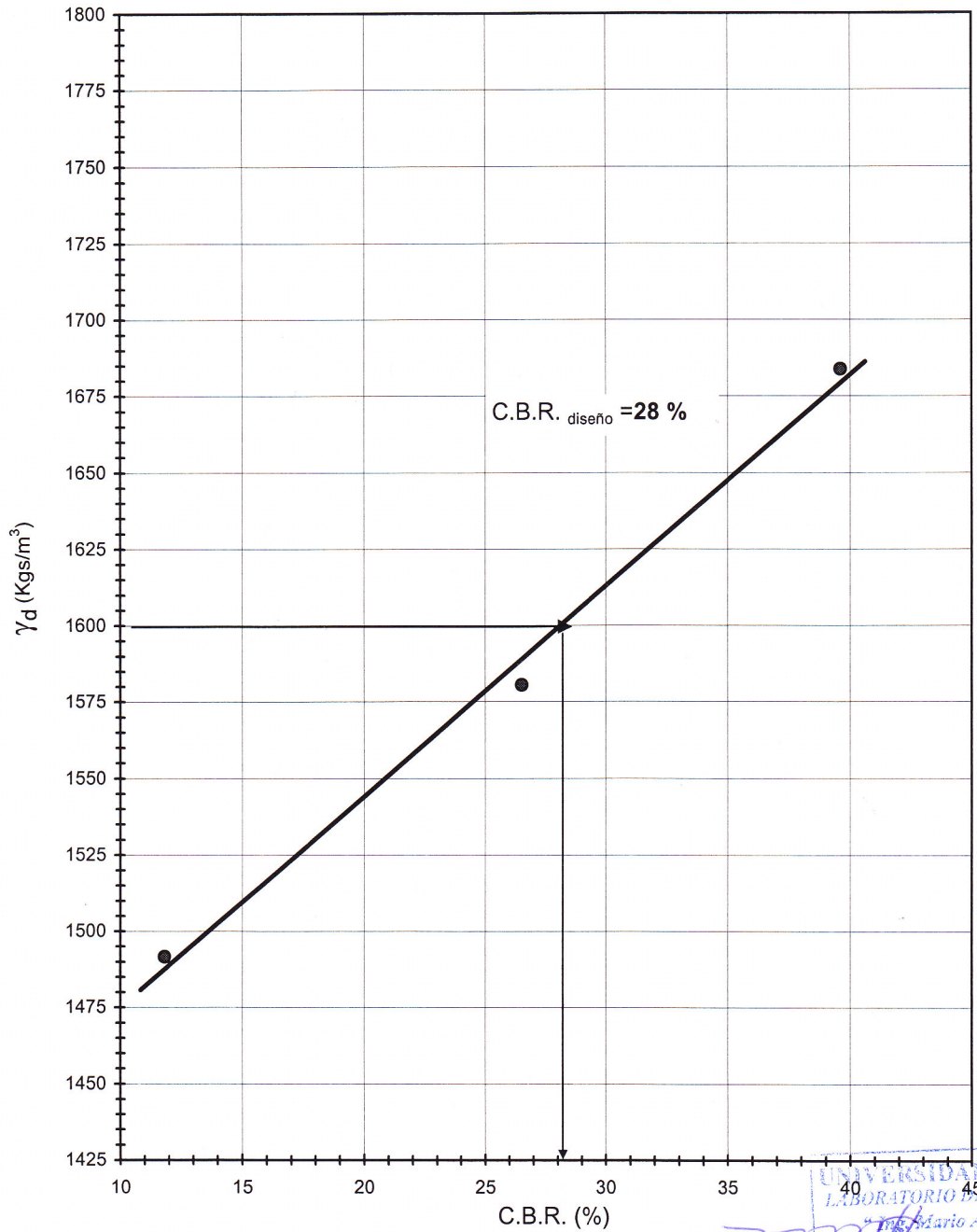


CURVA γ_d - CBR

PROYECTO: BTRABAJO DE GRADUACION

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Muestra No 4, est. 0+274



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"Dr. Mario Angel Guzmán Urbina"
Escuela de INGENIERIA CIVIL

Ing. José Miguel Landaverde Q.
Jefe de Laboratorio.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".



RELACION HUMEDAD DENSIDAD.
(PRUEBA PROCTOR)
ASTM D1557

Proyecto TRABAJO DE GRADUACION

Reporte: 95/2010-P2

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Hoja No: 1

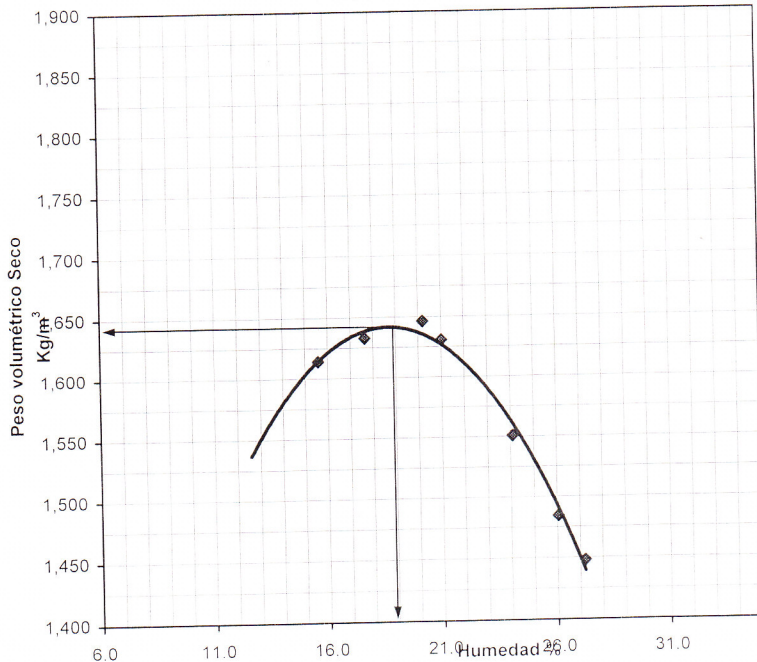
No de Capas	<u>5</u>	Método	: <u>ASTM</u>	Dimensiones del Molde
Muestra No	<u>2</u>	Golpes / capa	: <u>25</u>	h= <u>11.7</u> cm
Ubicación: Est. 0+353		No de Molde	: <u>0-1</u>	D= <u>10.1</u> cm
		Peso de martillo	: <u>10</u> Lb	
		Altura de caída	: <u>18</u> pul	

Fecha: 11 de Junio/2010
 Laboratorista: Carlos Morataya- Ing. Landaverde
 Calculo: Lesly Mendoza
 Revisó: Ing. Landaverde Q.

W de la muestra (g)		3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de prueba (%)		20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	18.0
Wsuelo h + molde (g)		6,052	6,106	6,101	6,055	6,005	5,978	6,000
Wmolde (g)		4,248	4,248	4,248	4,248	4,248	4,248	4,248
Wsuelo Húmedo (g)		1,804	1,858	1,853	1,807	1,757	1,730	1,752
Volumen de molde (cm ³)		939	939	939	939	939	939	939
Peso vol. húmedo (g/cm ³)		1.921	1.979	1.974	1.925	1.871	1.843	1.866
Humedad Promedio (%)		17.7	20.2	21.0	24.1	26.1	27.2	15.6
Peso vol. seco (kg/m ³)		1,633	1,646	1,631	1,551	1,485	1,448	1,614

No de Tara		4-7	12-5	12-8	14-3	CC-2	CH-2	14-4	G-3	0-4	10-1	14-9	cm	CV	B
Wsuelo húmedo + Tara (g)		649.4	714.9	792.9	785.2	886.0	1027.0	923.6	878.6	895.3	946.1	697.4	806.2	625.0	720.0
Wsuelo seco + Tara (g)		555.9	611.7	664.9	657.2	741.2	857.1	756.2	718.4	721.5	763.4	562.3	644.3	545.0	625.0
W de Agua (g)		93.4	103.3	128.0	128.1	144.8	169.9	167.4	160.1	173.8	182.7	135.1	161.9	80.0	95.0
W de Tara (g)		26.7	26.8	27.7	26.6	50.6	50.4	64.3	50.7	52.0	65.0	65.2	50.6	25.4	23.0
W de suelo seco (g)		529.3	584.9	637.2	630.6	690.7	806.7	691.9	667.7	669.5	698.5	497.0	593.8	519.6	602.0
Contenido de humedad (%)		17.65	17.65	20.09	20.31	20.97	21.06	24.20	23.98	25.95	26.15	27.19	27.27	15.40	15.78

Relación Humedad-Densidad



$W_{\text{optima}} = \underline{19} \%$
 $\gamma_{\text{máximo}} = \underline{1645} \text{ Kg/m}^3$

Observaciones:

Limo arenoso (ML), color café claro con un 43% de arena media a fina

[Signature]
 Ing. José Miguel Landaverde Q.
 Jefe de Laboratorio.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "Ing. Mario Angel Guzman Urbina"
 Escuela de INGENIERIA CIVIL



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO
 (C.B.R.)

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS
 Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION
 Muestra No: 2
 Ubicación: Est. 0+353
 Tipo de suelo:

Reporte No: 95/2010-P2
 Hoja No: 2
 Muestra No: -
 Profundidad: -
 Anillo No: Celda de carga
 K anillo = -

Molde No. / No de Golpes	5-1 / 56	5-2 / 25	5-3 / 12			
% Agua Agregada						
Agua Agregada (ml)	393	393	393			
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	10.445	10.162	9.925			
Peso molde (Kgs)	6.308	6.285	6.402			
Peso Suelo Húmedo (Kg)	4.137	3.877	3.523			
Volúmen del Molde (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021			
Contenido de Agua (%)	20.0	20.0	20.0			
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1962	1831	1663			
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1635	1525	1386			
Peso de la muestra Antes Penetrac. (Kg)	10.603	10.418	10.295			
Saturada + Molde Después Penetrac. (Kg)	10.596	10.415	10.280			
Peso Muestra Sat. Después Penetrac.	4.295	4.133	3.893			
Peso Volumétrico Húmedo después de penetración (Kg/m ³)	2037	1951	1838			
Peso Volumétrico Seco después de penetración (Kg/m ³)	1634	1551	1423			
W % (de saturación).	24.65	25.85	29.14			
Tara No	10-6	11-3	11-1	13-2	0-7	11-7
Peso Suelo Húmedo + Tara	576.2	575.5	475.4	442.2	637.6	627.8
Peso Suelo Seco + Tara	469.2	478.52	391.8	359.3	507.2	498.7
Peso de Tara	54.8	65.2	49.3	55.5	49.9	65.1
Peso de Agua	106.99	97.02	83.56	82.95	130.44	129.08
Peso de Suelo Seco	414.3	413.3	342.5	303.77	457.3	433.6
Contenido de Agua %	25.82	23.47	24.40	27.31	28.52	29.77

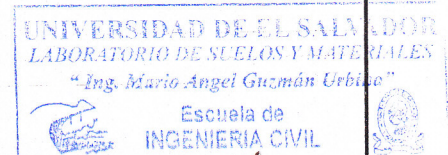
REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No 1			Molde No 2			Molde No 3		
Sobrecarga 10 lb.			Sobrecarga 10 lb.			Sobrecarga 10 lb.		
Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)
22/06/2010 11:30 a.m.	200	0	22/06/2010 11:30 a.m.	200	0	22/06/2010 11:30 a.m.	200	0
23/06/2010 11:30 a.m.	285	0.085	23/06/2010 11:30 a.m.	312	0.112	23/06/2010 11:30 a.m.	310	0.11
24/06/2010 02:00 p.m.	323	0.123	24/06/2010 02:00 p.m.	319	0.119	24/06/2010 02:00 p.m.	310	0.11

PENETRACION

Penetración en pulg.	Molde No 56		Molde No 25		Molde No 12	
	Tipo		Tipo		Tipo	
	Lect (lb)	Lb/pulg ²	Lect (lb)	Lb/pulg ²	Lect (lb)	Lb/pulg ²
0.025	29.2	9.7	38.2	12.7	23.6	7.9
0.050	71.8	23.9	76.6	25.5	48.9	16.3
0.075	139.2	46.4	123.9	41.3	74.8	24.9
0.100	205.4	68.5	174.2	58.1	99.9	33.3
0.150	381.1	127.0	255.0	85.0	135.5	45.2
0.200	519.7	173.2	311.8	103.9	162.8	54.3
0.250	632.6	210.9	358.7	119.6	185.4	61.8
0.300	698.6	232.9	390.6	130.2	203.2	67.7
0.400	840.0	280.0	426.5	142.2	228.1	76.0
0.500	987.5	329.2	490.3	163.4	235.7	78.6

Observaciones:



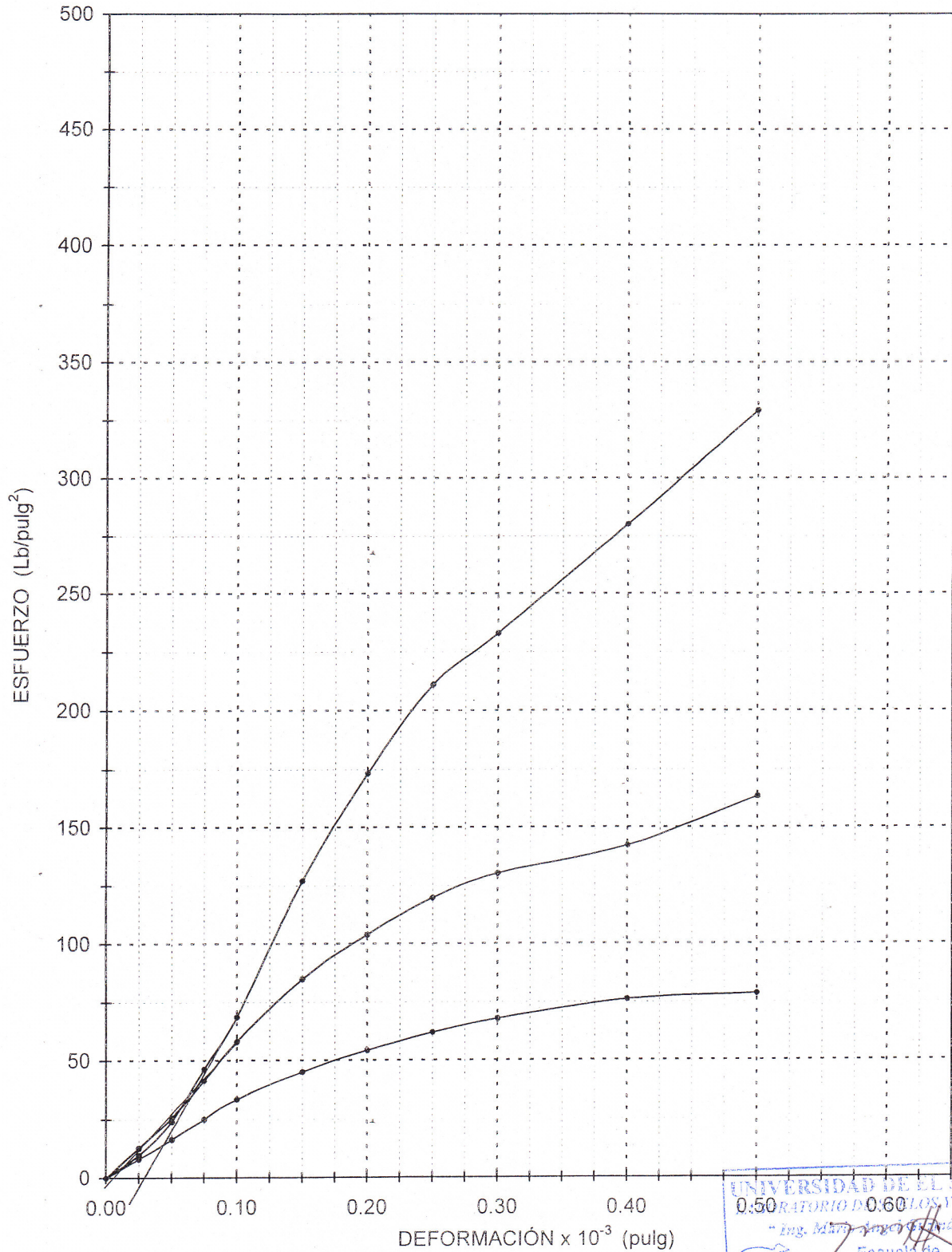
Ing. José Miguel Landaverde Q.
 Jefe de Laboratorio.

CURVA ESFUERZO- DEFORMACION

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

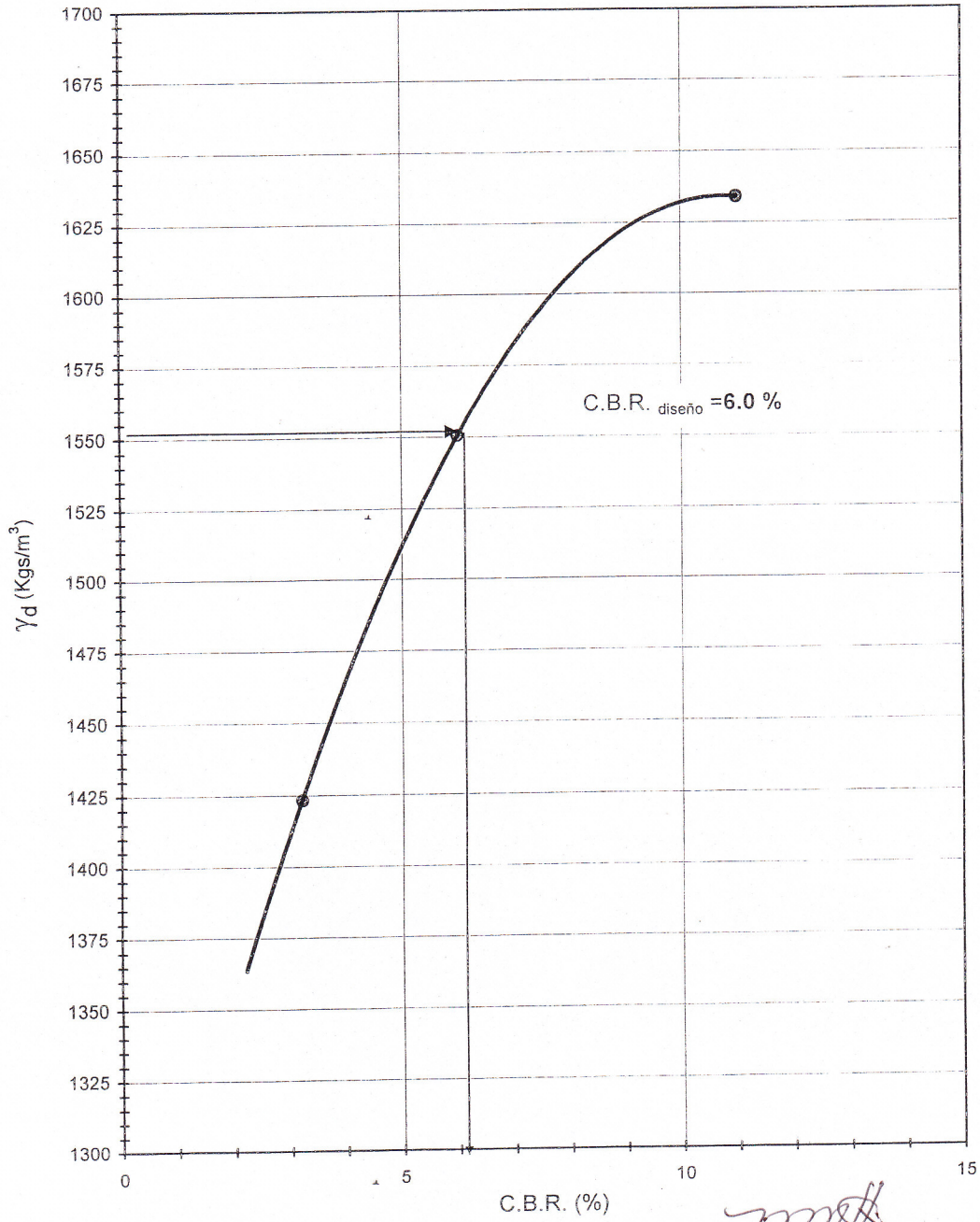
Muestra No 2, est. 0+353



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE LOS MATERIALES
"Ing. Mario Argueta Mejia y Juan Urbino"
Escuela de INGENIERIA CIVIL

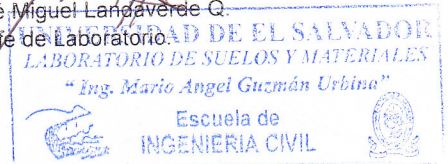
CURVA γ_d - CBR

PROYECTO: BTRABAJO DE GRADUACION
Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS
Muestra No 2, est. 0+353



C.B.R. diseño = 6.0 %

Ing. José Miguel Landaverde G.
Jefe de Laboratorio





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".**



**RELACION HUMEDAD DENSIDAD.
(PRUEBA PROCTOR)
ASTM D1557**

Proyecto TRABAJO DE GRADUACION

Reporte: 95/2010

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Hoja No: 1

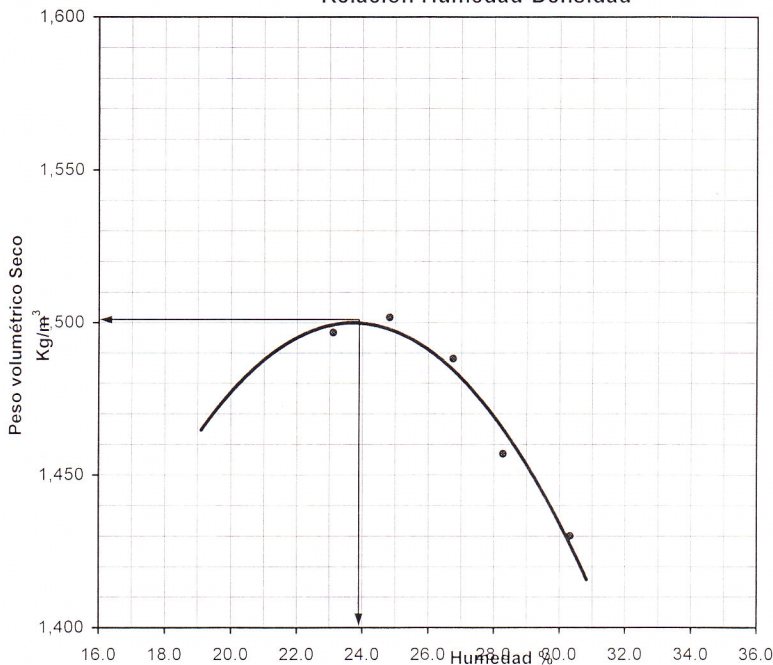
No de Capas 5 Método : ASTM Dimensiones del Molde
 Muestra No 3 Golpes / capa : 25 h = 11.7 cm
 Ubicación: Est. 0+442 No de Molde : 0-1 D = 10.1 cm
 Peso de martillo : 10 Lb
 Altura de caída : 18 pul

Fecha: 11 de Junio/2010
 Laboratorista: Carlos Morataya- Ing. Landaverde
 Calculo: Lesly Mendoza
 Revisó: Ing. Landaverde Q.

W de la muestra (g)	3000	3000	3000	3000	3000		
Humedad de prueba (%)	24.0	26.0	28.0	30.0	33.0		
Wsuelo h + molde (g)	5,978	6,008	6,019	6,003	5,998		
Wmolde (g)	4,248	4,248	4,248	4,248	4,248		
Wsuelo Húmedo (g)	1,730	1,760	1,771	1,755	1,750		
Volumen de molde (cm ³)	939	939	939	939	939		
Peso vol. húmedo (g/cm ³)	1.843	1.874	1.886	1.869	1.864		
Humedad Promedio (%)	23.1	24.8	26.7	28.3	30.3		
Peso vol. seco (kg/m ³)	1,497	1,502	1,488	1,457	1,430		

No de Tara	G-38	G-37	G-1	0-5	0-9	12	21	CH-1	CC-1	13		
Wsuelo húmedo + Tara (g)	818.5	944.3	958.1	913.1	915.2	964.2	952.8	903.2	906.2	917.5		
Wsuelo seco + Tara (g)	676.9	779.5	778.7	740.7	735.9	772.3	753.7	715.4	705.9	720.5		
W de Agua (g)	141.6	164.8	179.4	172.5	179.3	191.8	199.1	187.9	200.3	197.0		
W de Tara (g)	64.6	65.5	50.7	50.8	69.8	50.5	50.6	50.4	50.8	65.4		
W de suelo seco (g)	612.3	714.0	728.0	689.8	666.1	721.9	703.1	665.0	655.1	655.1		
Contenido de humedad (%)	23.13	23.08	24.64	25.00	26.92	26.58	28.31	28.25	30.58	30.07		

Relación Humedad-Densidad

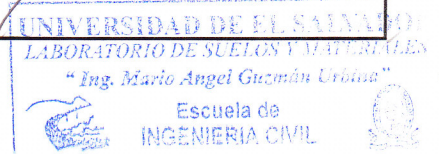


$W_{\text{optima}} = 24 \%$
 $\gamma_{\text{máximo}} = 1500 \text{ Kg/m}^3$

Observaciones:

Limo con arena (MH), color café claro
 con un 20% de arena

[Signature]
 Ing. José Miguel Landaverde Q.
 Jefe de Laboratorio.





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO

(C.B.R.)

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS
 Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION
 Muestra No 3
 Ubicación: Banco de Préstamo
 Ubicación: Est. 0+442

Reporte No: 95/2010
 Hoja No: 2
 Muestra No: -
 Profundidad: -
 Anillo No: Celda de carga
 anillo = -

Molde No. / No de Golpes	5-1 / 56	5-2 / 25	5-3 / 12			
% Agua Agregada						
Agua Agregada (ml)	638	638	638			
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	11.059	10.793	10.438			
Peso molde (Kgs)	7.095	7.109	7.126			
Peso Suelo Húmedo (Kg)	3.964	3.684	3.312			
Volúmen del Molde (m ³)	0.00211	0.00211	0.00211			
Contenido de Agua (%)	6.4	6.4	6.4			
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1878	1745	1569			
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1766	1641	1475			
Peso de la muestra Antes Penetrac. (Kg)	11.276	11.120	10.870			
Saturada + Molde Después Penetrac. (Kg)	11.275	11.115	10.850			
Peso Muestra Sat. Después Penetrac.	4.181	4.011	3.744			
Peso Volumétrico Húmedo después de penetración (Kg/m ³)	1981	1900	1774			
Peso Volumétrico Seco después de penetración (Kg/m ³)	1496	1422	1286			
W % (de saturación).	32.4	33.6	37.9			
Tara No	E-2	E-3	10-Jul	T-4	10-Ago	11-Oct
Peso Suelo Húmedo + Tara	544.9	564.6	573.2	464.3	660.7	557.0
Peso Suelo Seco + Tara	421.9	448.64	448.7	359.7	497.7	415.1
Peso de Tara	65.4	65.2	65.2	59.3	53.5	52.3
Peso de Agua	123.02	115.99	124.5	104.58	163	141.94
Peso de Suelo Seco	356.5	383.48	383.5	300.44	444.2	362.8
Contenido de Agua %	34.5	30.2	32.5	34.8	36.7	39.1

REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No 1			Molde No 2			Molde No 3		
Sobrecarga 10 lb.			Sobrecarga 10 lb.			Sobrecarga 10 lb.		
Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)
21/06/2010 03:45 p.m.	100	0	21/06/2010 03:45 p.m.	100	0	21/06/2010 03:45 p.m.	100	0
23/06/2010 03:30 p.m.	124	0.024	23/06/2010 03:30 p.m.	249	0.149	23/06/2010 03:30 p.m.	252	0.152
24/06/2010 09:00 a.m.	182	0.082	24/06/2010 09:00 a.m.	250	0.150	24/06/2010 09:00 a.m.	253	0.153

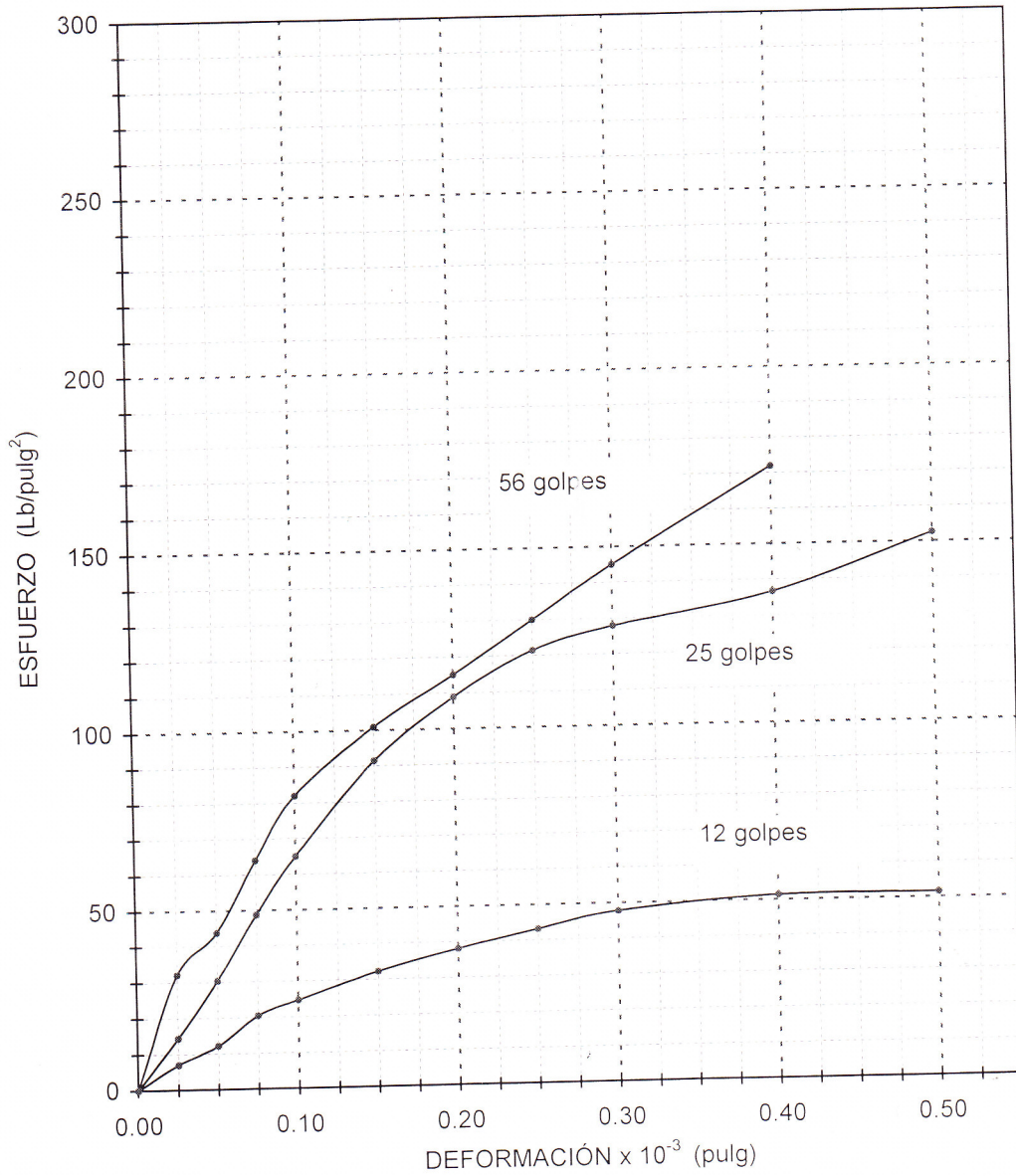
PENETRACION

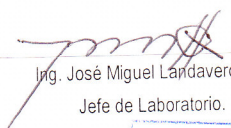
Penetración en pulg.	Molde No 56		Molde No 25		Molde No 12	
	No de Golpes		No de Golpes		No de Golpes	
	Lect (lb)	Lb/pulg ²	Lect (lb)	Lb/pulg ²	Lect (lb)	Lb/pulg ²
0.025	96.3	32.1	43.3	14.4	21.2	7.1
0.050	131.4	43.8	91.1	30.4	36.5	12.2
0.075	192.0	64.0	146.4	48.8	61.3	20.4
0.100	246.0	82.0	195.0	65.0	73.9	24.6
0.150	303.0	101.0	274.3	91.4	96.8	32.3
0.200	345.0	115.0	326.7	108.9	114.3	38.1
0.250	390.0	130.0	364.4	121.5	129.5	43.2
0.300	435.0	145.0	383.7	127.9	143.5	47.8
0.400	516.0	172.0	409.9	136.6	154.2	51.4
0.500			457.7	152.6	154.5	51.5

Observaciones:

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "Ing. Mario Angel Guzmán Urbina"
 Escuela de INGENIERIA CIVIL
 Ing. José Miguel Landaverde Q.
 Jefe de Laboratorio.

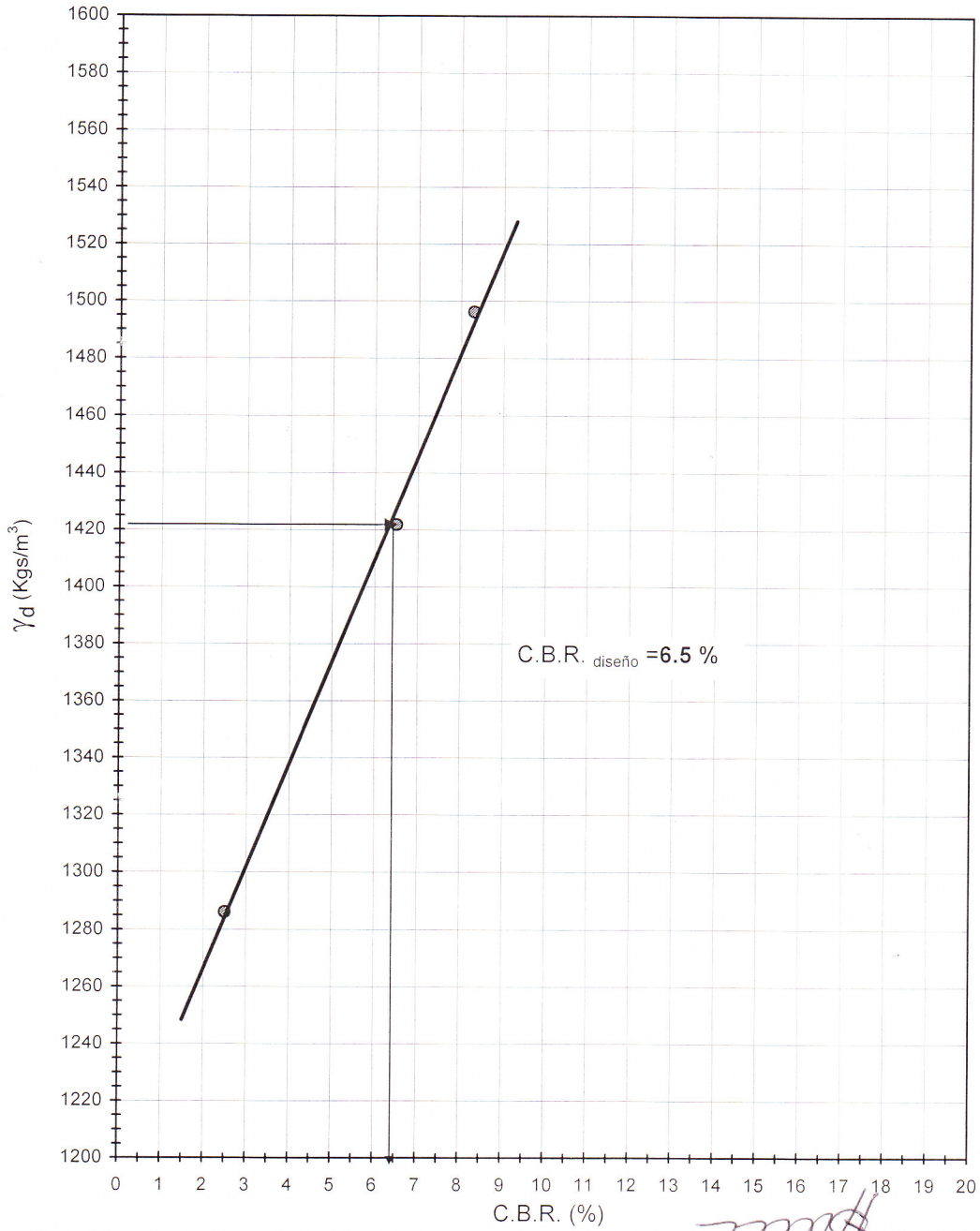
CURVA ESFUERZO- DEFORMACION
 PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
 Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS
 Muestra No 3, est 0+442



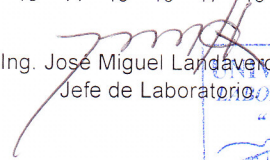

 Ing. José Miguel Landaverde Q.
 Jefe de Laboratorio.



CURVA γ_d - CBR
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS
Muestra No 3, est 0+442



C.B.R. diseño = 6.5 %


 Ing. José Miguel Landaverde
 Jefe de Laboratorio

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "Ing. Mario Angel Guzmán Urbina"
 Escuela de INGENIERIA CIVIL



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".**



**RELACION HUMEDAD DENSIDAD.
(PRUEBA PROCTOR)
ASTM D1557**

Proyecto TRABAJO DE GRADUACION

Reporte: 95/2010

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Hoja No: 1

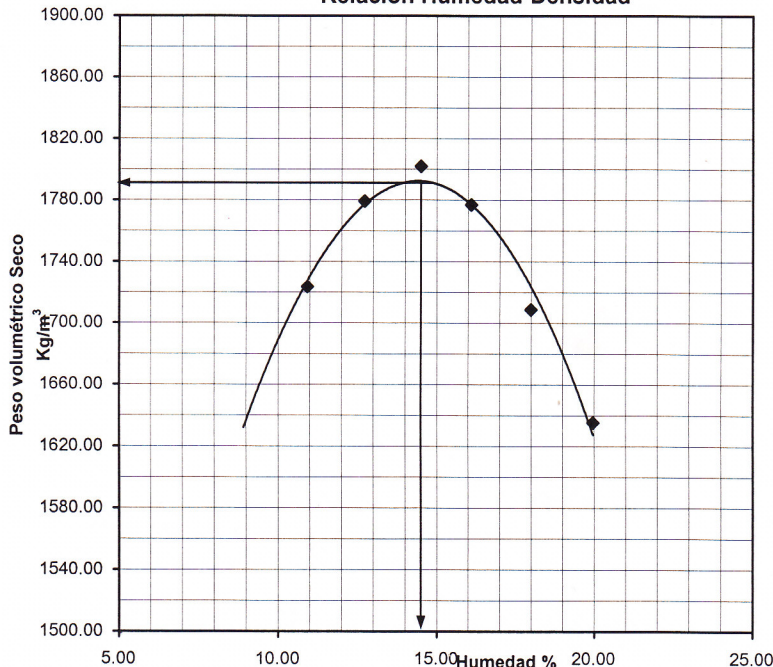
No de Capas 5 Método : ASTM Dimensiones del Molde
 Muestra No 3 Golpes / capa : 25 h= 11.7 cm
 Ubicación: Est. 0+750 No de Molde : 0-1 D= 10.1 cm
 Peso de martillo : 10 Lb
 Altura de caída : 18 pul

Fecha: 26 de Junio/2010
 Laboratorista: Carlos Morataya- Ing. Landaverde
 Calculo: Lesly Mendoza
 Revisó: Ing. Landaverde Q.

W de la muestra (g)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de prueba (%)	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0
Wsuelo h + molde (g)	6,043	6,131	6,185	6,185	6,141	6,090
Wmolde (g)	4,248	4,248	4,248	4,248	4,248	4,248
Wsuelo Húmedo (g)	1,795	1,883	1,937	1,937	1,893	1,842
Volumen de molde (cm³)	939	939	939	939	939	939
Peso vol. húmedo (g/cm³)	1.912	2.005	2.063	2.063	2.016	1.962
Humedad Promedio (%)	10.9	12.7	14.5	16.1	18.0	20.0
Peso vol. seco (kg/m³)	1,724	1,779	1,802	1,777	1,709	1,635

No de Tara	66	g	14	G	21	13	12	9	37	38	10	5
Wsuelo húmedo + Tara (g)	654.2	845.1	779.7	834.8	847.4	949.2	932.5	917.7	893.4	892.8	897.2	936.2
Wsuelo seco + Tara (g)	594.7	767.1	698.8	746.6	744.8	839.2	810.1	800.2	767.1	766.7	760.1	787.4
W de Agua (g)	59.5	78.1	80.9	88.2	102.5	110.0	122.4	117.5	126.3	126.2	137.1	148.8
W de Tara (g)	50.8	50.7	65.2	50.7	50.7	65.4	50.5	69.8	65.5	64.6	65.0	50.9
W de suelo seco (g)	543.9	716.4	633.6	695.8	694.2	773.8	759.6	730.4	701.5	702.1	695.2	736.5
Contenido de humedad (%)	10.94	10.90	12.76	12.68	14.77	14.22	16.11	16.08	18.00	17.97	19.72	20.20

Relación Humedad-Densidad

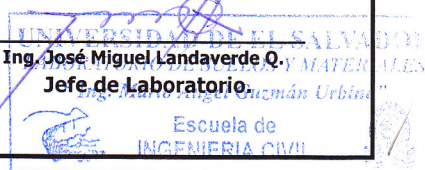


$W_{optima} = 14.5$ %
 $\gamma_{máximo} = 1790$ Kg/m³

Observaciones:

Arcilla arenosa (CL), color café claro
 con un 63% de arena fina

Ing. José Miguel Landaverde Q.
 Jefe de Laboratorio.



Escuela de
 INGENIERIA CIVIL



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO
 (C.B.R.)

Solicita: **WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS**
 Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION**
 Muestra No: **3**
 Ubicación: **Est. 0+750**
 Tipo de suelo: _____

Reporte No: **95/2010**
 Hoja No: **2**
 Muestra No: **-**
 Profundidad: **-**
 Anillo No: **Celda de carga**
 Capacidad = **50 K N**

Molde No. / No de Golpes	5-1 / 56	5-2 / 25	5-3 / 12			
% Agua Agregada						
Agua Agregada (ml)	400	400	400			
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	11.305	11.034	10.716			
Peso molde (Kgs)	7.095	7.109	7.126			
Peso Suelo Húmedo (Kg)	4.21	3.925	3.59			
Volumen del Molde (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021			
Contenido de Agua (%)	14.5	14.5	14.5			
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1990	1853	1695			
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1738	1618	1480			
Peso de la muestra Antes Penetrac. (Kg)	11.502	11.323	11.119			
Saturada + Molde Después Penetrac. (Kg)	11.500	11.312	11.112			
Peso Muestra Sat. Después Penetrac.	4.407	4.214	3.993			
Peso Volumétrico Húmedo después de penetración (Kg/m ³)	2083	1990	1885			
Peso Volumétrico Seco después de penetración (Kg/m ³)	1760	1652	1529			
W % (de saturación).	18.34	20.41	23.26			
Tara No	11	3	10	12	11-3	4
Peso Suelo Húmedo + Tara	661.9	596.1	529.7	566.5	523.7	489.6
Peso Suelo Seco + Tara	576.1	507.98	454.4	477.9	439.4	407.5
Peso de Tara	65.1	65.2	65.2	65.3	65.2	64.7
Peso de Agua	85.80	88.07	75.31	88.57	84.35	82.18
Peso de Suelo Seco	511.0	442.79	389.2	412.68	374.1	342.7
Contenido de Agua %	16.79	19.89	19.35	21.46	22.55	23.98

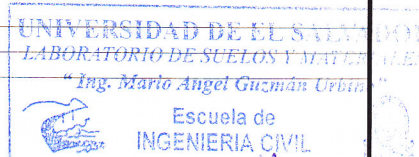
REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No 5-1			Molde No 5-2			Molde No 5-3		
Sobrecarga 10 lb.			Sobrecarga 10 lb.			Sobrecarga 10 lb.		
Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)	Hora y Fecha	Lect. (u) (0.001 pulg)	Defor. (Pulg.)
02/07/2010 11:15 a.m.	200	0	02/07/2010 11:15 a.m.	200	0	02/07/2010 11:15 a.m.	200	0
05/07/2010 10:30 a.m.	306	0.106	05/07/2010 10:30 a.m.	311	0.111	05/07/2010 10:30 a.m.	393	0.193

PENETRACION

Penetración en pulg.	Molde No 5-1		Molde No 5-2		Molde No 5-3	
	No de Golpes 56		No de Golpes 25		No de Golpes 12	
	Tipo		Tipo		Tipo	
	Lect (lb)	Lb/pulg ²	Lect (lb)	Lb/pulg ²	Lect (lb)	Lb/pulg ²
0.025	89.4	29.8	54.9	18.3	38.6	12.9
0.050	195.1	65.0	118.1	39.4	54.6	18.2
0.075	331.4	110.5	189.7	63.2	77.7	25.9
0.100	533.4	177.8	267.8	89.3	97.9	32.6
0.150	865.0	288.3	386.8	128.9	133.4	44.5
0.200	1037.8	345.9	463.6	154.5	166.1	55.4
0.250	1170.0	390.0	520.4	173.5	194.4	64.8
0.300	1270.8	423.6	570.0	190.0	219.3	73.1
0.400	1436.8	478.9	652.1	217.4	257.3	85.8
0.500	1586.2	528.7	730.3	243.4	302.6	100.9

Observaciones:



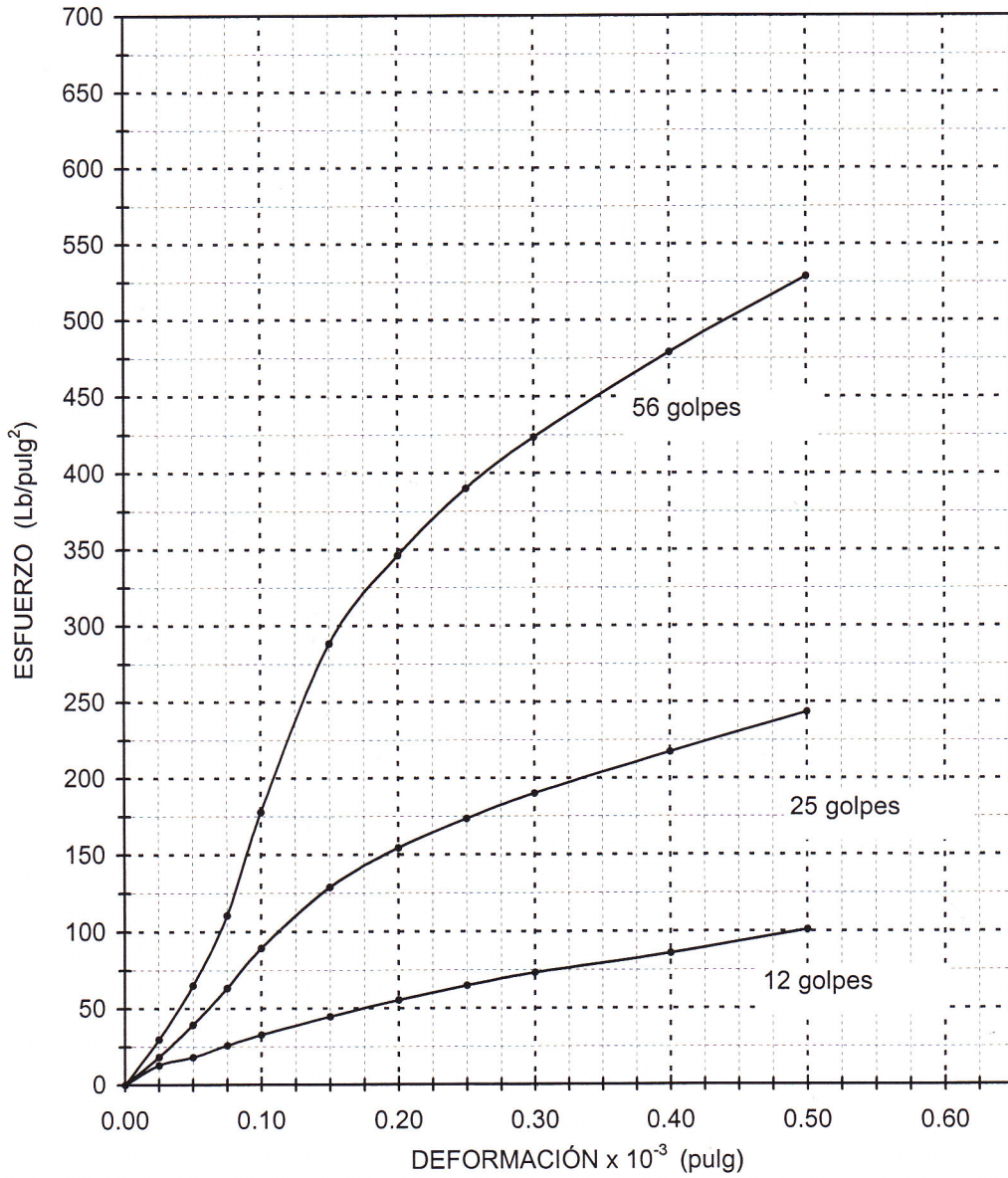
Ing. José Miguel Landaverde Q.
 Jefe de Laboratorio.

CURVA ESFUERZO- DEFORMACION

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION

Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Muestra No 3 est. 0+750



Ing. José Miguel Landaverde Q.
Jefe de Laboratorio

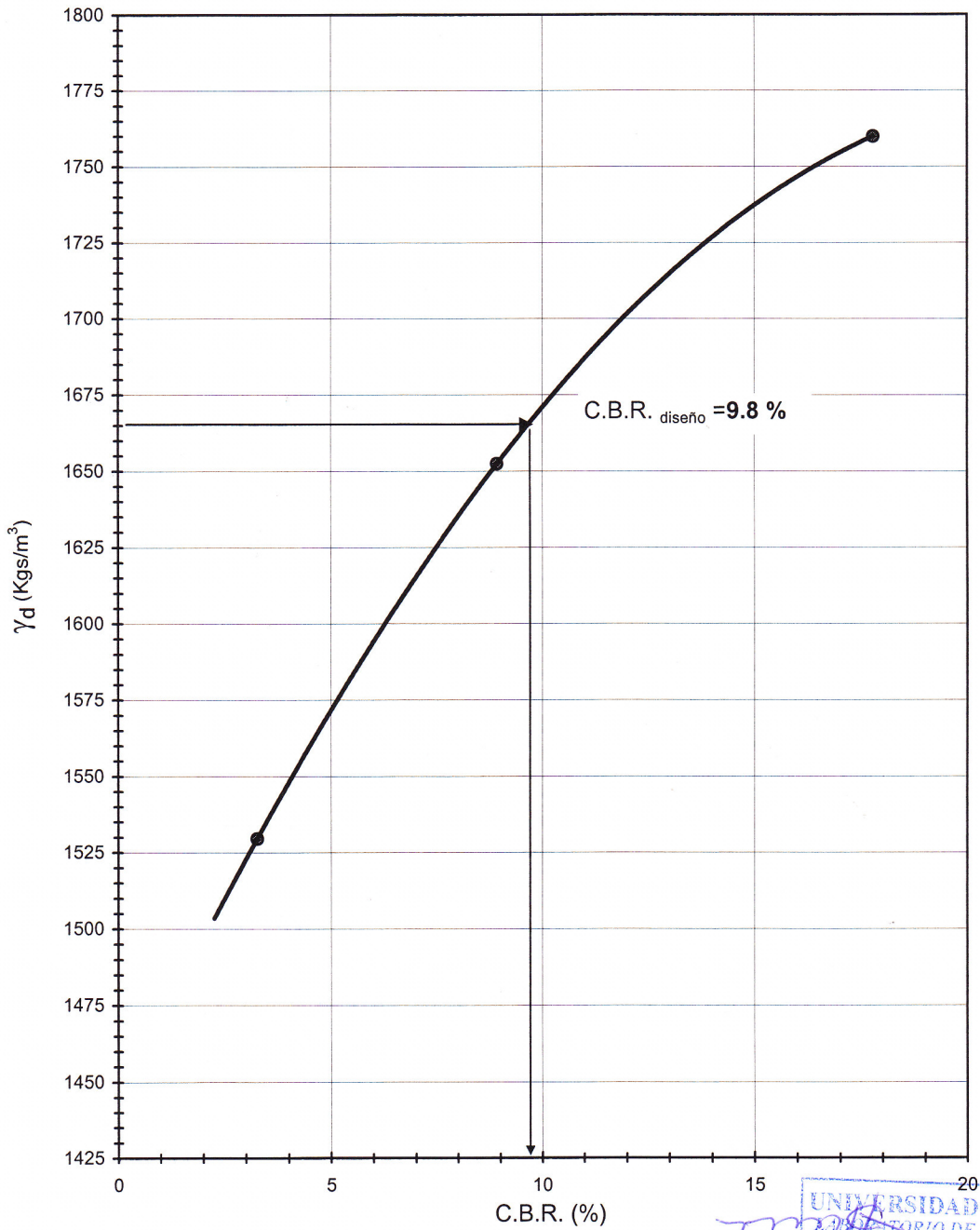


CURVA γ_d - CBR

PROYECTO: BTRABAJO DE GRADUACION

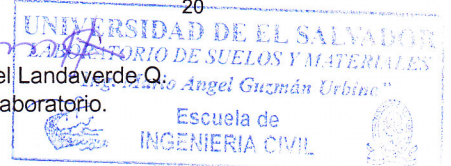
Solicita: WILFREDO ARGUETA MEJIA Y OTROS

Muestra No 3, est. 0+750



C.B.R. diseño = 9.8 %

Ing. José Miguel Landaverde Q.
Jefe de Laboratorio.



ANEXOS

ANEXO 5:

RESULTADO DE

ENSAYOS METODO

“PUAD”

PAVIMENTO UNICAPA DE ALTO DESEMPEÑO : DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO
PROYECTO: CUS18E (Suchitoto -Desvío CUS11N)

Fecha 02/12/2009

VEHICULO DE DISEÑO
PARAMETROS

C2

C2

Módulo Elástico (a 60 días)	E =	9,000	MPa
Espesor tentativo del pavimento	h =	0.2	m
Coefficiente de Poisson	μ =	0.11	
Módulo de reacción de la subrasante	K =	70	MPa / m
Carga de cada rueda	P =	0.022	MN
Presión de inflado de neumático	p =	0.66	MPa
Número de Ruedas (en cada punta de eje)	Nr = (162)	2	
Radio del área equivalente	a =	0.103	m
Radio de rigidez relativa	l =	0.543	m
Separación entre centros de ruedas	s =	0.65	m
	s/a =	6.31	
	a/l =	0.190	

ALGUNOS
PARAMETROS
DE DISEÑO



Formula Modificada por ISCYC

y =	0.72225	
σ =	0.79	MPa

FATIGA POR FLEXION

Módulo de rotura a flexión (a 60días)	Mr =	1.6	MPa
Número diario de repeticiones de la carga	A =	35	
Período de diseño	PD =	5	Años
Aumento de tráfico anual	% =	1.5	
Factor de Crecimiento	Fcr =	5.15	
Número de repeticiones en período diseño	NR =	67,166	
Relación Tensión / Módulo de rotura	SR =	0.7173	
Tensión admisible	σ =	1.15	MPa

Es el Espesor Correcto ?	VERDADERO	OK !
---------------------------------	------------------	-------------

Modificada Marzo del 2003 por :
 ISCYC



INSTITUTO SALVADOREÑO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO
LABORATOIRO DE INVESTIGACIONES ISCYC

FACTOR DE CONTRACCION DE LOS SUELOS POR EL METODO DE MERCURIO
ASTM D 427

SOLICITANTE :	U P C - CEMENTO DE EL SALVADOR
PROYECTO :	CAB09N : Tramo CUS18E, Tramo SUCHITOTO - DESVIO CUS11N
UBICACION :	CUSCATLAN
TIPO DE MUESTRA :	Suelo
ESTACIONAMIENTO :	0+442LI, Pozo 1
FECHA DE MUESTREO :	07 de Octubre de 2009
FECHA DE ENSAYO :	16-17 Nov. 2009
REALIZARON :	J.H , V.R.
REVISO :	Julio Hernández
OBSERVACIONES :	Muestreo realizado por personal de Laboratorio del ISCYC

Estacionamiento	0+442LI (Pozo 1)		
Masa del Disco de Contracción, gr. M_T	20.74		
Densidad del Mercurio gr/cm ³	13.55		
Masa de Disco + Mercurio Hg	262.64		
Masa del Mercurio, gr	241.9		
Volumen de pastilla de suelo Humedo , cm ³ (V)	17.85		
Masa del Disco + Muestra Húmeda, gr	51.1		
Masa del suelo humedo Inicial, (M)	30.36		
Masa del Disco + Muestra Seca, gr	40.93		
Masa del Agua, gr (W_w)	10.17		
Masa de Muestra Seca, gr (M_o)	20.19		
Contenido Inicial de Humedad del suelo (W %)	50.37		
Peso inicial de capsula de vidrio + Hg	-		
Peso Final de capsula de vidrio + Hg	-		
Masa del Mercurio desalojado, grs	161.34		
Volumen de pastilla de suelo Seco, cm ³ (V_o)	11.91		
Limite de Contracción, %	20.9		
Relación de Contracción	1.70		

Contenido Inicial de agua :
$$W = \frac{(M - M_o)}{M_o} \times 100$$

Límite de Contracción :
$$CL = W - [(V - V_o) \rho_{\text{agua}} / M_o] \times 100$$

Relación de contracción :
$$CR = \frac{M_o}{(V_o \times \rho_{\text{agua}})}$$

$\rho_{\text{agua}} = 1.0 \text{ g/ cm}^3$



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Centro de Investigaciones ISCYC

Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,
Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD AASHTO T - 180

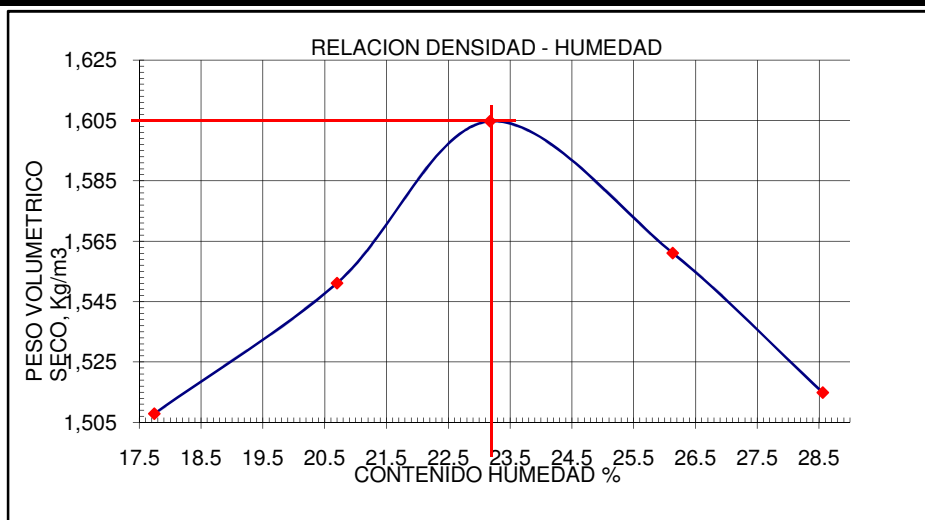
SOLICITANTE:	UPC CEMENTO DE EL SALVADOR	REF.	
PROYECTO:	CUS18E: Tramo SUCHITOTO - DESVIO CUS11N	METODO	A
UBICACION:	CUSCATLAN	MARTILLO:	10 lb
FECHA MUESTREO:	07 de Octubre de 2009	GOLPES P/CAPA	25/5
FECHA DE ENSAYO:	30 Octubre y 02 de Nov. 09	LABORAT.:	V.R.; D.A
ESTACIÓN:	0 + 442 LI	REVISO: .	J.Hernández
OBSERVACIONES:	Material del pozo 1 (07 - 77) cm		

PESO UNITARIO

ENSAYO No.	1	2	3	4		OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATORIO	11.0%	13.0%	16.0%	19.0%	21%	
AGUA AGREGADA (C.C)	275	325	400	475	525	
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	5890	5980	6077	6070	6050	Masa de la muestra h:
PESO MOLDE (g)	4240	4240	4240	4240	4240	2500 g
PESO MUES. HUMEDA (g)	1650	1740	1837	1830	1810	% H 9.1
CAPACIDAD MOLDE (cm ³)	929.4	929.4	929.4	929.4	929.4	Masa de la muestra seca
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³)	1775	1872	1977	1969	1947	2291.5 g
PESO VOL. SECO (kg/m ³)	1,508	1,551	1,605	1,561	1,515	

HUMEDAD

RECIPIENTE No.	Z	V	3	X	K	OBSERVACIONES
PESO HUMEDO+TARA (grs)	682.1	669.6	721.5	573.7	660.9	
PESO SECO + TARA (grs)	604.7	584.4	617.2	489.3	551.4	
PESO AGUA (grs)	77.4	85.2	104.3	84.4	109.5	11 %, C-91
TARA (grs)	168.5	172.8	167.1	166.3	168.0	
PESO SECO (grs)	436.2	411.6	450.1	323.0	383.4	
% HUMEDAD	17.7	20.7	23.2	26.1	28.6	



P.V.H. max.=	1977
P.V.S. max.=	1605
% De Humedad Optima	23.2



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Centro de Investigaciones ISCYC

Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,
Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD AASHTO T - 180

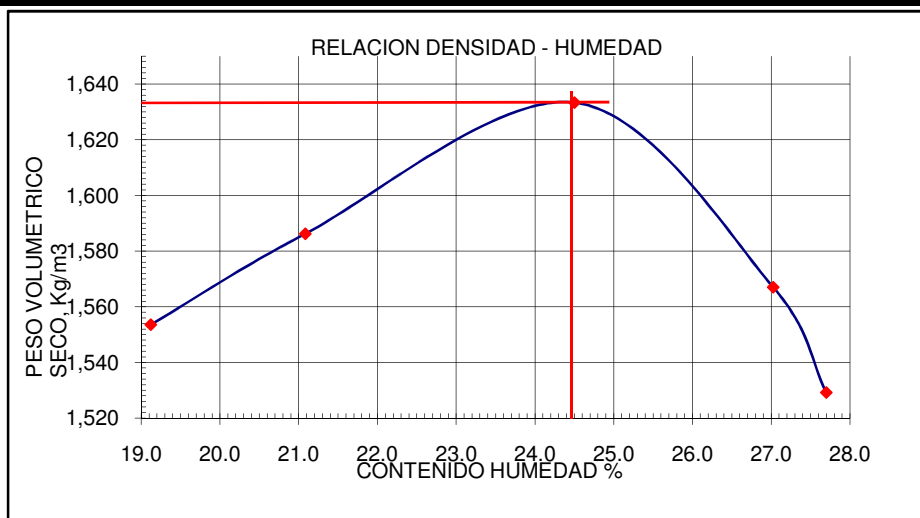
SOLICITANTE:	UPC CEMENTO DE EL SALVADOR	REF.	
PROYECTO:	CUS18E: Tramo SUCHITOTO - DESVIO CUS11N	METODO	A
UBICACION:	CUSCATLAN	MARTILLO:	10 lb
FECHA MUESTREO:	07 de Octubre de 2009	GOLPES P/CAPA	25/5
FECHA DE ENSAYO:	04 - 05 Noviembre-09	LABORAT.:	V.R.; D.A
ESTACIÓN:	0 + 442 LI	REVISO: .	J.Hernández
OBSERVACIONES:	Material del pozo 1 (07 - 77) cm		

PESO UNITARIO

ENSAYO No.	1	2	3	4		OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATORIO	12%	14.0%	17%	20.0%	22%	
AGUA AGREGADA (C.C)	300	350	425	500	550	
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	5960	6025	6130	6090	6055	Masa de la muestra h:
PESO MOLDE (g)	4240	4240	4240	4240	4240	2500 g
PESO MUES. HUMEDA (g)	1720	1785	1890	1850	1815	% H 9.1
CAPACIDAD MOLDE (cm ³)	929.4	929.4	929.4	929.4	929.4	Masa de la muestra seca
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³)	1851	1921	2034	1991	1953	2291.5 g
PESO VOL. SECO (kg/m ³)	1,554	1,586	1,633	1,567	1,529	

HUMEDAD

RECIPIENTE No.	I	S	C	Y	Z	OBSERVACIONES
PESO HUMEDO+TARA (grs)	600.1	644.1	523.7	637.7	605.9	
PESO SECO + TARA (grs)	530.8	561.1	453.6	537.2	510.5	15 %, C-91
PESO AGUA (grs)	69.3	83.0	70.1	100.5	95.4	
TARA (grs)	168.4	167.4	167.5	165.3	166.1	
PESO SECO (grs)	362.4	393.7	286.1	371.9	344.4	
% HUMEDAD	19.1	21.1	24.5	27.0	27.7	



P.V.H. max.=	2031
P.V.S. max.=	1633
% De Humedad Optima	24.4



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Centro de Investigaciones ISCYC

Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,
Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD AASHTO T - 180

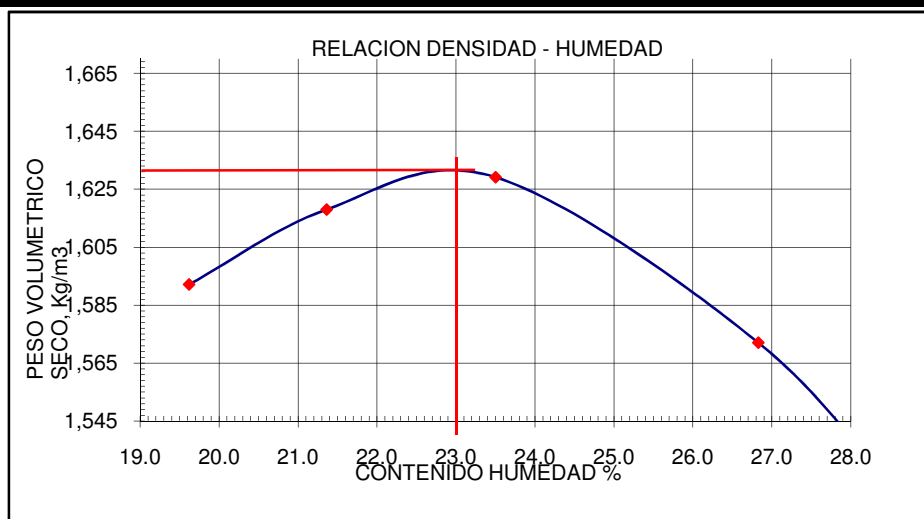
SOLICITANTE:	UPC CEMENTO DE EL SALVADOR	REF.	
PROYECTO:	CUS18E: Tramo SUCHITOTO - DESVIO CUS11N	METODO	A
UBICACION:	CUSCATLAN	MARTILLO:	10 lb
FECHA MUESTREO:	07 de Octubre de 2009	GOLPES P/CAPA	25/5
FECHA DE ENSAYO:	04 - 05 Noviembre-09	LABORAT.:	V.R.; D.A
ESTACIÓN:	0 + 442 LI	REVISO: .	J.Hernández
OBSERVACIONES:	Material del pozo 1 (07 - 77) cm		

PESO UNITARIO

ENSAYO No.	1	2	3	4		OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATORIO	13%	15.0%	18%	21.0%	23%	
AGUA AGREGADA (C.C)	286	330	396	462	506	
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	6010	6065	6110	6093	6050	Masa de la muestra h:
PESO MOLDE (g)	4240	4240	4240	4240	4240	2200 g
PESO MUES. HUMEDA (g)	1770	1825	1870	1853	1810	% H 9.0
CAPACIDAD MOLDE (cm ³)	929.4	929.4	929.4	929.4	929.4	Masa de la muestra seca
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³)	1904	1964	2012	1994	1947	2018.3g
PESO VOL. SECO (kg/m ³)	1,592	1,618	1,629	1,572	1,511	

HUMEDAD

RECIPIENTE No.	B	D	O	E	4	OBSERVACIONES
PESO HUMEDO+TARA (grs)	615.3	643.4	537.4	500.9	512.3	
PESO SECO + TARA (grs)	541.9	560.3	450.3	412.1	416.3	20 %, C-91
PESO AGUA (grs)	73.4	83.1	87.1	88.8	96.0	
TARA (grs)	167.8	171.3	79.7	81.1	83.5	
PESO SECO (grs)	374.1	389.0	370.6	331.0	332.8	
% HUMEDAD	19.6	21.4	23.5	26.8	28.8	



P.V.H. max.=	2006
P.V.S. max.=	1631
% De Humedad Optima	23



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva 3a. Etapa Av. El espino y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan

La Libertad, Tel. 2505-0162, Fax. 2505-0164

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE PUAD

SOLICITANTE : U P C - CEMENTO DE EL SALVADOR
PROYECTO : CUS18E : Tramo SUCHITOTO - DESVIO CUS11N
UBICACIÓN : CUSCATLAN
TIPO DE MUESTRA: Suelo
ESTACIONAMIENTO : 0 + 442 LI, material del Pozo 1 (07 - 77)cm
FECHA DE MUESTREO: 07 DE Octubre de 2009
LABORATORISTAS: D.A., V.R.
REVISO: Julio Hernández
OBSERVACIONES: Muestreo realizado por personal de Laboratorio del ISCYC
Cilindros elaborados con 4 capas vibro-compactadas, 40 s de compactación c/u

CILINDRO No.	FECHA Elab.	FECHA Ruptura	EDAD (días)	REV. (pulg)	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PES-VOL (Kg/m ³)	CARGA (Kg)	RESIST (Kg/cm ²)
11 %, C - 91,											
1	10-nov-09	17-nov-09	7	---	10.0	20.4	78.5	3205	2000	490	6.2
2	10-nov-09	17-nov-09	7	---	10.0	20.4	78.5	3186	1989	470	6.0
3	10-nov-09	17-nov-09	7	---	10.0	20.4	78.5	3198	1996	460	5.9
										Promedio	6.0
15 %, C - 91,											
1	10-nov-09	17-nov-09	7	---	10.0	20.3	78.5	3138	1968	750	9.5
2	10-nov-09	17-nov-09	7	---	10.0	20.3	78.5	3156	1980	890	11.3
3	10-nov-09	17-nov-09	7	---	10.0	20.3	78.5	3156	1980	770	9.8
										Promedio	10.2
20 %, C - 91,											
1	10-nov-09	17-nov-09	7	---	10.0	20.3	78.5	3230	2026	1290	16.4
2	10-nov-09	17-nov-09	7	---	10.0	20.3	78.5	3220	2020	1380	17.6
3	10-nov-09	17-nov-09	7	---	10.0	20.3	78.5	3215	2017	1370	17.4
										Promedio	17.1

FORMULAS:

Peso Volumétrico: $\text{Peso}(\text{grs.}) / \text{Alt}(\text{cms}) * \text{Area}(\text{cm}^2) * 1000 =$

Kg / m³

Resistencia a la Compresión : $\text{Carga}(\text{Kgs.}) / \text{Area}(\text{Cm}^2) =$

Kg / Cm²



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Laboratorio de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El espino y Boulevard Sur Antiguo
Cuscatlan, La Libertad Tel.2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164

ESFUERZO DE FLEXION EN CONCRETO (USANDO VIGA SIMPLE CON CARGA AL TERCIO) ASTM C-78

SOLICITANTE : U P C - CEMENTO DE EL SALVADOR
PROYECTO : CUS18E : Tramo SUCHITOTO - DESVIO CUS11N
UBICACIÓN : CUSCATLAN
TIPO DE MUESTRA: Suelo
ESTACIONAMIENTO : 0 + 442 LI, material del Pozo 1 (07 - 77)cm
Fecha de Muestreo : 07 DE Octubre de 2009
LABORATORISTAS: D.A., V.R.
REVISOR: Julio Hernández
OBSERVACIONES: Muestreo realizado por personal de Laboratorio del ISCYC
Vigas elaborados con vibro-compactador

HOJA DE LABORATORIO

VIGA No.	FECHA elaboración	FECHA Ruptura	EDAD (días)	REV. (cm)	CLARO (L) (cm)	ANCHO (b) (cm)	Profundidad (d) (cm)	MASA (g)	CARGA (P) (kg)	MR (kg/cm ²)
Contenido de Cemento 15%										
1	19/11/09	26/11/09	7	--	45.5	15.3	15.3	---	500	6.4
2	19/11/09	26/11/09	7	--	45.5	15.3	15.3	---	550	7.0
									Prom	6.7
Contenido de Cemento 20%										
1	20/11/09	27/11/09	7	--	45.5	15.3	15.4	---	710	8.9
2	20/11/09	27/11/09	7	--	45.5	15.2	15.5	---	600	7.5
									Prom	8.2

FORMULAS:

Peso Volumétrico: $Masa (g) / [Alto(cm) \times Largo(cm) \times Ancho(cm) \times 1000] =$ **kg/m³**
Modulo de Ruptura: $Carga (kg) \times Claro(cm) / Ancho(cm) \times [Profundidad(cm)]^2 =$ **kg/cm²**
1 MPa= 9.81 kg/cm²

$$MR = \frac{PL}{bd^2}$$

PROYECTO :	MANTENIMIENTO RUTINARIO DEL GRUPO 8 DE VÍAS NO PAVIMENTADAS UBICADAS EN LA ZONA CENTRAL NORTE DE EL SALVADOR
CONTRATISTA :	CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS DIVERSOS S.A. DE C.V.
SUPERVISIÓN:	HIDRODESARROLLO
CONTRATO:	CO-035/2009
TRAMO:	CUS18E: Suchitoto - Dv CUS11N
ACTIVIDAD:	UNICAPA

CONTROL DE COMPACTACION EN EL CAMPO (METODO CONO Y ARENA, ASTM D 1556, AASHTO T 191)

Ensayo N°	1	2	3	4	5			
Chequeos	14 CICLOS							
Fecha	16-feb-10	17-feb-10						
Ruta	CUS18E	CUS18E						
Estación	0+430	0+540						
Ubicación	Lat. Der.	Lat. Izq.						
Normal	1.50	1.50						
Elevación de Superficie, m	Rasante	Rasante						
Prof. del agujero, cm	12.0	12.0						
Peso inicial de Arena + Tara, g	5500	5500						
Peso final de Arena + Tara, g	576	1324						
Peso arena colocada, g	4924	4176						
Volumen de arena colocada, cm ³	3713	3149						
Volumen de cono, cm ³	1153	1153						
Volumen de la cala, cm ³	2560	1996						
Peso de suelo humedo extraido, g	4882	3794						
P.Vol. Humedo, Kg/m ³	1907	1900						
P.Vol. Seco, Kg/m ³	1583	1573						
P.Vol. Seco corregido, Kg/m ³								
P.Vol. Seco Máximo, Kg/m ³	1631	1631						
% W optimo	23.0	23.0						
P.Vol.de arena, Kg/m ³	1326	1326						
Grado de Compactación, %	97.0	96.5						
% material retenido en campo								
Compactación Corregida, %								
HUMEDADES								
Recipiente N°.	1	1						
Peso Suelo Hum.+ Tara, g	492.0	452.0						
Peso Suelo Seco+ Tara, g	424.0	390.0						
Peso Tara, g	92.0	92.0						
Peso de suelo seco, Ws	332.0	298.0						
Peso de agua, Wagua	68.0	62.0						
Contenido de Agua, %	20.5	20.8						

OBSERVACIONES: Se compacto con once ciclos con rodo pata de cabra y

Se compacto con tres ciclos con rodo liso

F. _____
ING. JOSE LUIS OSEGUEDA SALVADOR
ING. CONTROL DE CALIDAD

F. _____
ING. SANTIAGO HERNANDEZ
ING. DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

ANEXOS

ANEXO 6:

RESULTADO DE ENSAYOS METODO “SUELO+CAL”



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera

Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com

OT	15135
FECHA	2010-03-08
PÁGINA	1 DE 1
ÁREA DE LAB.	QC

Ciente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	EL SALVADOR
Dirección	----	Muestra	CAL HIDRATADA
Contacto	ING. MARCO VINICIO CARBALLO	Analista(s)	RAÚL GÓMEZ
Teléfono	----	Fecha de Ensayo	2010-03-08

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO

ANÁLISIS QUÍMICO

MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X*

COMPOSICIÓN QUÍMICA**	
SiO ₂ , %	1.75
Fe ₂ O ₃ , %	0.11
Al ₂ O ₃ , %	0.37
CaO, %	67.77
MgO, %	2.88
K ₂ O, %	0.08
Na ₂ O, %	0.00
SO ₃ , %	0.89
P ₂ O ₅ , %	0.00
TiO ₂ , %	0.00
Cr ₂ O ₃ , %	0.05
MnO, %	0.00
LOI (950 °C), %	25.22
Total, %	99.12

* El ensayo se realizó en el Laboratorio de Control de Calidad de Cementos Progreso.

** Expresada como porcentaje en masa (w/w).

Analista

Ing. Mario de León.
Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.



Laboratorio Central
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT: 14551-1
FECHA DE OT: 2010/02/15
PAGINA: 1 DE 1
IMPRESION: 2010/02/17

CLIENTE:	ASESORIA TECNICA DIVISION COMERCIAL
CONTACTO:	ING. EMILIO PUENTE
MUESTRA:	ARCILLA CAFÉ
PROCEDENCIA:	SUCHITOTO
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA, FOVIAL, SUCHITOTO EL SALVADOR

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

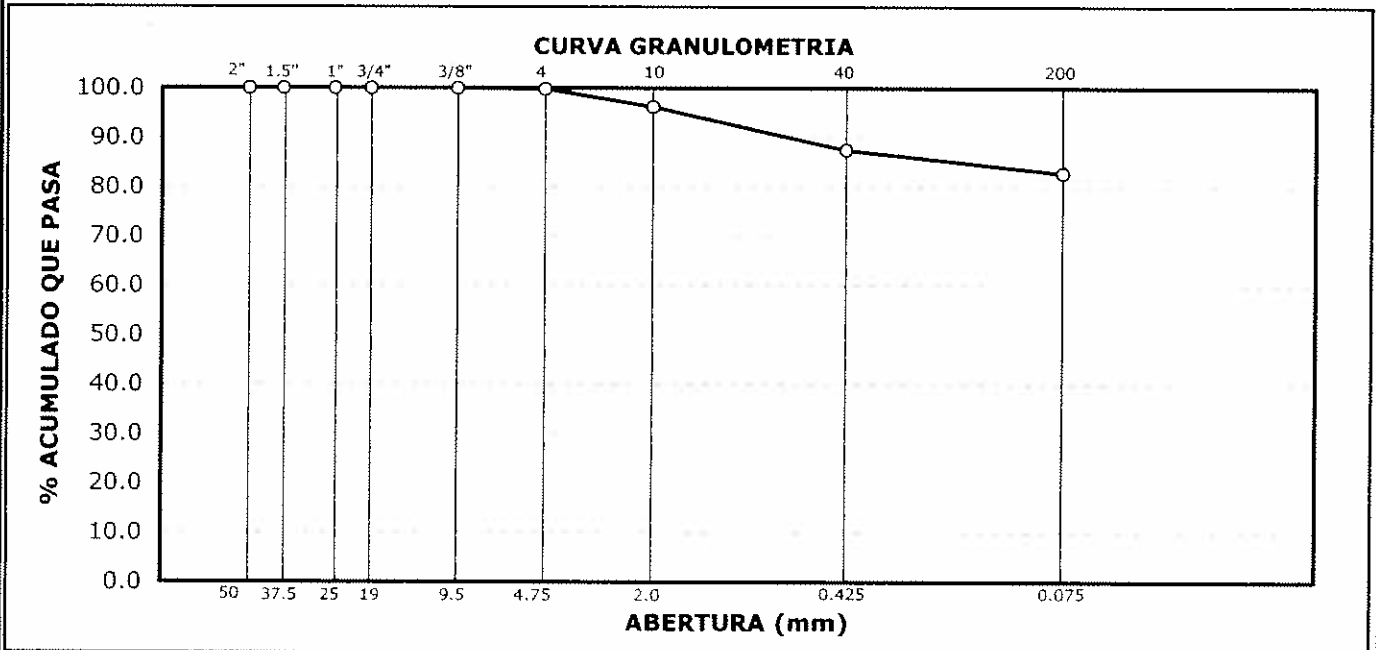
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

NORMA: AASTHO T- 311

RESULTADOS	
Grava (%):	3.8
Arena (%):	13.4
Finos (%):	82.8
Mus (Kg/m³):	898.3
Clasificación SCU :	OL
Clasificación PRA :	A-7-5
Materia Orgánica	-
COEFICIENTE UNIFORMIDAD:	-
COEFICIENTE CURVATURA:	-

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
2"	50.000	100.0
1 1/2"	37.500	100.0
1"	25.000	100.0
3/4"	19.000	100.0
3/8"	9.500	100.0
Nº4	4.750	99.8
Nº10	2.000	96.2
Nº40	0.425	87.5
Nº200	0.075	82.8

DESCRIPCION DEL MATERIAL: **ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO**




ANALISTA


 Ing. Mario de León M.
JEFE DE LABORATORIO

Observaciones:

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC



Laboratorio Central
Centro Tecnológico
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 22864178 email: cetec@cempro.com

OT:	14551-1
FECHA OT:	2010/02/15
PAGINA:	1 DE 1
IMPRESION:	2010/02/17

CLIENTE:	ASESORIA TECNICA DIVISION COMERCIAL
CONTACTO:	ING. EMILIO PUENTE
MUESTRA:	ARCILLA CAFÉ
PROCEDENCIA:	SUCHITOTO
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA, FOVIAL, SUCHITOTO EL SALVADOR

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

LIMITES DE ATTERBERG

NORMA: AASHTO T-89 Y T-90

RESULTADOS	
METODO UTILIZADO:	B
NO. DE ENSAYO:	1
% LIMITE LIQUIDO:	46
% LIMITE PLASTICO:	33
% INDICE DE PLASTICIDAD:	13
CLASIFICACION DEL SUELO:	OL

DESCRIPCION DEL SUELO:

ARCILLA LIMO ARENOSA COLOR ROJO


ANALISTA


Ing. Mario de León M.
JEFE DE LABORATORIO

Observaciones: _____



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@compro.com

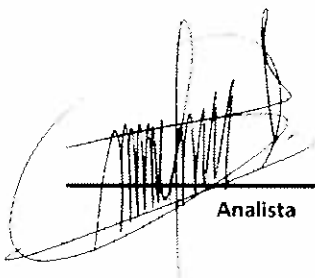
OT	14551
FECHA	2010-02-15
PÁGINA	1 DE 1
ÁREA DE LAB.	QC

Cliente	DIVISION COMERCIAL	Procedencia	SUCHITOTO
Dirección	---	Muestra	ARCILLA CAFÉ
Contacto	ING. EMILIO PUENTE	Analista(s)	EMMANUEL MONTUFAR
Teléfono	---	Fecha de Ensayo	2010-02-16

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO

ANÁLISIS DE pH

No.	Id. De Muestra	pH
1	CAL HORCALSA	13.08
2	ARCILLA	8.80
3	ARCILLA + 2% CAL	12.53
4	ARCILLA + 4% CAL	13.04
5	ARCILLA + 6% CAL	13.10



Analista



X Ing. Mario de León.
Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.



Laboratorio Central
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 22864178 email: cetec@cempro.com

OT:	14551-1
FECHA OT:	2010/02/15
PAGINA:	1 DE 1
IMPRESION:	2010/02/17

CLIENTE:	ASESORIA TECNICA DIVISION COMERCIAL
CONTACTO:	ING. EMILIO PUENTE
MUESTRA:	ARCILLA CAFÉ
PROCEDENCIA:	SUCHITOTO
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA, FOVIAL, SUCHITOTO EL SALVADOR

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

LIMITES DE ATTERBERG

NORMA: AASHTO T-89 Y T-90

RESULTADOS	
METODO UTILIZADO:	B
NO. DE ENSAYO:	1
% LIMITE LIQUIDO:	-
% LIMITE PLASTICO:	-
% INDICE DE PLASTICIDAD:	-
CLASIFICACION DEL SUELO:	ML

DESCRIPCION DEL SUELO:

LIMO ARENOSO COLOR ROJO CON EL 4% DE CAL HORCALSA, SUELO NO PLASTICO


ANALISTA


 Ing. Mario de Leon M.
JEFE DE LABORATORIO

Observaciones: _____

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.



Laboratorio Central
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT:	15049
FECHA OT:	2010/02/23
PAGINA:	1 DE 1
IMPRESION:	2010/03/09

CLIENTE:	ASESORIA TECNICA DIVISION COMERCIAL
CONTACTO:	ING. EMILIO TAGER
MUESTRA:	ARCILLA CAFÉ
PROCEDENCIA:	SUCHITOTO, EL SALVADOR
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA, FOVIAL, SUCHITOTO, EL SALVADOR

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

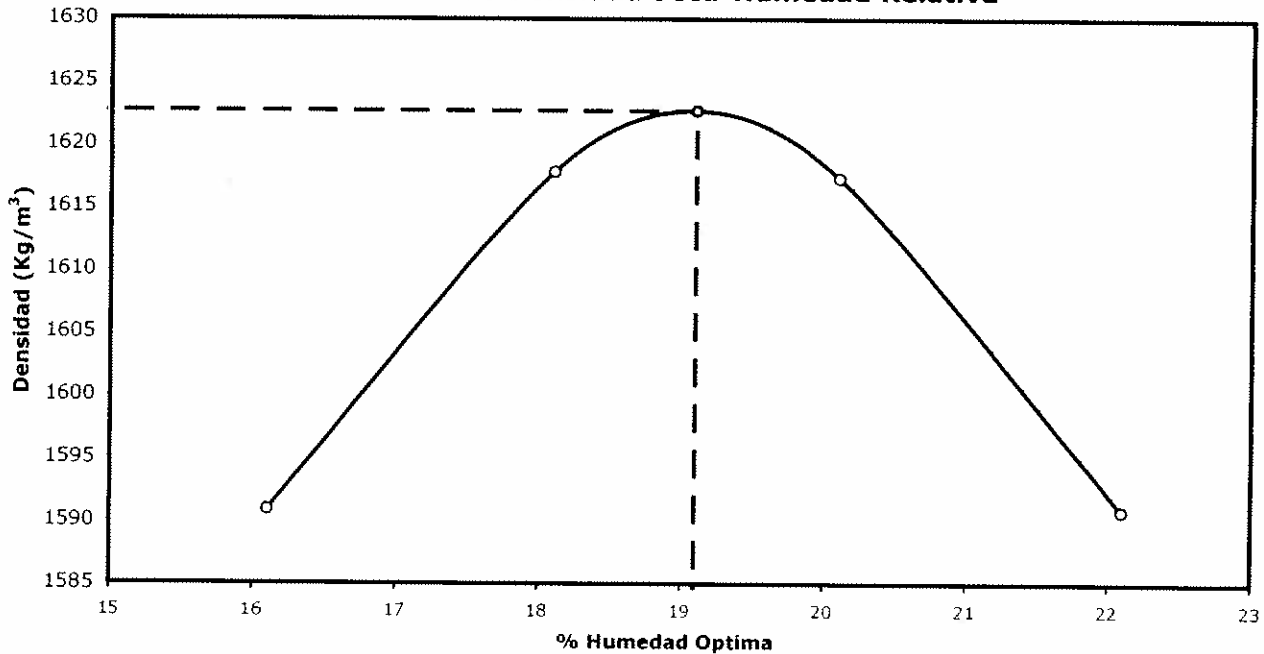
RELACION HUMEDAD OPTIMA - DENSIDAD MAXIMA

ESTANDAR AASHTO T-99 MODIFICADO AASHTO T-180

DATOS DE ENSAYO

HUMEDAD OPTIMA %: 19.1 METODO UTILIZADO: C
 DENSIDAD SECA MAXIMA: 101 Lb/pie³. 1623 kg/m³.
 DESCRIPCION DEL SUELO: **ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 4% DE HIDROXIDO DE CALCIO**

Gráfica de Densidad Seca-Humedad Relativa



ER
ANALISTA

Ing. Mario de Leon M.
JEFE DE LABORATORIO

Observaciones: _____

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC



Laboratorio Central
Centro Tecnológico
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT:	15049
FECHA OT:	2010/02/23
PAGINA:	1 DE 1
IMPRESION:	2010/03/09

CLIENTE:	ASESORIA TECNICA DIVISION COMERCIAL
CONTACTO:	ING. EMILIO PUENTE
MUESTRA:	ARCILLA CAFÉ
PROCEDENCIA:	SUCHITOTO, EL SALVADOR
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA, FOVIAL, SUCHITOTO, EL SALVADOR

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

RESISTENCIA A COMPRESION NO CONFINADA DE PROBETAS DE SUELO

ASTM C-1632 Y D-1633

DATOS DE ENSAYO

Fecha Hechura: 2010/03/01 Edad: 7 Fecha Rotura: 2010/03/08

No.	Masa (Kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Carga Maxima (KN)	Factor de Correccion	Resistencia Corregida por Esbeltez			Descripcion del material
						N/mm ²	Lb/pulg ²	Kg/cm ²	
1	1.82	101.9	117.0	15.5	0.905	1.7	249	18	ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 3% DE HIDROXIDO DE CALCIO
2	1.80	102.0	116.8	15.0	0.905	1.7	241	17	ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 3% DE HIDROXIDO DE CALCIO
3	1.81	102.0	116.7	18.0	0.905	2.0	289	20	ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 4% DE HIDROXIDO DE CALCIO
4	1.81	102.0	117.0	18.4	0.905	2.0	296	21	ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 4% DE HIDROXIDO DE CALCIO
5	-	-	-	-	-	-	-	-	ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 3% DE CEMENTO CESSA
6	-	-	-	-	-	-	-	-	ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 3% DE CEMENTO CESSA


ANALISTA


Ing. Mario de Leon M.
JEFE DE LABORATORIO

Observaciones:

LAS PROBETAS QUE CONTENIAN CEMENTO CESSA SE DESINTEGRARON AL SUMERGIRSE EN EL AGUA (SEGUN LO ESTABLECE LA NORMA)

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC

PROYECTO :	MANTENIMIENTO RUTINARIO DEL GRUPO 8 DE VÍAS NO PAVIMENTADAS UBICADAS EN LA ZONA CENTRAL NORTE DE EL SALVADOR						
CONTRATISTA :	CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS DIVERSOS S.A. DE C.V.						
SUPERVISIÓN:	HIDRODESARROLLO						
CONTRATO:	CO-035/2009						
TRAMO:	CUS18E: Suchitoto - Cinquera						
ACTIVIDAD:	ESTABILIZACION SUELO CAL						
CONTROL DE COMPACTACION EN EL CAMPO (METODO CONO Y ARENA, ASTM D 1556, AASHTO T 191)							
Ensayo N°	1	2	3	4	5		
Chequeos	4 CICLOS						
Fecha	17-mar-10						
Ruta	CUS18E						
Estación	0+365						
Ubicación	Lat. Izq.						
Normal	1.50						
Elevación de Superficie, m	Rasante						
Prof. del agujero, cm	12.0						
Peso inicial de Arena + Tara, g	5500						
Peso final de Arena + Tara, g	1124						
Peso arena colocada, g	4376						
Volumen de arena colocada, cm ³	3392						
Volumen de cono, cm ³	1214						
Volumen de la cala, cm ³	2178						
Peso de suelo humedo extraido, g	4014						
P.Vol. Humedo, Kg/m ³	1843						
P.Vol. Seco, Kg/m ³	1554						
P.Vol. Seco corregido, Kg/m ³							
P.Vol. Seco Máximo, Kg/m ³	1623						
% W optimo	19.1						
P.Vol.de arena, Kg/m ³	1290						
Grado de Compactación, %	95.7						
% material retenido en campo							
Compactación Corregida, %							
HUMEDADES							
Recipiente N°.	1						
Peso Suelo Hum.+ Tara, g	468.0						
Peso Suelo Seco+ Tara, g	409.0						
Peso Tara, g	92.0						
Peso de suelo seco, Ws	317.0						
Peso de agua, Wagua	59.0						
Contenido de Agua, %	18.6						

OBSERVACIONES: Se compacto con rodo de 10 ton, 2 ciclo liso

Se compacto con rodo de 10 ton , 2 ciclos vibrados, TRAMO DE 100ML

F. _____
ING. JOSE LUIS OSEGUEDA SALVADOR
ING. CONTROL DE CALIDAD

F. _____
ING. SANTIAGO HERNANDEZ
ING. DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

ANEXOS

ANEXO 7:

RESULTADO DE

ENSAYOS METODO

“SUELO+EMULSION”



ASFALCA S.A. DE C.V.

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE CALCULO PARA DETERMINAR PARAMETROS DE TRABAJO NECESARIOS EN CAMPO

PROYECTO: SUCHITOTO

FECHA : MARZO DE 2010

INGENIERO CONTROL DE CALIDAD:

LABORATORISTA:

DATOS FIJOS

Tipo de Emulsion:	CSS1h
% de Residuo de Emulsion	62
% de agua en Emulsion:	38
Peso Volumetrico Emulsion (kg/gal.)	3.89
Peso Volumetrico de Agua (kg/gal.)	3.785
Peso Volumetrico del agua (kg/m3)	1000

DATOS VARIABLES

No.	Descripcion	Simbologia	Cantidad	Unidad
1	Longitud del Tramo	L	75.00	mts
2	Ancho del Tramo	A	5.00	mts
3	Espesor de la capa	E	0.14	mts
4	Peso Volumetrico Seco Maximo	PVSM	1726.00	Kg/m3
8	Humedad Encontrada en Campo	Wcam	8.00	%
9	Humedad Optima de Compactacion	Wopt	13.96	%
14	% Optimo de Emulsion según Diseño	T.E. opt.	4.00	%
10	Humedad Requerida para incorporar al suelo	Wreq.	4.48	%
11	Tasa de Riego de Emulsion Requerida	T.R.Req.	2.48	Gals/m2

MEMORIA DE CALCULO

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
Area de trabajo	375.00	m2
Volumen de suelo	52.50	m3
Peso total de suelo	90615.00	kgs.
Peso agua requerida según W.opt.	12649.85	kgs.
Volumen Agua Requerida según W.opt.	3342.10	Gals.
Peso Emulsion requerida según diseño	3624.60	kgs.
Volumen Emulsion Requerida según Diseño	931.77	Gals.
Volumen de agua presente en Emulsion	354.07	Gals.
Volumen Agua encontrada en Campo	1915.24	Gals.
Volumen Final Agua Req. (Restando: Agua de Emulsion y Campo)	1072.78	Gals.
Peso de Agua Final Requerida para Incorporar al suelo	4060.48	kgs.

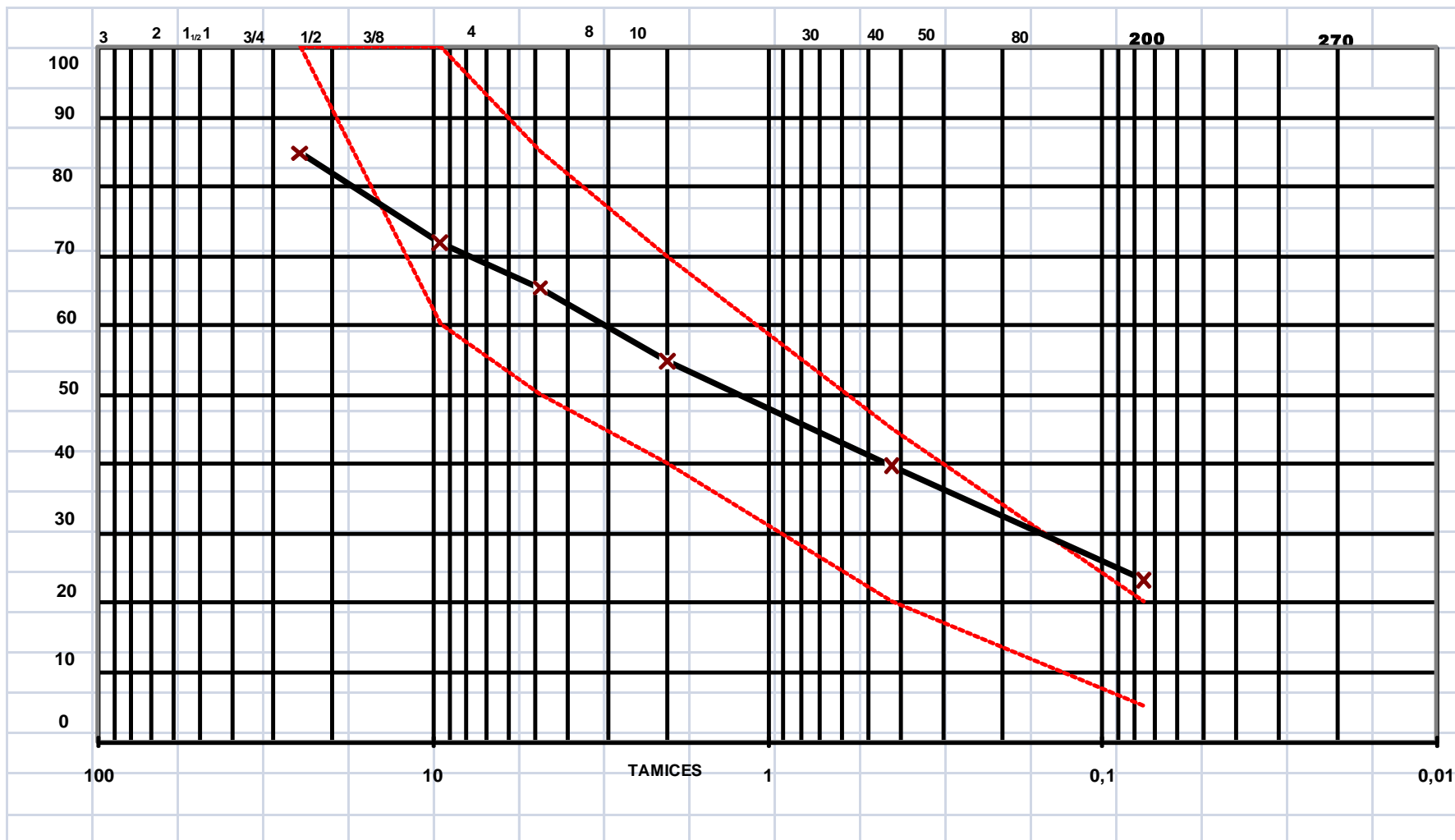
Datos de Entrada Variables

Datos de Entrada Fijos

Datos Auxiliares de Calculo

Datos Necesarios en Campo

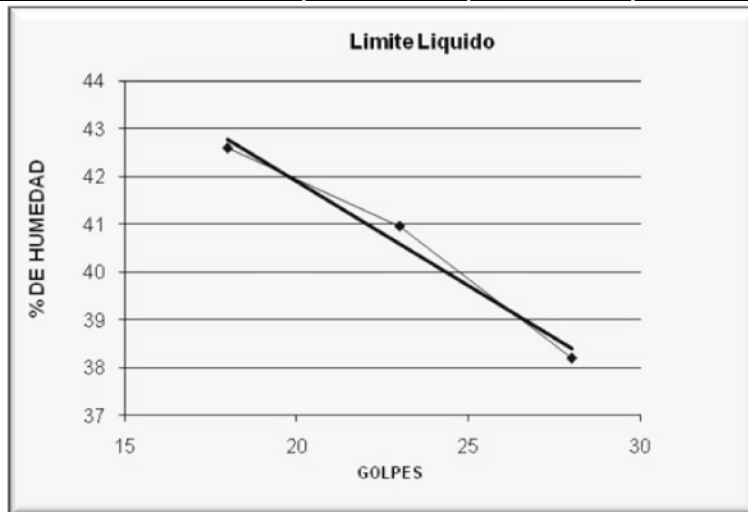
Granulometría



TAMIZ	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1/2"	3/8"	4	8	16	40	50	100	200	P200
PESO RET.			262	331	914,5	165,5	393	462	491,5	580	149	462	365	47
% RET.	0,0	0,0	4,4	5,5	15,3	2,8	6,6	7,7	8,2	9,7	2,5	7,7	6	1
% PASA	100	100	96	90	75	72	65	58	49	40	37	29	23	

Limites de Consistencia

	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
ENSAYO No								
Recipiente No	5	7	10			10	11	12
Golpes	28	23	18					
P Suelo W + Recip Gs.	23,8	21,58	21,95			20,71	20,9	21,48
P. Suelo Seco + Recip Gs.	20,95	19,29	19,36			19,17	19,32	19,67
P. Agua	2,85	2,29	2,59			1,54	1,58	1,81
Peso Recipiente	13,49	13,7	13,28			13,56	13,52	13,24
P. Suelo Seco Gs.	7,46	5,59	6,08			5,61	5,8	6,43
% de humedad.	38,20	40,97	42,60			27,5	27,2	28,1
						27,61		

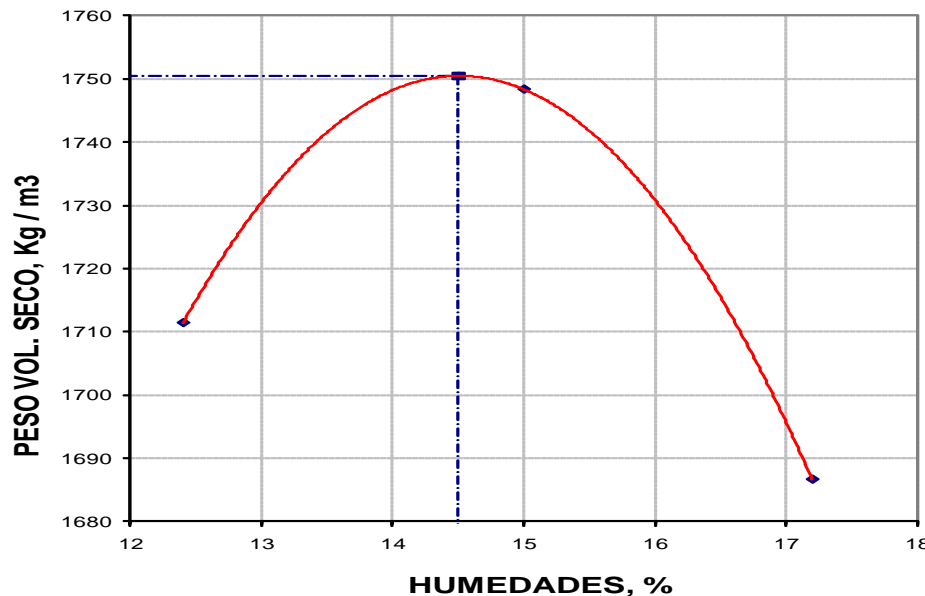


LIMITE LIQUIDO	39,90
LIMITE PLASTICO	27,61
INDICE PLASTICO	12,29

AASHTO	
CLASIFICACION	
A2-6	

Relación densidad-humedad del material con el 4% de emulsión

Ensayo No.	1	2	3	4	5	Tara No.	1	2	3	4	5	
Peso Muestra Seca	3000	3000	3000									
% Agua de proyecto	6%	8%	10%			% Agua de proyecto	8%	10%	12%			
Agua de proyecto, cc	180	240	300									
P. s. humedo + molde (g)	6348	6430	6398			Peso T + peso Suelo H., g	554,0	506,0	551,0			Valores
Peso del molde, (g)	4534	4534	4534			Peso T + peso Suelo Seco, g	501,0	450,0	481,0			Proctor
Peso de suelo húmedo, (g)	1814	1896	1864			Peso Tara, g	72,0	78,0	73,0			
Vólumen del molde, (cm ³)	943	943	943			Peso agua, g	53,0	56,0	70,0			
P. Vol. Humedo, (Kg/m ³)	1924	2011	1977			Peso Suelo Seco	429,0	372,0	408,0			
P. Vol. Seco, (Kg/m ³)	1711	1748	1687			Contenido de agua, (%)	12,4	15,0	17,2			14,5
						P. Vol. Seco, (Kg/m ³)	1711	1748	1687			1751



CALCULOS POR COMPUTADORA

PESO VOL. SECO MAX: **1751** Kg/m³
Wopt = **14,5** %

DATOS CORREGIDOS POR SOBRE TAMAÑO 3/4"

PESO VOL. SECO MAX: _____ Kg/m³
Wopt = _____ %

METODOLOGIA _____ "C"
 No. Capas _____ 5
 No. Golpes/ capa _____ 25
 Molde _____ 4"

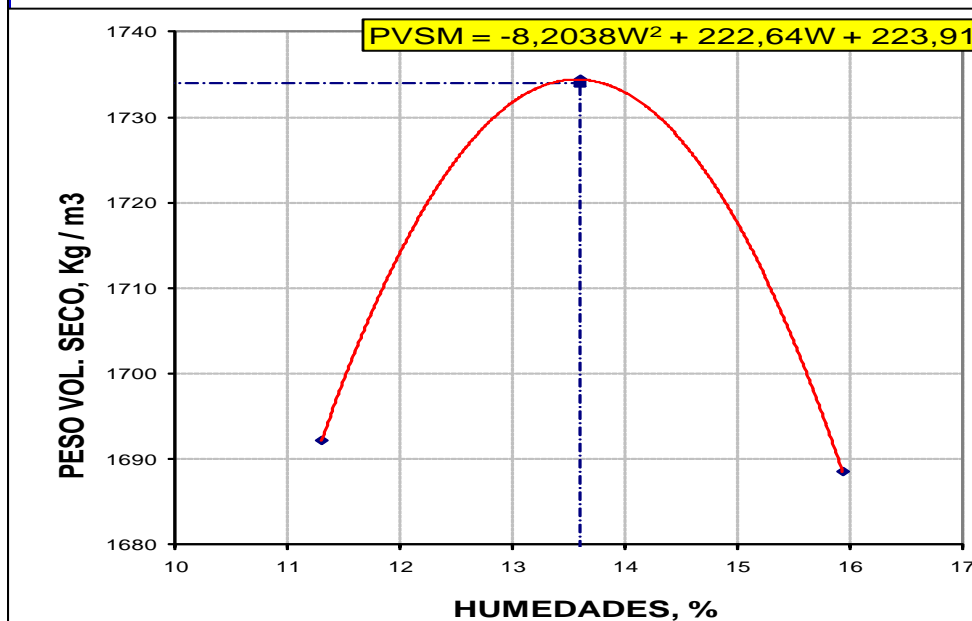
CLASIFICACION DEL SUELO

AASHTO _____
 SUCS _____
 VISUAL _____

TECNICO RESPONSABLE: MANUEL MAJICO
 INGENIERO CONTROL DE CALIDAD: ROBERTO AGUIRRE
 Fecha de muestreo : _____
 Fecha de rev. 17-feb-10

Relación densidad-humedad del material con el 6% de emulsión

Ensayo No.	1	2	3	4	5	Tara No.	1	2	3	4	5	
Peso Muestra Seca	3000	3000	3000									
% Agua de proyecto	4%	6%	8%			% Agua de proyecto	4%	6%	8%			
Agua de proyecto, cc	120	180	240									
P. s. humedo + molde (g)	6310	6392	6380			Peso T + peso Suelo H., g	507,0	442,0	517,0			Valores
Peso del molde, (g)	4534	4534	4534			Peso T + peso Suelo Seco, g	466,0	401,0	459,0			Proctor
Peso de suelo húmedo, (g)	1776	1858	1846			Peso Tara, g	104,0	99,0	95,0			
Vólumen del molde, (cm ³)	943	943	943			Peso agua, g	41,0	41,0	58,0			
P. Vol. Humedo, (Kg/m ³)	1883	1970	1958			Peso Suelo Seco	362,0	302,0	364,0			
P. Vol. Seco, (Kg/m ³)	1692	1734	1689			Contenido de agua, (%)	11,3	13,6	15,9			13,6
						P. Vol. Seco, (Kg/m ³)	1692	1734	1689			1734



CALCULOS POR COMPUTADORA

PESO VOL. SECO MAX: 1734 Kg/m³
Wopt = 13.6 %

DATOS CORREGIDOS POR SOBRE TAMAÑO 3/4"

PESO VOL. SECO MAX: _____ Kg/m³
Wopt = _____ %

METODOLOGIA "C"
 No. Capas 5
 No. Golpes/ capa 25
 Molde 4"

CLASIFICACION DEL SUELO

AASHTO _____
 SUCS _____
 VISUAL _____

TECNICO RESPONSABLE: MANUEL MAJICO

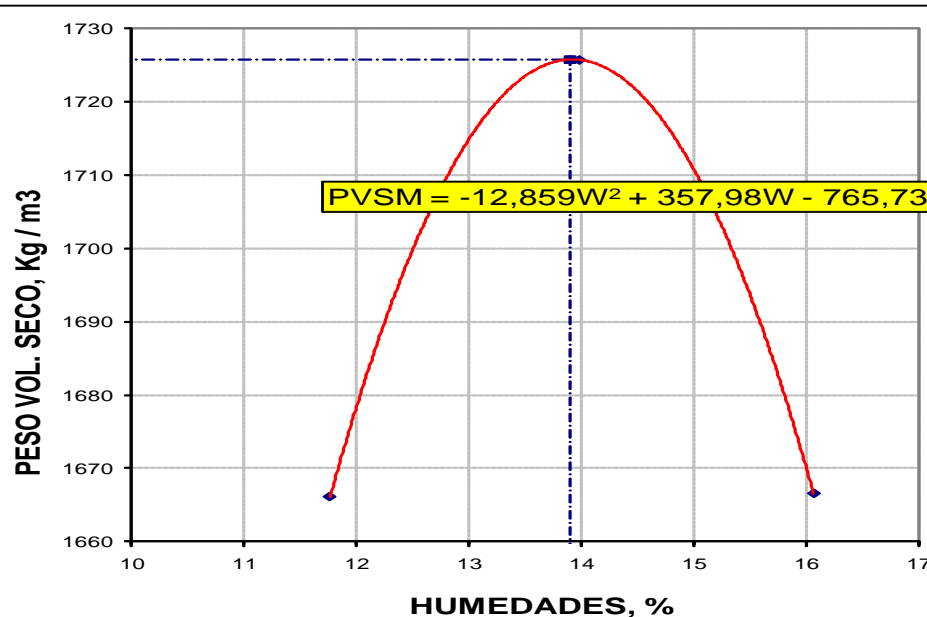
INGENIERO CONTROL DE CALIDAD: ROBERTO AGUIRRE

Fecha de muestreo :

Fecha de rev. 17-feb-10

Relación densidad-humedad del material con el 8% de emulsión

Ensayo No.	1	2	3	4	5	Tara No.	1	2	3	4	5	
Peso Muestra Seca	3000	3000	3000									
% Agua de proyecto	4%	6%	8%			% Agua de proyecto	4%	6%	8%			
Agua de proyecto, cc	120	180	240									
P. s. humedo + molde (g)	6290	6389	6358			Peso T + peso Suelo H., g	484,0	628,0	580,0			Valores
Peso del molde, (g)	4534	4534	4534			Peso T + peso Suelo Seco, g	444,0	575,0	513,0			Proctor
Peso de suelo húmedo, (g)	1756	1855	1824			Peso Tara, g	104,0	196,0	96,0			
Vólumen del molde, (cm ³)	943	943	943			Peso agua, g	40,0	53,0	67,0			
P. Vol. Humedo, (Kg/m ³)	1862	1967	1934			Peso Suelo Seco	340,0	379,0	417,0			
P. Vol. Seco, (Kg/m ³)	1666	1726	1667			Contenido de agua, (%)	11,8	14,0	16,1			13,9
						P. Vol. Seco, (Kg/m ³)	1666	1726	1667			1726



CALCULOS POR COMPUTADORA

PESO VOL. SECO MAX: $\frac{1726}{Kg/m^3}$
 Wopt = $13,9\%$

DATOS CORREGIDOS POR SOBRE TAMAÑO 3/4"

PESO VOL. SECO MAX: _____ Kg/m³
 Wopt = _____ %

METODOLOGIA _____ "C"
 No. Capas _____ 5
 No. Golpes/ capa _____ 25
 Molde _____ 4"

CLASIFICACION DEL SUELO

AASHTO _____
 SUCS _____
 VISUAL _____

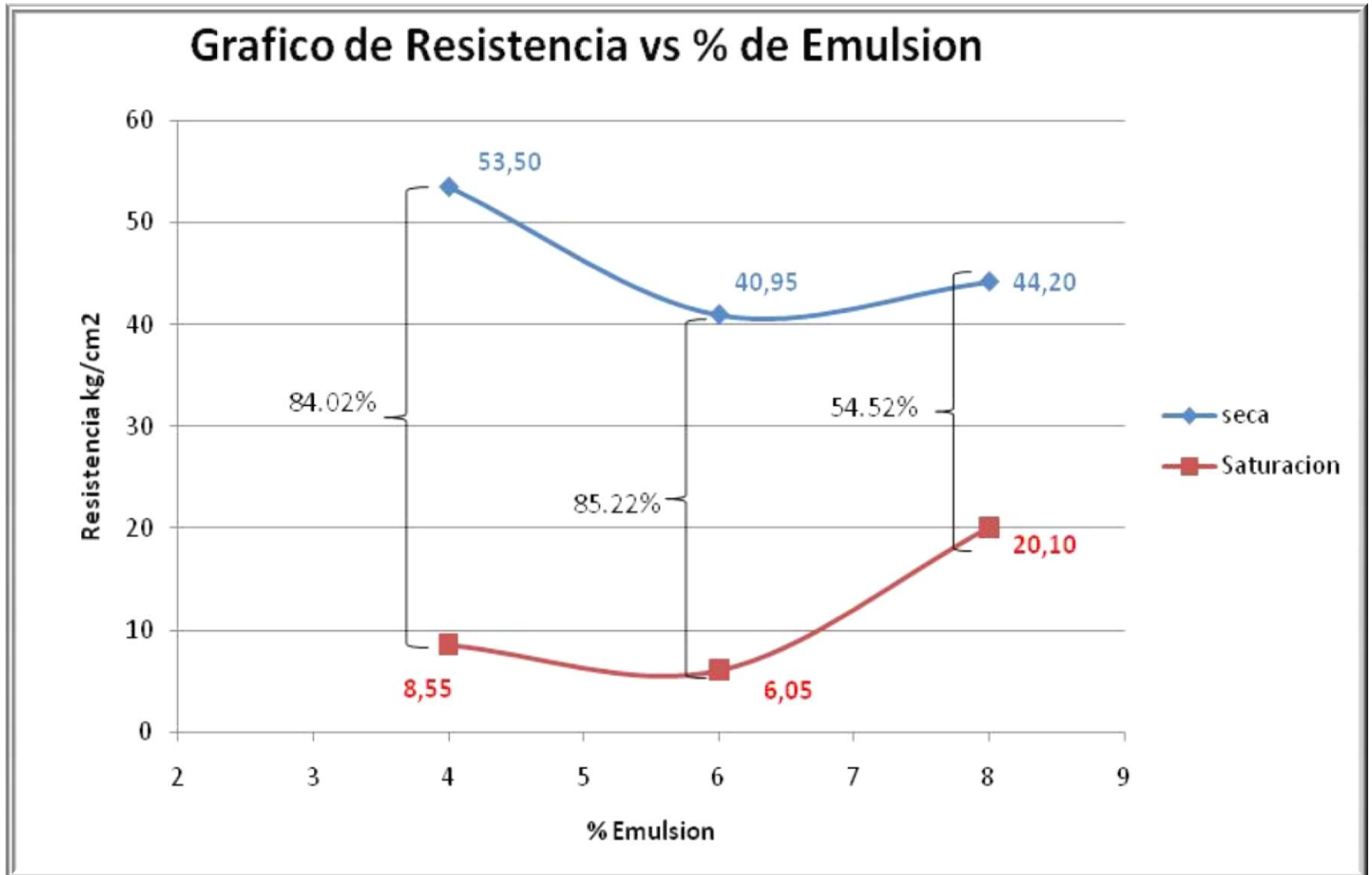
TECNICO RESPONSABLE: MANUEL MAJICO
 INGENIERO CONTROL DE CALIDAD: ROBERTO AGUIRRE

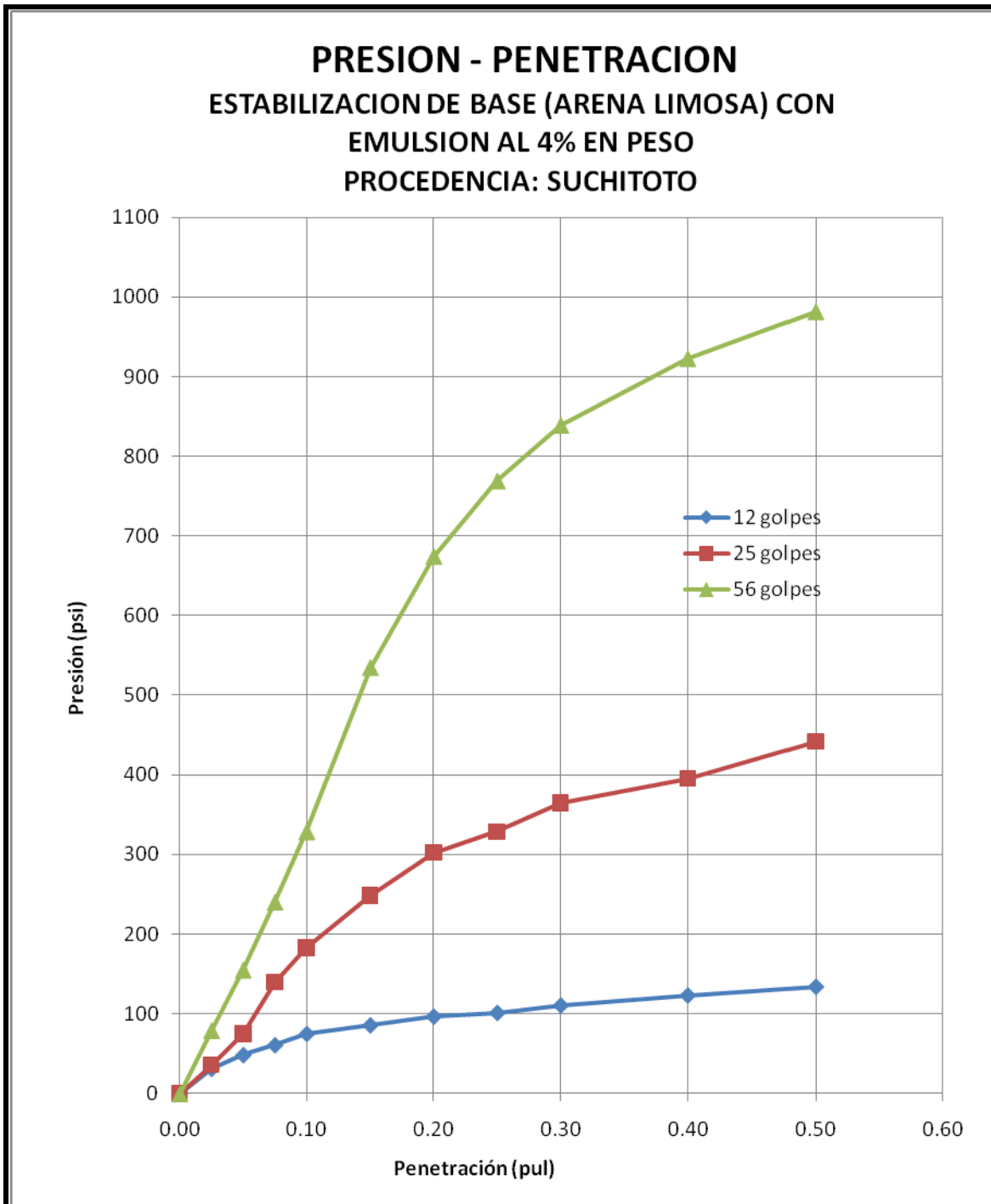
Fecha de muestreo :
 Fecha de rev. 17-feb-10

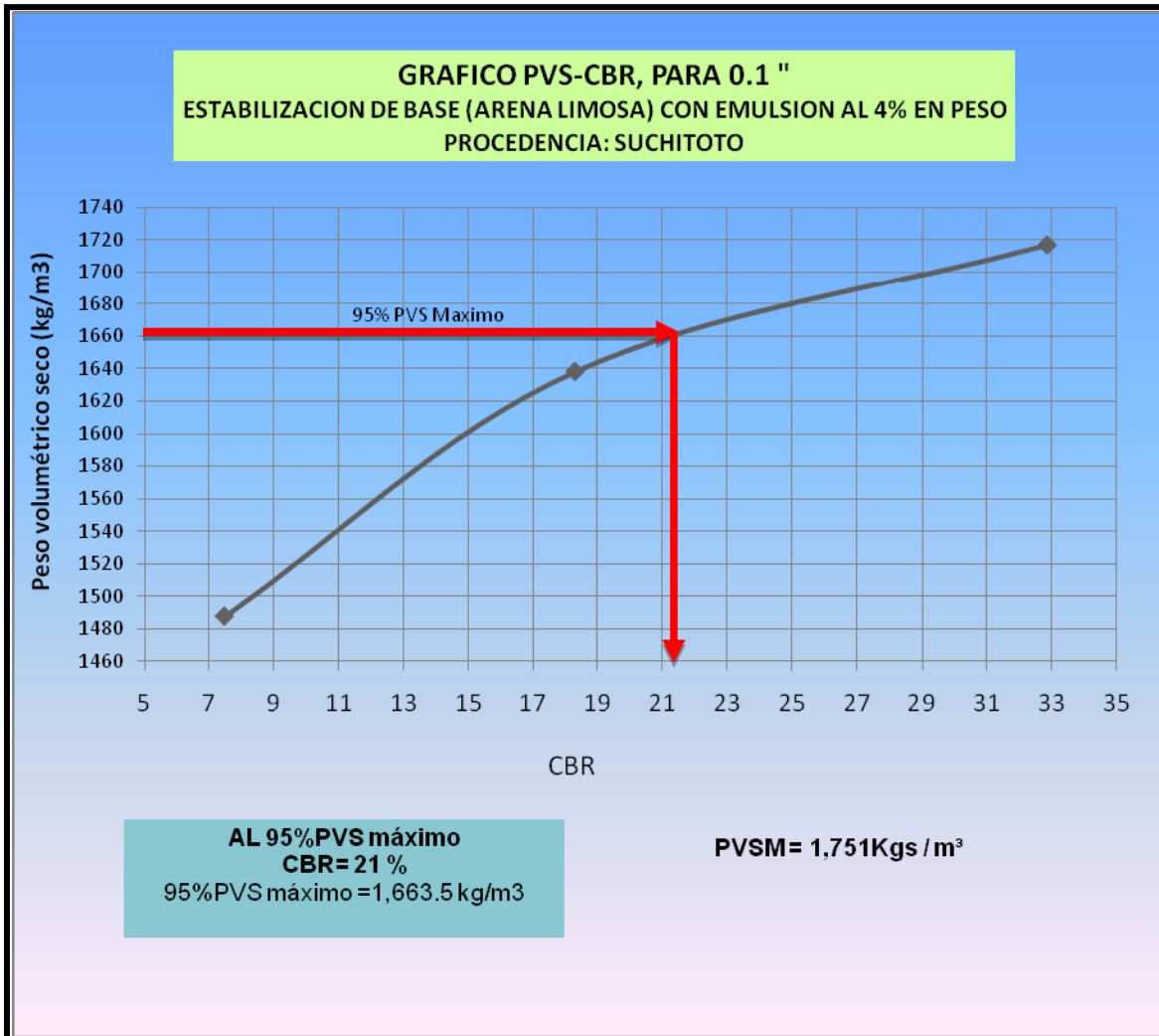
Resistencia a la compresión simple suelo - emulsión

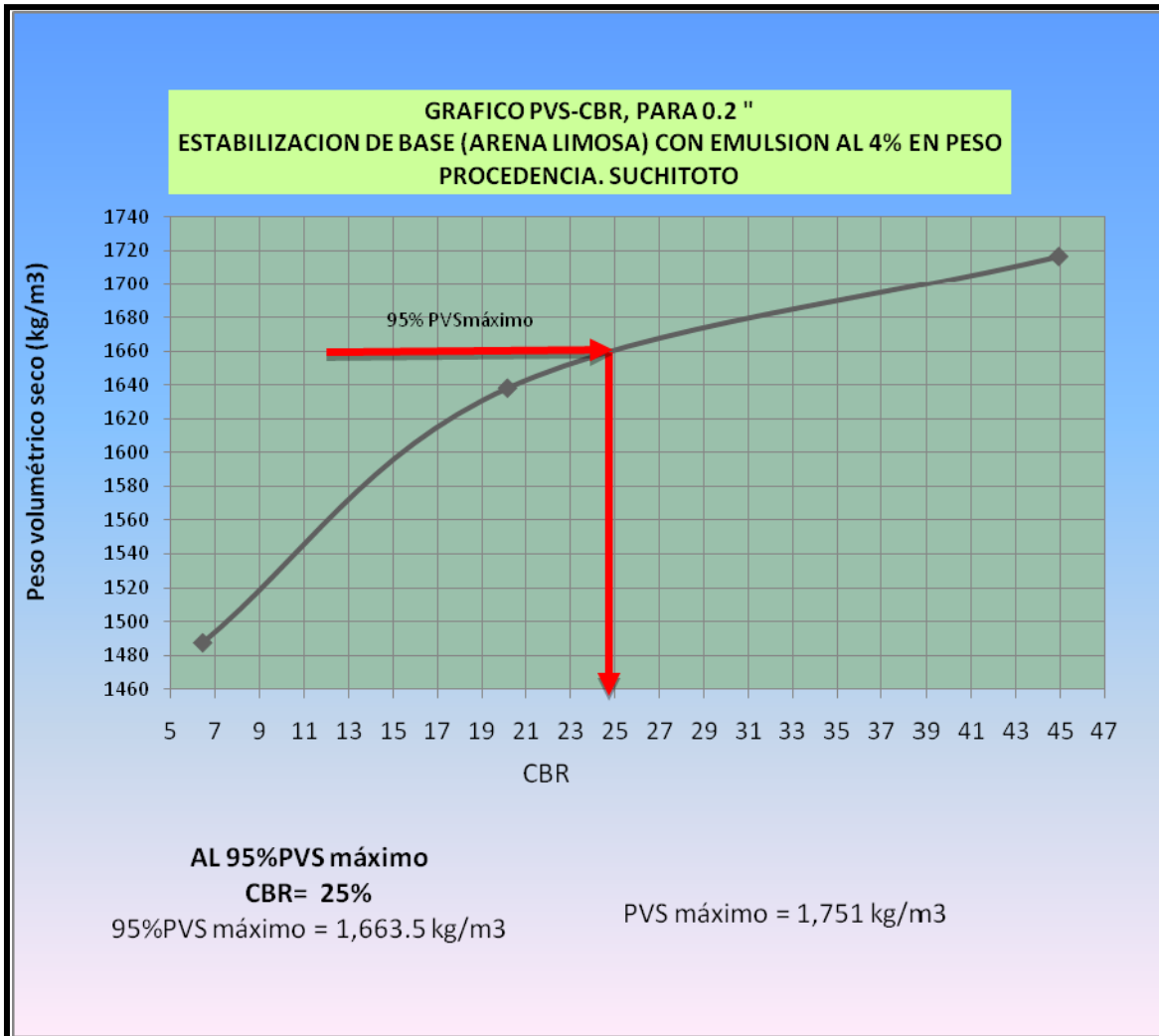
Resistencia a la compresión simple (seco y saturado)							
#	EMULSION	CONDICION	Ws	Wh	%absorción	Resistencia kg/cm ²	
						individual	promedio
1	4%	Seca	***	***	***	54,80	53,50
2	4%	Seca	***	***	***	52,20	
1	6%	Seca	***	***	***	38,00	40,95
2	6%	Seca	***	***	***	43,90	
1	8%	Seca	***	***	***	41,40	44,20
2	8%	Seca	***	***	***	47,00	
3	4%	Inmersion	1702,00	1738,20	2,13%	8,40	8,55
4	4%	Inmersion	1735,00	1743,70	0,50%	8,70	
3	6%	Inmersion	1670,00	1840,00	10,18%	6,20	6,05
4	6%	Inmersion	1696,00	1842,80	8,66%	5,90	
3	8%	Inmersion	1662,00	1765,00	6,20%	20,50	20,10
4	8%	Inmersion	1647,00	1767,30	7,30%	19,70	

Resistencia a la compresión simple









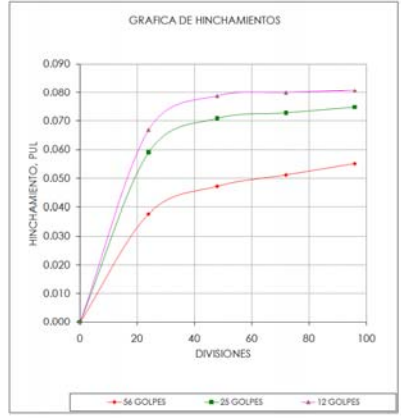
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES									
AVENIDA JAYAQUE Y CALLE COMASAGUA, N° 1-A, COLONIA JARDINES DE LA LIBERTAD, SANTA TECLA									
TELS: 2237-9520, 2237-9521 Fax = 2237-9526									
Proyecto: ESTABILIZACION DE BASE CON EMULSION AL 4%. SUCHITOTO									
Muestra No.: 1-A Material: BASE EMULSIFICADA AL 4% (ARENA LIMOSA CON EMULSION TIPO CSS-1h).									
Procedencia: SUCHITOTO Fecha elabora: 14-Abr-10									
Fecha de muestreo: 12-Abr-10 Fecha de ensayo: 22-Abr-10									
Elaboró: Juan Perez Revisó: ING. L.A.P									
RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) AASHTO T-193									
Molde No.	Molde 4 (56 golpes)	Molde 5 (25 golpes)	Molde 6 (12 golpes)	Molde #:	Molde 4	Molde #:	Molde 5		
Peso de Suelo, g	6000	6000	6000	Sobrecarga	10 lbs	Sobrecarga	10 Lbs		
Agua Agregada, ml	214	214	214	Hora y Fecha	Lect.	Pul	Hora y Fecha	Lect.	Pul
Peso Suelo Humedo + Molde, g	12680	12785	11345	15-Abr-10	0	0.000	15-Abr-10	0	0.000
Peso Molde, g	8480	8798	7721	16-Abr-10	96	0.038	16-Abr-10	150	0.059
Peso Suelo Humedo, g	4200	3987	3624	17-Abr-10	120	0.047	17-Abr-10	180	0.071
Capacidad Molde, cm³	2142	2144	2138	18-Abr-10	130	0.051	18-Abr-10	185	0.073
Contenido de Agua, %	14.2	13.5	13.9	19-Abr-10	140	0.055	19-Abr-10	190	0.075
Peso Volumetrico Humedo, Kg / m³	1961	1860	1695	Molde #:	Molde 6				
Peso Volumetrico Seco, Kg / m³	1717	1638	1488	Sobrecarga	10 lbs	95%PV\$max, Kg/m³		1443.5	
P.M.SAT.+Molde(antes de Penetrar), g	12850	13022	11694	Hora y Fecha	Lect.	Pul	HINCH.PROM. %		1.5330%
P.M.SAT.+Molde(después de pene), g	12845	13018	11675	15-Abr-10	0	0	VALORES PROCTOR		
P.M. Sat. Después de Penetracion, g	4365	4220	3954	16-Abr-10	170	0.067	PVSmax	1751	kg/m³
Peso Seco Calculado, g	3794	3600	3294	17-Abr-10	200	0.079	Wóplima	14.50	%
Peso Volumetrico Humedo (Saturado), Kg / m³	2038	1968	1849	18-Abr-10	203	0.080	0.95PVSmax	1663.5	kg/m³
Peso Volumetrico Seco (Saturado), Kg / m³	1771	1679	1541	19-Abr-10	205	0.081			
Recipiente No.	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES			
Peso Suelo Humedo + Tara, g	383.1	262.1	441.3	670.7	289.0	446.0			
Peso Suelo Seco + Tara, g	348.8	234.3	401.4	594.2	259.7	384.2			
Tara, g	107.5	49.6	106.2	149.6	49.6	75.5			
Peso de Agua, g	34.3	27.8	39.9	76.5	29.3	61.8			
Peso de Suelo Seco, g	241.3	184.7	295.2	444.6	210.1	308.7			
Contenido de Agua (%)	14.2	15.1	13.5	17.2	13.9	20.0			

Penetración en Pulgadas	Molde 4 (56 golpes)		Molde 5 (25 golpes)		Molde 6 (12 golpes)		VALORES CBR	
	Sobrecarga 10 lbs	Tipo RANURADA	Sobrecarga 10 lbs	Tipo RANURADA	Sobrecarga 10 lbs	Tipo RANURADA	PENET.(plg)	0.1
0.000	0	0	0	0	0	0	12 G	6.8
0.025	46	72	18	29	15	24	PENET.(plg) 0.2	
0.050	95	148	43	68	26	41	56 G	44.5
0.075	150	234	85	133	34	54	25 G	19.7
0.100	207	322	113	176	43	68	12 G	6.0
0.150	340	528	155	241	50	79	CBR CORREGIDOS	
0.200	430	667	190	296	57	89	56G para 0.1"	
0.250	491	762	207	322	60	94	56G para 0.2"	
0.300	536	832	230	358	66	103		
0.400	590	915	250	388	74	116		
0.500	628	974	280	435	81	127		

Comentario:

NOTA: LA MODIFICACION DEL CBR CONSISTE EN QUE DESPUES DE HABERSE COMPACTADO LOS ESPECIMENES, SE SECARON AL HORNO HASTA CONSEGUIR QUE PERDIERAN EL 60% DE LA HUMEDAD Y POSTERIORMENTE SE SATURO DURANTE 7 DIAS Y LUEGO PENETRACION)

Elaboró: Juan Perez
Revisó: ING. L.A.P



Resistencia a la compresión simple, material trabajado en tramo de prueba Suchitoto

<i>Resistencia a la compresión simple (seco y saturado) Base - 4% Emulsión Material trabajado en Suchitoto</i>													
#	EMULSION	CONDICION	HORNO			HUMEDAD		Pérdida por Humedad	ABSORCION		% Absorción	Resistencia kg/cm ²	
			Ws	Wh	% PERDIDO	H _o	H _f		Ws	Wh		individual	promedio
<i>Primer día de Trabajo</i>													
1	4%	Seca	1821.00	1702.00	6.53%	14.50%	3.40%	76.55%	***	***	***	38.10	38.10
2	4%	Inmersión	1834.00	1723.00	6.05%	***	***	***	1724	1904	9.45%	4.20	4.20
<i>Segundo día de Trabajo</i>													
1	4%	Seca	1842.00	1730.00	6.08%	14.50%	4.54%	68.69%	***	***	***	31.20	31.20
2	4%	Inmersión	1865.00	1743.00	6.54%	***	***	***	1724	0	100.00%	0.00	0.00
<i>Tercer día de Trabajo</i>													
1	4%	Seca	1912.00	1784.00	6.69%	14.50%	4.12%	71.59%	***	***	***	34.10	34.10
2	4%	Inmersión	1943.00	1819.00	6.38%	***	***	***	1822	2050	11.12%	1.10	1.10

PROYECTO :	MANTENIMIENTO RUTINARIO DEL GRUPO 8 DE VÍAS NO PAVIMENTADAS UBICADAS EN LA ZONA CENTRAL NORTE DE EL SALVADOR						
CONTRATISTA :	CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS DIVERSOS S.A. DE C.V.						
SUPERVISIÓN:	HIDRODESARROLLO						
CONTRATO:	CO-035/2009						
TRAMO:	CUS18E: Suchitoto - Dv CUS11N						
ACTIVIDAD:	ESTABILIZACION SUELO EMULSION						
CONTROL DE COMPACTACION EN EL CAMPO (METODO CONO Y ARENA, ASTM D 1556, AASHTO T 191)							
Ensayo N°	1	2	3	4	5		
Chequeos	3 CICLOS						
Fecha	09-mar-10	10-mar-10	11-mar-10				
Ruta	CUS18E	CUS18E	CUS18E				
Estación	0+680	0+730	0+800				
Ubicación	Lat. Der.	Lat. Izq.	Lat. Der.				
Normal	1.50	1.50	1.50				
Elevación de Superficie, m	Rasante	Rasante	Rasante				
Prof. del agujero, cm	12.0	12.0	12.0				
Peso inicial de Arena + Tara, g	5500	5500	5500				
Peso final de Arena + Tara, g	1098	1156	1117				
Peso arena colocada, g	4402	4344	4383				
Volumen de arena colocada, cm ³	3320	3367	3305				
Volumen de cono, cm ³	1153	1214	1153				
Volumen de la cala, cm ³	2167	2153	2152				
Peso de suelo humedo extraido, g	4203	4134	4185				
P.Vol. Humedo, Kg/m ³	1940	1920	1944				
P.Vol. Seco, Kg/m ³	1682	1676	1696				
P.Vol. Seco corregido, Kg/m ³							
P.Vol. Seco Máximo, Kg/m ³	1751	1751	1751				
% W optimo	14.2	23.0	14.2				
P.Vol.de arena, Kg/m ³	1326	1290	1326				
Grado de Compactación, %	96.0	95.7	96.8				
% material retenido en campo							
Compactación Corregida, %							
HUMEDADES							
Recipiente N°.	1	1	1				
Peso Suelo Hum.+ Tara, g	325.0	438.0	483.0				
Peso Suelo Seco+ Tara, g	294.0	394.0	433.0				
Peso Tara, g	92.0	92.0	92.0				
Peso de suelo seco, Ws	202.0	302.0	341.0				
Peso de agua, Wagua	31.0	44.0	50.0				
Contenido de Agua, %	15.3	14.6	14.7				

OBSERVACIONES:

F. _____
ING. JOSE LUIS OSEGUEDA SALVADOR
ING. CONTROL DE CALIDAD

F. _____
ING. SANTIAGO HERNANDEZ
ING. DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

ANEXOS

ANEXO 8:

RESULTADO DE

ENSAYOS METODO

“SUELO+CEMENTO+CAL”



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera

Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com

OT	15135
FECHA	2010-03-08
PÁGINA	1 DE 1
ÁREA DE LAB.	QC

Ciente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	EL SALVADOR
Dirección	----	Muestra	CAL HIDRATADA
Contacto	ING. MARCO VINICIO CARBALLO	Analista(s)	RAÚL GÓMEZ
Teléfono	----	Fecha de Ensayo	2010-03-08

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO

ANÁLISIS QUÍMICO

MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X*

COMPOSICIÓN QUÍMICA**	
SiO ₂ , %	1.75
Fe ₂ O ₃ , %	0.11
Al ₂ O ₃ , %	0.37
CaO, %	67.77
MgO, %	2.88
K ₂ O, %	0.08
Na ₂ O, %	0.00
SO ₃ , %	0.89
P ₂ O ₅ , %	0.00
TiO ₂ , %	0.00
Cr ₂ O ₃ , %	0.05
MnO, %	0.00
LOI (950 °C), %	25.22
Total, %	99.12

* El ensayo se realizó en el Laboratorio de Control de Calidad de Cementos Progreso.

** Expresada como porcentaje en masa (w/w).

Analista

Ing. Mario de León.
Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.



Laboratorio Central
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT: 14551-1
FECHA DE OT: 2010/02/15
PAGINA: 1 DE 1
IMPRESION: 2010/02/17

CLIENTE:	ASESORIA TECNICA DIVISION COMERCIAL
CONTACTO:	ING. EMILIO PUENTE
MUESTRA:	ARCILLA CAFÉ
PROCEDENCIA:	SUCHITOTO
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA, FOVIAL, SUCHITOTO EL SALVADOR

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

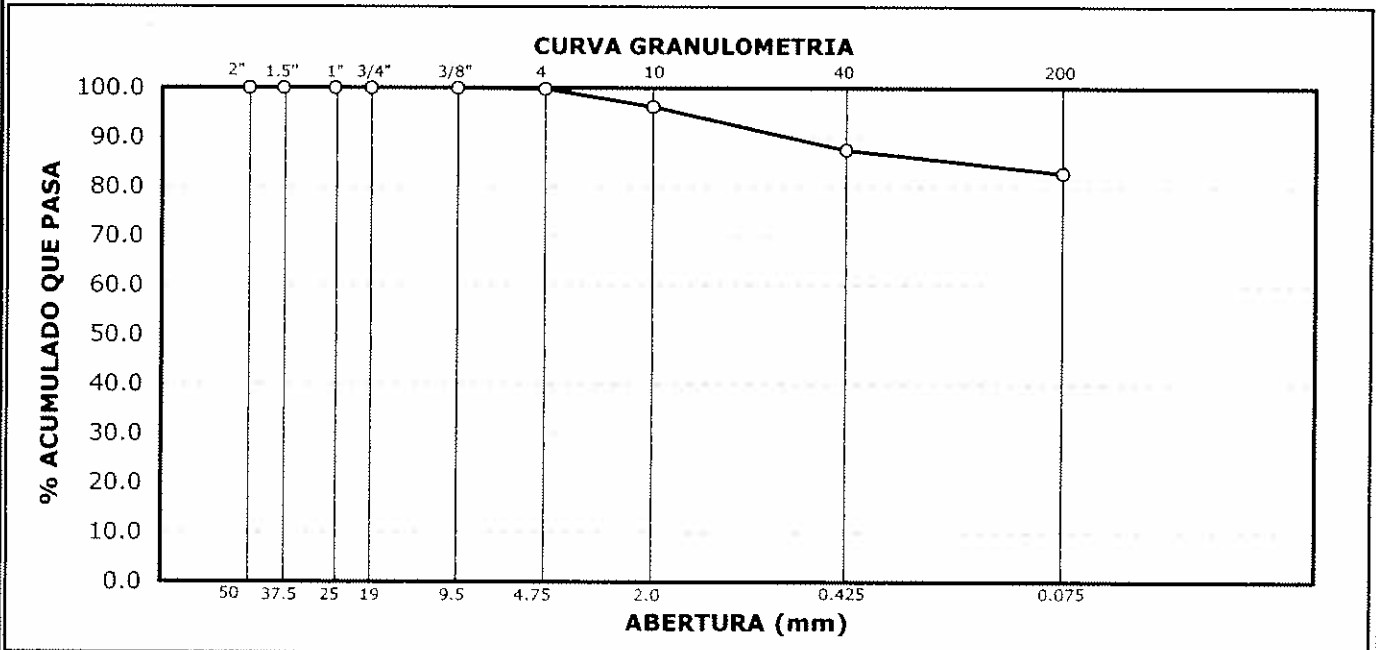
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

NORMA: AASTHO T- 311

RESULTADOS	
Grava (%):	3.8
Arena (%):	13.4
Finos (%):	82.8
Mus (Kg/m³):	898.3
Clasificación SCU :	OL
Clasificación PRA :	A-7-5
Materia Orgánica	-
COEFICIENTE UNIFORMIDAD:	-
COEFICIENTE CURVATURA:	-

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
2"	50.000	100.0
1 1/2"	37.500	100.0
1"	25.000	100.0
3/4"	19.000	100.0
3/8"	9.500	100.0
Nº4	4.750	99.8
Nº10	2.000	96.2
Nº40	0.425	87.5
Nº200	0.075	82.8

DESCRIPCION DEL MATERIAL: **ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO**




ANALISTA


 Ing. Mario de León M.
JEFE DE LABORATORIO

Observaciones:

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC



Laboratorio Central
Centro Tecnológico
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 22864178 email: cetec@cempro.com

OT:	14551-1
FECHA OT:	2010/02/15
PAGINA:	1 DE 1
IMPRESION:	2010/02/17

CLIENTE:	ASESORIA TECNICA DIVISION COMERCIAL
CONTACTO:	ING. EMILIO PUENTE
MUESTRA:	ARCILLA CAFÉ
PROCEDENCIA:	SUCHITOTO
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA, FOVIAL, SUCHITOTO EL SALVADOR

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

LIMITES DE ATTERBERG

NORMA: AASHTO T-89 Y T-90

RESULTADOS	
METODO UTILIZADO:	B
NO. DE ENSAYO:	1
% LIMITE LIQUIDO:	46
% LIMITE PLASTICO:	33
% INDICE DE PLASTICIDAD:	13
CLASIFICACION DEL SUELO:	OL

DESCRIPCION DEL SUELO:

ARCILLA LIMO ARENOSA COLOR ROJO


ANALISTA


Ing. Mario de León M.
JEFE DE LABORATORIO

Observaciones: _____



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@compro.com

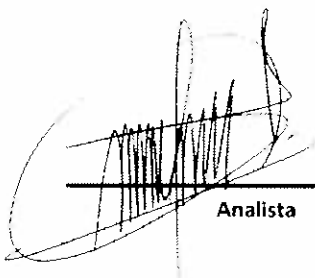
OT	14551
FECHA	2010-02-15
PÁGINA	1 DE 1
ÁREA DE LAB.	QC

Cliente	DIVISION COMERCIAL	Procedencia	SUCHITOTO
Dirección	---	Muestra	ARCILLA CAFÉ
Contacto	ING. EMILIO PUENTE	Analista(s)	EMMANUEL MONTUFAR
Teléfono	---	Fecha de Ensayo	2010-02-16

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO

ANÁLISIS DE pH

No.	Id. De Muestra	pH
1	CAL HORCALSA	13.08
2	ARCILLA	8.80
3	ARCILLA + 2% CAL	12.53
4	ARCILLA + 4% CAL	13.04
5	ARCILLA + 6% CAL	13.10



Analista



X Ing. Mario de León.
Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.



Laboratorio Central
Centro Tecnológico
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT: 15107
FECHA OT: 2010/03/02
PAGINA: 1 DE 1
IMPRESION: 2010/03/09

CLIENTE:	ASESORIA TECNICA DIVISION COMERCIAL
CONTACTO:	ING. EMILIO PUENTE
MUESTRA:	ARCILLA CAFÉ
PROCEDENCIA:	SUCHITOTO EL SALVADOR
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA, FOVIAL, SUCHITOTO, EL SALVADOR

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

RESISTENCIA A COMPRESION NO CONFINADA DE PROBETAS DE SUELO

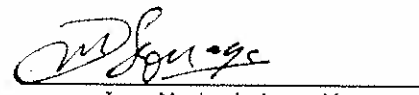
ASTM C-1632 Y D-1633

DATOS DE ENSAYO

Fecha Hechura: 2010/03/02 Edad: 7 Fecha Rotura: 2010/03/09

No.	Masa (Kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Carga Maxima (KN)	Factor de Correccion	Resistencia Corregida por Esbeltez			Descripcion del material
						N/mm ²	Lb/pulg ²	Kg/cm ²	
1	1.85	102.1	117.5	20.3	0.905	2.2	325	23	ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 3% DE HIDROXIDO DE CALCIO + 3% DE CEMENTO CESSA
2	1.85	102.1	117.5	20.3	0.905	2.2	325	23	ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 3% DE HIDROXIDO DE CALCIO + 3% DE CEMENTO CESSA
3									
4									
5									
6									


ANALISTA


Ing. Mario de Leon M.
JEFE DE LABORATORIO

Observaciones:

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC



Laboratorio Central
Centro Tecnológico
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT:	15049
FECHA OT:	2010/02/23
PAGINA:	1 DE 1
IMPRESION:	2010/03/09

CLIENTE:	ASESORIA TECNICA DIVISION COMERCIAL
CONTACTO:	ING. EMILIO TAGER
MUESTRA:	ARCILLA CAFÉ
PROCEDENCIA:	SUCHITOTO, EL SALVADOR
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA, FOVIAL, SUCHITOTO, EL SALVADOR

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

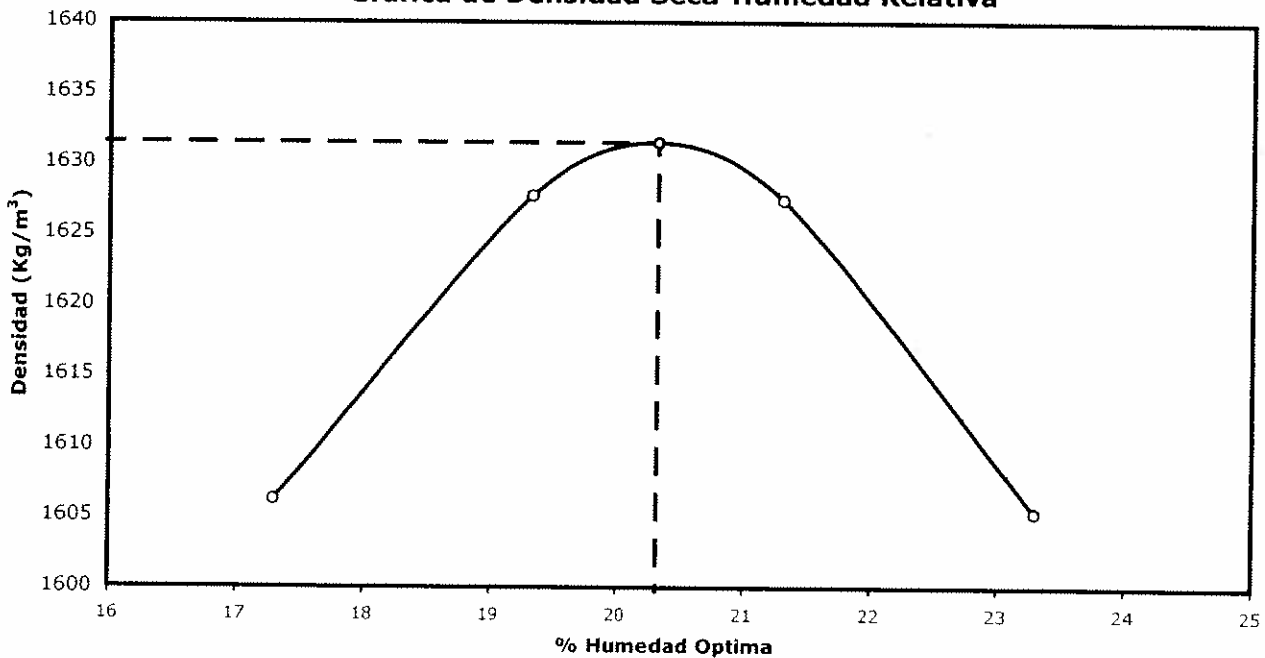
RELACION HUMEDAD OPTIMA - DENSIDAD MAXIMA

ESTANDAR AASHTO T-99 MODIFICADO AASHTO T-180

DATOS DE ENSAYO

HUMEDAD OPTIMA %: 20.3 METODO UTILIZADO: C
 DENSIDAD SECA MAXIMA: 102 Lb/pie³. 1631 kg/m³.
 DESCRIPCION DEL SUELO: **ARCILLA LIMO ARENOSA CON POCA GRAVA COLOR ROJO, CON EL 3% DE HIDROXIDO DE CALCIO + 3% DE CEMENTO CESSA**

Gráfica de Densidad Seca-Humedad Relativa



[Signature]
 ER
ANALISTA

[Signature]
 Ing. Mario de Leon M.
JEFE DE LABORATORIO

Observaciones: _____

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

PROYECTO :	MANTENIMIENTO RUTINARIO DEL GRUPO 8 DE VÍAS NO PAVIMENTADAS UBICADAS EN LA ZONA CENTRAL NORTE DE EL SALVADOR
CONTRATISTA :	CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS DIVERSOS S.A. DE C.V.
SUPERVISIÓN:	HIDRODESARROLLO
CONTRATO:	CO-035/2009
TRAMO:	CUS18E: Suchitoto - Cinquera
ACTIVIDAD:	ESTABILIZACION SUELO CAL-CEMENTO

CONTROL DE COMPACTACION EN EL CAMPO (METODO CONO Y ARENA, ASTM D 1556, AASHTO T 191)

Ensayo N°	1	2	3	4	5			
Chequeos	4 CICLOS							
Fecha	15-mar-10	18-mar-10						
Ruta	CUS18E	CUS18E						
Estación	0+614	0+275						
Ubicación	Lat. Izq.	Lat. Der						
Normal	1.50	1.50						
Elevación de Superficie, m	Rasante	Rasante						
Prof. del agujero, cm	12.0	12.0						
Peso inicial de Arena + Tara, g	5500	5500						
Peso final de Arena + Tara, g	1114	1098						
Peso arena colocada, g	4386	4402						
Volumen de arena colocada, cm ³	3400	3412						
Volumen de cono, cm ³	1214	1214						
Volumen de la cala, cm ³	2186	2198						
Peso de suelo humedo extraido, g	4080	4118						
P.Vol. Humedo, Kg/m ³	1866	1873						
P.Vol. Seco, Kg/m ³	1577	1569						
P.Vol. Seco corregido, Kg/m ³								
P.Vol. Seco Máximo, Kg/m ³	1631	1631						
% W optimo	20.3	20.3						
P.Vol.de arena, Kg/m ³	1290	1290						
Grado de Compactación, %	96.7	96.2						
% material retenido en campo								
Compactación Corregida, %								
HUMEDADES								
Recipiente N°.	1	1						
Peso Suelo Hum.+ Tara, g	460.0	480.0						
Peso Suelo Seco+ Tara, g	403.0	417.0						
Peso Tara, g	92.0	92.0						
Peso de suelo seco, Ws	311.0	325.0						
Peso de agua, Wagua	57.0	63.0						
Contenido de Agua, %	18.3	19.4						

OBSERVACIONES: Se compacto con rodo de 10 ton, 2 ciclo liso

Se compacto con rodo de 10 ton , 2 ciclos vibrados

- 1) TRAMO DE 40 ML 96.7% ,grado de compactacion
2) TRAMO DE 60 ML 96.2 % ,grado de compactacion

F. _____
ING. JOSE LUIS OSEGUEDA SALVADOR
ING. CONTROL DE CALIDAD

F. _____
ING. SANTIAGO HERNANDEZ
ING. DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

ANEXOS

ANEXO 9: DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL ESTABILIZANTE

UNICAPA

CALCULO DE CEMENTO POR PESO

LONGITUD mts	ANCHO mts	ESPESOR mts	VOLUMEN M3	PVSM kg/m3	Peso por bolsa kg
200	5	0.2	200	1631	42.5

Formula para calcular proctor sin cemento:

$$PVSMsc = PVSMc(1 + \%Cemento/100)$$

$$Cemento = 1631 / (1 + 18/100)$$

PVSMsc	1631	1.18	1382
--------	------	------	------

Cemento por metro cubico

$$Cemento = 1631 - 1342$$

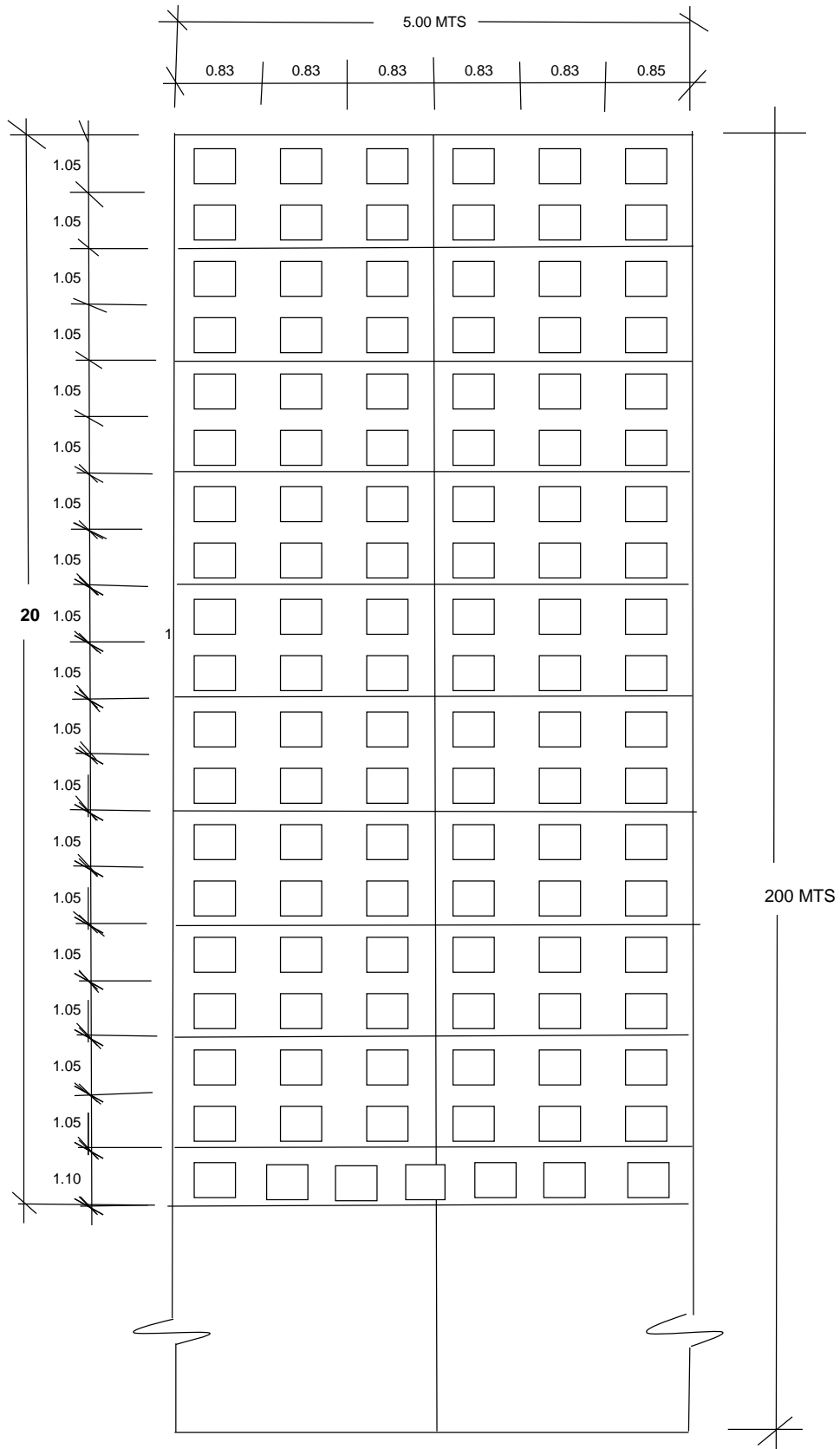
Cemento = 249 Kilogramos de cemento por metro cubico

Cemento = 5.85 Bolsas de cemento/metro cubico

Volumen a trabajar	200.00	m3
Cemento por metro cubico	5.85	bolsas
Total cemento	1170.0	bolsas/m3

PAVIMENTO UNICAPA DE ALTO DESEMPEÑO

DISTRIBUCION DE CEMENTO POR CADA 20 METROS LINEALES



ESTABILIZADO DE CALZADA CON CAL

CALCULO DE CEMENTO POR PESO

LONGITUD mts	ANCHO mts	ESPEJOR mts	VOLUMEN M3	PVSM kg/m3	Peso por bolsa de cal kg
100	5	0.2	100	1623	25

Formula para calcular proctor sin cemento:

$$PVSMsc = PVSMc(1 + \%Cemento/100)$$

$$Cemento = 1631 / (1 + 4/100)$$

PVSMsc	1623	1.04	1561
--------	------	------	------

$$\text{Volumen total} = 100 \text{ m}^3 \times 1561$$

$$\text{Volumen total} = 156100 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen (4\%)} = 156100 \text{ kg} \times 0.04$$

PARA LA CAL TENEMOS

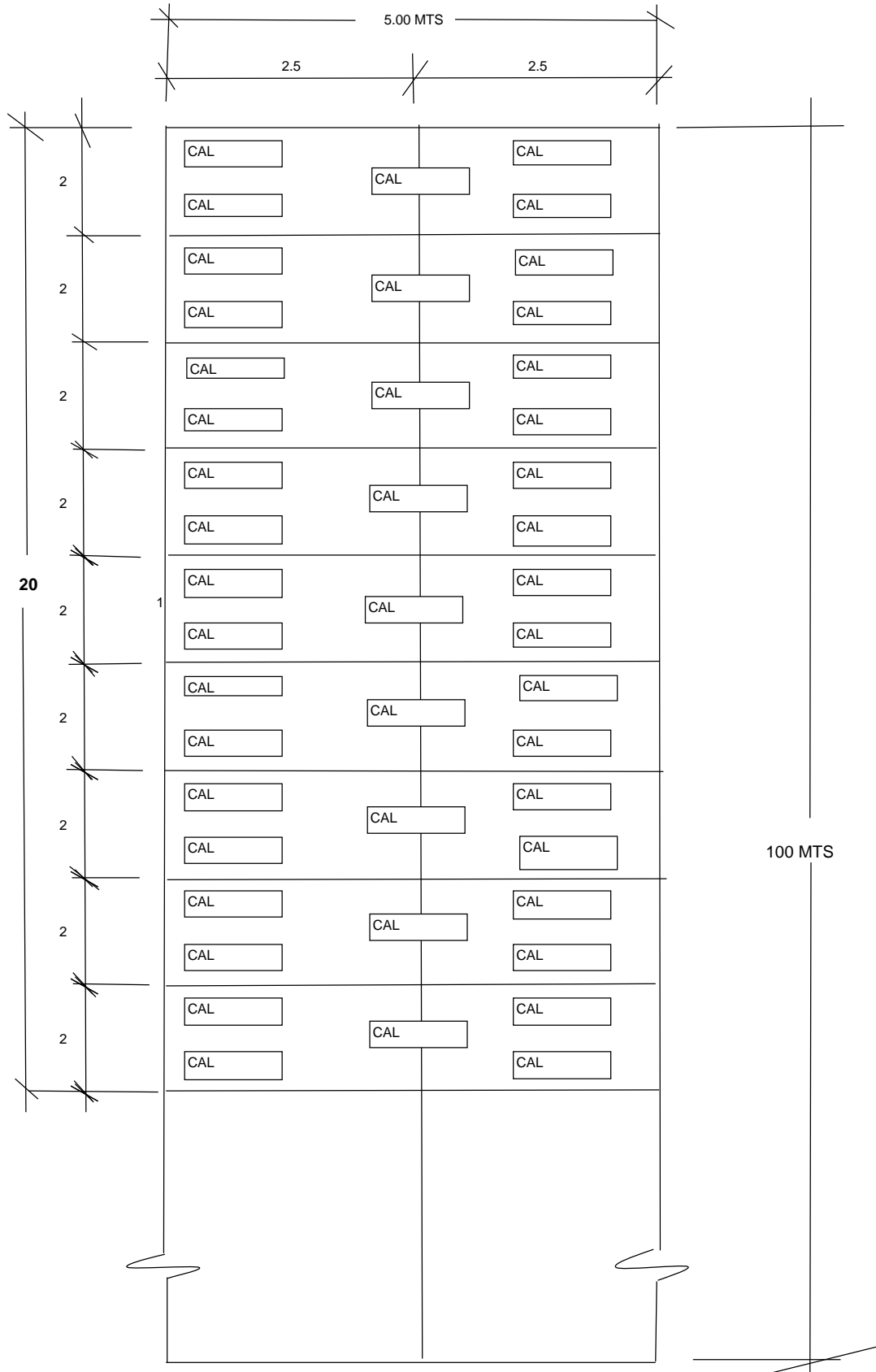
$$\text{Volumen} = 6244 \text{ kg} / 25 \text{ kg}$$

$$\text{Bolsas de cal} = 249.76 \text{ bolsas}$$

$$\text{Bolsas de cal} = 250 \text{ bolsas}$$

ESTABILIZADO DE CALZADA CON CAL

DISTRIBUCION DE CEMENTO POR CADA 2 METROS LINEALES



ESTABILIZADO DE CALZADA CON CEMENTO-CAL

CALCULO DE CEMENTO POR PESO

LONGITUD mts	ANCHO mts	ESPESOR mts	VOLUMEN M3	PVSM kg/m3	Peso por bolsa de cemento kg	Peso por bolsa de cal kg
100	5	0.2	100	1631	42.5	25

Formula para calcular proctor sin cemento:

$$PVSMsc = PVSMc(1 + \%Cemento/100)$$

$$Cemento = 1631 / (1 + 6/100)$$

PVSMsc	1631	1.06	1539
--------	------	------	------

$$\text{Volumen total} = 100 \text{ m}^3 \times 1539$$

$$\text{Volumen total} = 153900 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen (3\%)} = 153900 \text{ k} \times 0.03$$

PARA LA CAL TENEMOS

$$\text{Volumen} = 4617 \text{ kg} / 25 \text{ kg}$$

$$\text{Bolsas de cal} = 185 \text{ bolsas}$$

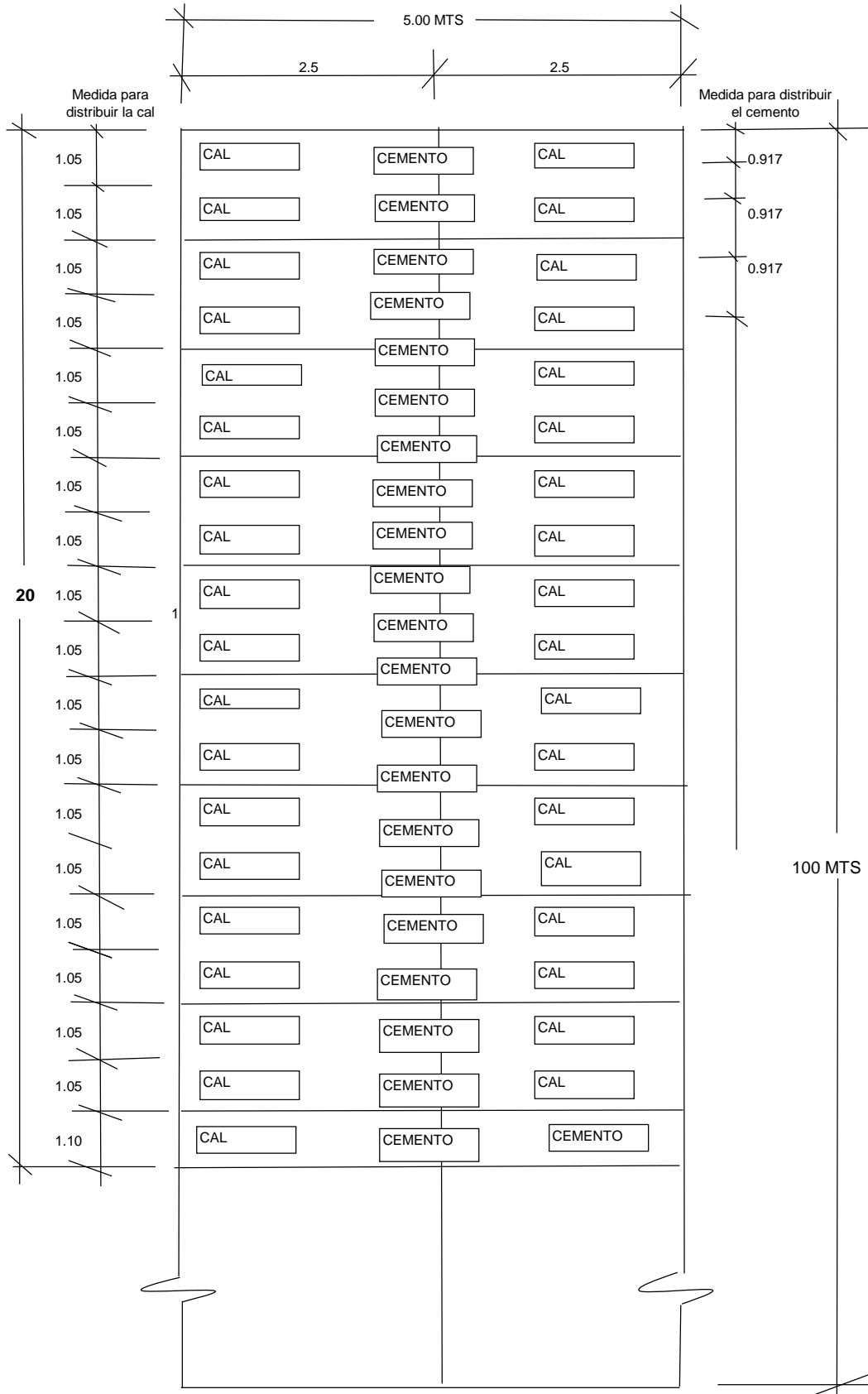
PARA EL CEMENTO TENEMOS

$$\text{Volumen} = 4617 \text{ kg} / 42.5 \text{ kg}$$

$$\text{Bolsas de cemento} = 109 \text{ bolsas}$$

ESTABILIZADO DE CALZADA CON CAL-CEMENTO

DISTRIBUCION DE CEMENTO POR CADA 20 METROS LINEALES



CALCULO DE BOLSAS DE CAL Y CAL + CEMENTO

Longitud	W opt	PVSM				bolsas a utilizar
60m	20.3%	1631	2.5% cal	97860	2446.5	97.9
			3.0% cemento	97860	2935.8	69.1
100m	19.1%	1623	3.5% cal	162300	5680.5	227.2
40m	20.3%	1631	3.0% cal	65240	1957.2	78.3
			3.0% cemento	65240	1957.2	46.1

ancho	longitud	espesor	volumen	bolsa cal	25 kg
5	60	0.2	60	bolsa cemento	42.5 kg
5	40	0.2	40		
5	100	0.2	100		

ANEXOS

ANEXO 10:

RECOMENDACIONES

HORCALSA

SUELO ESTABILIZADO CON CAL HORCALSA *Suchitoto, El Salvador*

DESCRIPCION

La estabilización del suelo con **CAL HORCALSA** 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.

SUBRASANTE

La cal estabiliza permanentemente el suelo de grano fino empleado como una sub-rasante o sub-base, para crear una capa con valor estructural en el sistema del pavimento. Los suelos tratados pueden ser del lugar (sub-rasante) o bien de materiales de préstamo.

CARACTERISTICAS DEL SUELO A ESTABILIZAR

Arcilla limo arenosa color rojiza	%IP	%LL	%LP	pH
	13	46	33	8.8

ANALISIS DE pH

Muestra	pH
Arcilla + 2% de cal	12.53
Arcilla + 4% de cal	13.04
Arcilla + 6% de cal	13.10

RESISTENCIA A COMPRESION NO CONFINADA

No.	Resistencia a 7 dias corregida por esbeltez			Descripcion
	N/mm2	Lb/pulg2	Kg/cm2	
1	2	289	20	Arcilla limo arenosa color rojiza con 4% de hidroxido de calcio
2	2	296	21	
3	2.2	325	23	Arcilla limo arenosa color rojiza con 3% de hidroxido de calcio + 3% de cemento CESSA
4	2.2	325	23	
5	1.7	249	18	Arcilla limo arenosa con el 3% de hidroxido de calcio
6	1.7	241	17	

AGUA

El agua que se use para la construcción de suelo-cal y suelo-cal-cemento debe estar limpia, no debe tener materia orgánica y debe estar libre de sales, aceites y ácidos perjudiciales.

PREPARACION DE LA MEZCLA

Cuando se vaya a construir el suelo-cal o suelo-cal-cemento sobre la superficie de una vía que haya estado en servicio y que presente irregularidades en toda o en parte de su longitud se debe proceder previamente al acondicionamiento de las zonas irregulares de dicha superficie.

Para la ejecución de la mezcla sobre la vía los trabajos se deben iniciar en la forma siguiente:

- En las partes de la vía donde el proyecto indique el uso del suelo existente, en la vía se debe escarificar uniformemente la superficie hasta la profundidad necesaria para obtener el volumen de suelo que requiere la mezcla.
- Es deseable remover los materiales que no sean suelos y que sean mayores de 3 pulgadas, como troncos, raíces, césped y piedra.

- Una sub-rasante escarificada o pulverizada ofrece más área de contacto superficial de suelo para la cal en el momento de la aplicación.
- La cal seca no debería ser extendida en condiciones de viento debido al polvo excesivo.
- Inmediatamente al agregado de la Cal se precede a mezclarla con el suelo, así como a pulverizar la mezcla, utilizando una motoniveladora (patrol) dándole múltiples pasadas, este proceso de mezclado y de pulverización debe continuar hasta que toda la cal aplicada se haya unido con el suelo y se obtenga una mezcla homogénea.
- Después de que se completa la mezcla, la capa tratada con cal debe ser afinada y compactada ligeramente con un rodo para reducir al mínimo la pérdida por evaporación durante el fraguado.

COMPACTACION

El grado de compactación mínimo exigido será del 95% de la máxima densidad obtenida por el ensayo proctor modificado.

REQUISITOS DE CAMPO DE LA MEZCLA DE SUELO – CAL

En el momento de iniciar su compactación, la mezcla de suelo – cal debe satisfacer los requisitos siguientes:

- La humedad de la mezcla debe ser la humedad optima de compactación con una tolerancia de $\pm 2\%$.

JUNTAS DE TRABAJO

Las juntas de trabajo realizados en días sucesivos deberán cuidarse para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente.

CURADO

Cualquier capa compactada de suelo – cal se debe curar con agua, manteniendo húmeda su superficie, durante un lapso de 3 días contado a partir del momento en que se termino la compactación.



DOSIFICACION

Dosis Suelo-cal

La cantidad de cal a mezclar es de:

- 1.5 sacos de 25 kg. Por cada 5 metros cuadrados con un espesor de 20 centímetros.

Dosis suelo-cal-cemento

- 1.5 sacos de 25 kg. + 0.63 sacos de cemento CESSA, por cada 5 metros cuadrados con un espesor de 20 centímetros.

Observación

En este caso la cal modificará y estabilizará el suelo, por lo tanto creará un área libre de lodo, cuando la cal sea aplicada el suelo será mas resistente a la erosión sin embargo la resistencia al desgaste dependera de trafico, del drenaje y la cantidad de balasto que se mezclará.

Benjamin Lopez
Asistente tecnico de pavimentos
Centro tecnologico
Cel. 58264614

ANEXOS

ANEXO 11:

DESGLOCE DE

COSTOS UNITARIOS

DESGLOSE DE COSTO UNITARIO

NOMBRE DEL PROYECTO: Estabilización de Suelos Plásticos, Aplicados a Tramos de Prueba en la Ruta CUS18E / Suchitoto - CUS11N

Fecha	Nombre de la Actividad	Unidad	Cant. Anal.
nov-10	Estabilización con Cal (3%) + Cemento (3%)	m3	100

EQUIPO Y HERRAMIENTAS

CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Motoniveladora	c/u	1	6	\$ 57.00	\$ 342.00
	Rodo Liso	c/u	1	4	\$ 35.00	\$ 140.00
	Pipa de Agua	c/u	1	6	\$ 12.50	\$ 75.00
	Camión de Estaca	c/u	2	4	\$ 12.00	\$ 96.00
	Herramientas Varias	S.G.	5%			\$ 14.80
TOTAL DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						\$ 667.80

MATERIALES

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
	Cemento	bolsa	120	\$ 7.50	\$ 900.00
	Cal	bolsa	200	\$ 4.00	\$ 800.00
	Diesel	gls	45	\$ 3.00	\$ 135.00
	Agua	m3	3	\$ 1.00	\$ 3.00
TOTAL DE MATERIALES					\$ 1,838.00

MANO DE OBRA

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Auxiliares	c/u	10	8	\$ 1.21	\$ 96.80
	Caporal	c/u	1	8	\$ 1.50	\$ 12.00
	Operador Motoniveladora	c/u	1	8	\$ 3.00	\$ 24.00
	Operador Rodo Liso	c/u	1	8	\$ 1.33	\$ 10.64
	Motoristas	c/u	3	8	\$ 1.50	\$ 36.00
Sub-total						\$ 179.44
	Prestaciones		65.00%			\$ 116.64
TOTAL DE MANO DE OBRA (Sub-total+Prestaciones)						\$ 296.08

TOTAL (Materiales + Mano de Obra + Equipo)	\$ 2,801.88
---	--------------------

COSTO UNITARIO POR m3	\$ 28.02
------------------------------	-----------------

CONSIDERACIONES:

- * Se considera la Maquinaria en Alquiler.
- * Los rendimientos para la Maquinaria son los observados en campo.
- * El costo de Herramientas Varias se considera como el 5% de la Mano de Obra.

DESGLOSE DE COSTO UNITARIO

NOMBRE DEL PROYECTO: Estabilización de Suelos Plásticos, Aplicados a Tramos de Prueba en la Ruta CUS18E / Suchitoto - CUS11N

Fecha	Nombre de la Actividad	Unidad	Cant. Anal.
nov-10	Estabilización con Cal (3.5%)	m3	100

EQUIPO Y HERRAMIENTAS

CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Motoniveladora	c/u	1	6	\$ 57.00	\$ 342.00
	Rodo Liso	c/u	1	4	\$ 35.00	\$ 140.00
	Pipa de Agua	c/u	1	6	\$ 12.50	\$ 75.00
	Camión de Estaca	c/u	2	4	\$ 12.00	\$ 96.00
	Herramientas Varias	S.G.	5%			\$ 14.80
TOTAL DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						\$ 667.80

MATERIALES

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
	Cal	bolsa	230	\$ 4.00	\$ 920.00
	Diesel	gls	45	\$ 3.00	\$ 135.00
	Agua	m3	3	\$ 1.00	\$ 3.00
TOTAL DE MATERIALES					\$ 1,058.00

MANO DE OBRA

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Auxiliares	c/u	10	8	\$ 1.21	\$ 96.80
	Caporal	c/u	1	8	\$ 1.50	\$ 12.00
	Operador Motoniveladora	c/u	1	8	\$ 3.00	\$ 24.00
	Operador Rodo Liso	c/u	1	8	\$ 1.33	\$ 10.64
	Motoristas	c/u	3	8	\$ 1.50	\$ 36.00
Sub-total						\$ 179.44
	Prestaciones		65.00%			\$ 116.64
TOTAL DE MANO DE OBRA (Sub-total+Prestaciones)						\$ 296.08

TOTAL (Materiales + Mano de Obra + Equipo)	\$ 2,021.88
---	--------------------

COSTO UNITARIO POR m3	\$ 20.22
------------------------------	-----------------

CONSIDERACIONES:

- * Se considera la Maquinaria en Alquiler.
- * Los rendimientos para la Maquinaria son los observados en campo.
- * El costo de Herramientas Varias se considera como el 5% de la Mano de Obra.

DESGLOSE DE COSTO UNITARIO

NOMBRE DEL PROYECTO: Estabilización de Suelos Plásticos, Aplicados a Tramos de Prueba en la Ruta CUS18E / Suchitoto - CUS11N

Fecha	Nombre de la Actividad	Unidad	Cant. Anal.
nov-10	Pavimento Unicapa de Alto Desempeño	m3	100

EQUIPO Y HERRAMIENTAS

CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Motoniveladora	c/u	1	6	\$ 57.00	\$ 342.00
	Rodo Liso	c/u	1	4	\$ 35.00	\$ 140.00
	Rodo Pata de Cabra	c/u	1	4	\$ 45.00	\$ 180.00
	Pipa de Agua	c/u	1	6	\$ 12.50	\$ 75.00
	RM-350	c/u	1	6	\$ 100.00	\$ 600.00
	Camión de Estaca	c/u	2	8	\$ 12.00	\$ 192.00
	Herramientas Varias	S.G.	5%			\$ 17.33
TOTAL DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						\$ 1,546.33

MATERIALES

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
	Cemento	bolsa.	590	\$ 6.50	\$ 3,835.00
	Diesel	gls	70	\$ 3.00	\$ 210.00
	Agua	m3	6	\$ 1.00	\$ 6.00
TOTAL DE MATERIALES					\$ 4,051.00

MANO DE OBRA

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Auxiliares	c/u	10	8	\$ 1.21	\$ 96.80
	Caporal	c/u	1	8	\$ 1.50	\$ 12.00
	Operador Motoniveladora	c/u	1	8	\$ 3.00	\$ 24.00
	Operador Rodo Liso	c/u	1	8	\$ 1.33	\$ 10.64
	Op. Rodo Pata de Cabra	c/u	1	8	\$ 1.33	\$ 10.64
	Op. De RM-350	c/u	1	8	\$ 2.50	\$ 20.00
	Motoristas	c/u	3	8	\$ 1.50	\$ 36.00
Sub-total						\$ 210.08
	Prestaciones		65.00%			\$ 136.55
TOTAL DE MANO DE OBRA (Sub-total+Prestaciones)						\$ 346.63

TOTAL (Materiales + Mano de Obra + Equipo)	\$ 5,943.96
---	--------------------

COSTO UNITARIO POR m3	\$ 59.44
------------------------------	-----------------

CONSIDERACIONES:

- * Se considera la Maquinaria en Alquiler.
- * Los rendimientos para la Maquinaria son los observados en campo.
- * El costo de Herramientas Varias se considera como el 5% de la Mano de Obra.

DESGLOSE DE COSTO UNITARIO

NOMBRE DEL PROYECTO: Estabilización de Suelos Plásticos, Aplicados a Tramos de Prueba en la Ruta CUS18E / Suchitoto - CUS11N

Fecha	Nombre de la Actividad	Unidad	Cant. Anal.
nov-10	Estabilización con Emulsión Asfáltica	m3	52.5

EQUIPO Y HERRAMIENTAS

CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Motoniveladora	c/u	1	6	\$ 57.00	\$ 342.00
	Rodo Liso	c/u	1	4	\$ 35.00	\$ 140.00
	Distribuidor de Asfalto	c/u	1	6	\$ 35.00	\$ 210.00
	Pipa de Agua	c/u	1	6	\$ 12.50	\$ 75.00
	Minicargador	c/u	2	6	\$ 13.00	\$ 156.00
	Aditamento de Fresadora	c/u	2	6	\$ 8.00	\$ 96.00
	Camión de Estaca	c/u	1	4	\$ 12.00	\$ 48.00
	Herramientas Varias	S.G.	5%			\$ 16.56
TOTAL DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						\$ 1,083.56

MATERIALES

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
	Emulsion CSS -1h	gls	950	\$ 2.75	\$ 2,612.50
	Diesel	gls	55	\$ 3.00	\$ 165.00
	Agua	m3	3	\$ 1.00	\$ 3.00
TOTAL DE MATERIALES					\$ 2,780.50

MANO DE OBRA

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Auxiliares	c/u	10	8	\$ 1.21	\$ 96.80
	Caporal	c/u	1	8	\$ 1.50	\$ 12.00
	Operador Motoniveladora	c/u	1	8	\$ 3.00	\$ 24.00
	Operador Rodo Liso	c/u	1	8	\$ 1.33	\$ 10.64
	Operador Minicargador	c/u	2	8	\$ 1.33	\$ 21.28
	Motoristas	c/u	3	8	\$ 1.50	\$ 36.00
Sub-total						\$ 200.72
	Prestaciones		65.00%			\$ 130.47
TOTAL DE MANO DE OBRA (Sub-total+Prestaciones)						\$ 331.19

TOTAL (Materiales + Mano de Obra + Equipo)	\$ 4,195.25
---	--------------------

COSTO UNITARIO POR m3	\$ 79.91
------------------------------	-----------------

CONSIDERACIONES:

- * Se considera la Maquinaria en Alquiler.
- * Los rendimientos para la Maquinaria son los observados en campo.
- * El costo de Herramientas Varias se considera como el 5% de la Mano de Obra.

DESGLOSE DE COSTO UNITARIO

NOMBRE DEL PROYECTO: Estabilización de Suelos Plásticos, Aplicados a Tramos de Prueba en la Ruta CUS18E / Suchitoto - CUS11N

Fecha	Nombre de la Actividad	Unidad	Cant. Anal.
nov-10	Imprimación Asfáltica	m2	500

EQUIPO Y HERRAMIENTAS

CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Rodo Liso	c/u	1	2	\$ 35.00	\$ 70.00
	Distribuidor de Asfalto	c/u	1	2	\$ 35.00	\$ 70.00
	Pipa de Agua	c/u	1	2	\$ 12.50	\$ 25.00
	Camión de Volteo	c/u	1	2	\$ 15.00	\$ 30.00
	Herramientas Varias	S.G.	5%			\$ 12.82
TOTAL DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						\$ 137.82

MATERIALES

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
	Emulsion CSS -1h	gls	250	\$ 2.75	\$ 687.50
	Arena de Río	m3	2	\$ 20.00	\$ 40.00
	Diesel	gls	20	\$ 3.00	\$ 60.00
	Agua	m3	3	\$ 1.00	\$ 3.00
TOTAL DE MATERIALES					\$ 790.50

MANO DE OBRA

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Auxiliares	c/u	10	8	\$ 1.21	\$ 96.80
	Caporal	c/u	1	8	\$ 1.50	\$ 12.00
	Operador de Rodo	c/u	1	8	\$ 1.33	\$ 10.64
	Motoristas	c/u	3	8	\$ 1.50	\$ 36.00
Sub-total						\$ 155.44
	Prestaciones		65.00%			\$ 101.04
TOTAL DE MANO DE OBRA (Sub-total+Prestaciones)						\$ 256.48

TOTAL (Materiales + Mano de Obra + Equipo)	\$ 1,184.80
---	--------------------

COSTO UNITARIO POR m2	\$ 2.37
------------------------------	----------------

CONSIDERACIONES:

- * Se considera la Maquinaria en Alquiler.
- * Los rendimientos para la Maquinaria son los observados en campo.
- * El costo de Herramientas Varias se considera como el 5% de la Mano de Obra.

DESGLOSE DE COSTO UNITARIO

NOMBRE DEL PROYECTO: Estabilización de Suelos Plásticos, Aplicados a Tramos de Prueba en la Ruta CUS18E / Suchitoto - CUS11N

Fecha	Nombre de la Actividad	Unidad	Cant. Anal.
nov-10	Colocación de Capa de Protección (Slurry Seal)	m2	500

EQUIPO Y HERRAMIENTAS

CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Concretera	c/u	1	8	\$ 6.00	\$ 48.00
	Distribuidor de Asfalto	c/u	1	6	\$ 35.00	\$ 210.00
	Pipa de Agua	c/u	1	8	\$ 12.50	\$ 100.00
	Minicargador	c/u	1	6	\$ 13.00	\$ 78.00
	Aditamento de Barredora	c/u	1	4	\$ 8.00	\$ 32.00
	Camión de Volteo	c/u	1	6	\$ 15.00	\$ 90.00
	Herramientas Varias	S.G.	5%			\$ 20.99
TOTAL DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						\$ 578.99

MATERIALES

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	COSTO
	Emulsion CSS -1h	gls	350	\$ 2.75	\$ 962.50
	Materiales Petreos	m3	7.5	\$ 25.00	\$ 187.50
	Cemento	bolsa	2	\$ 7.00	\$ 14.00
	Aditivos	gls	2	\$ 25.00	\$ 50.00
	Gasolina (Concretera)	gls	3	\$ 4.00	\$ 12.00
	Diesel	gls	30	\$ 3.00	\$ 90.00
	Agua	m3	6	\$ 1.00	\$ 6.00
TOTAL DE MATERIALES					\$ 1,322.00

MANO DE OBRA

CODIGO	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	REND.	P/HORA	COSTO
	Auxiliares	c/u	7	8	\$ 1.21	\$ 67.76
	Albañil	c/u	7	8	\$ 2.50	\$ 140.00
	Operador de Minicargador	c/u	1	8	\$ 1.33	\$ 10.64
	Motoristas	c/u	3	8	\$ 1.50	\$ 36.00
Sub-total						\$ 254.40
	Prestaciones		65.00%			\$ 165.36
TOTAL DE MANO DE OBRA (Sub-total+Prestaciones)						\$ 419.76

TOTAL (Materiales + Mano de Obra + Equipo)	\$ 2,320.75
---	--------------------

COSTO UNITARIO POR m2	\$ 4.64
------------------------------	----------------

CONSIDERACIONES:

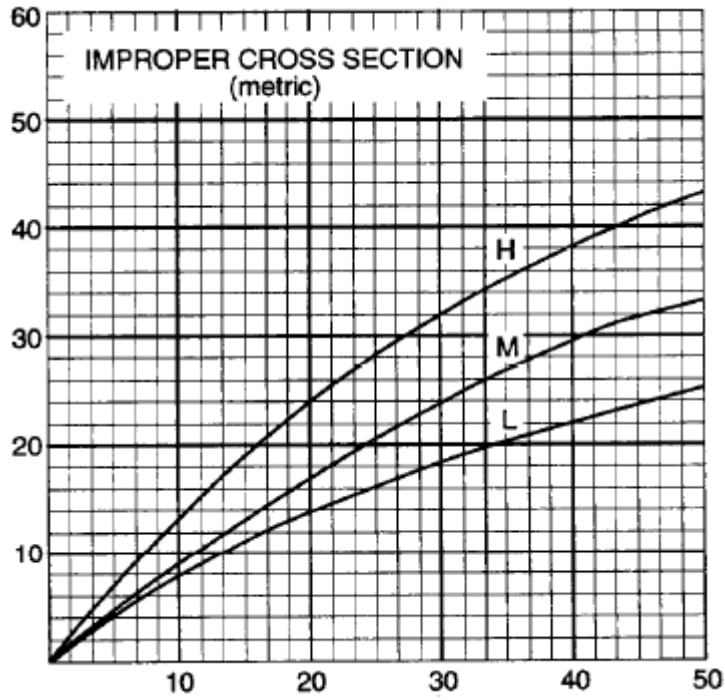
- * Se considera la Maquinaria en Alquiler.
- * Los rendimientos para la Maquinaria son los observados en campo.
- * El costo de Herramientas Varias se considera como el 5% de la Mano de Obra.

ANEXOS

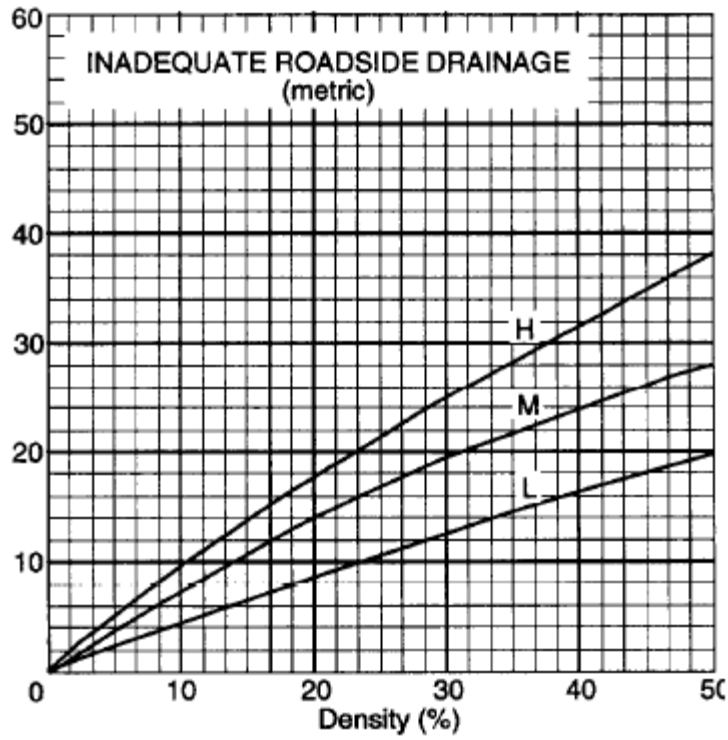
ANEXO 12:

GRAFICAS

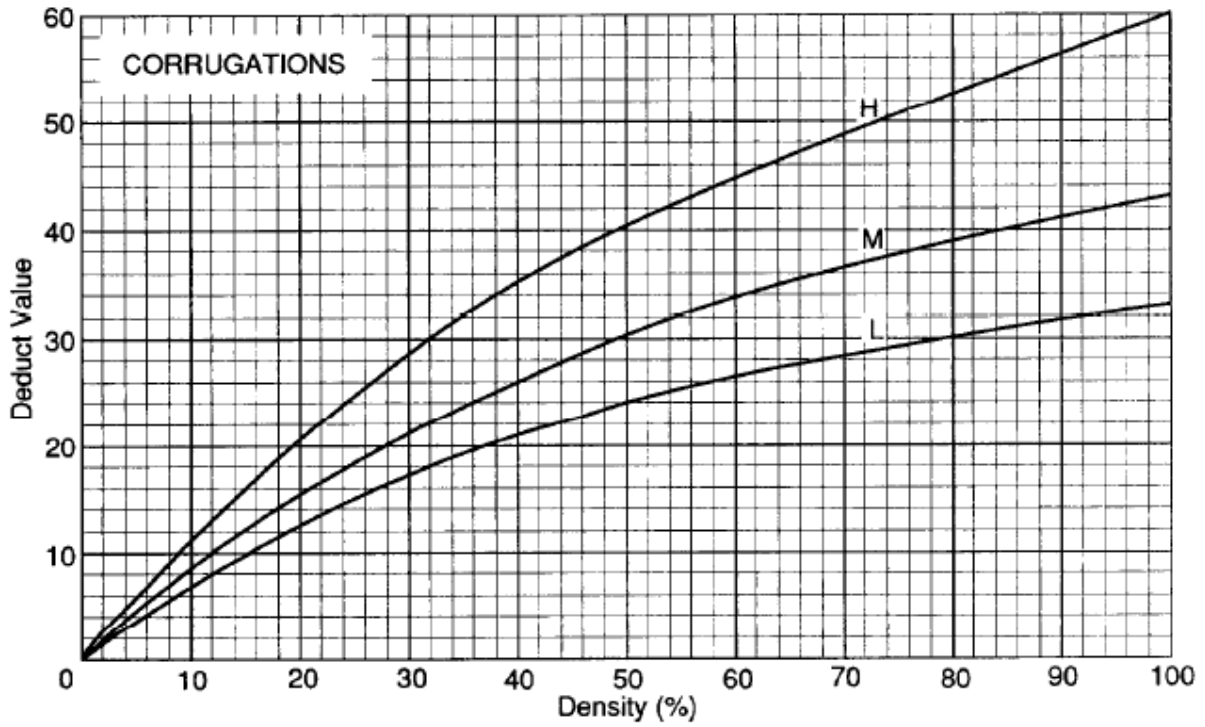
CALCULO DE URCI



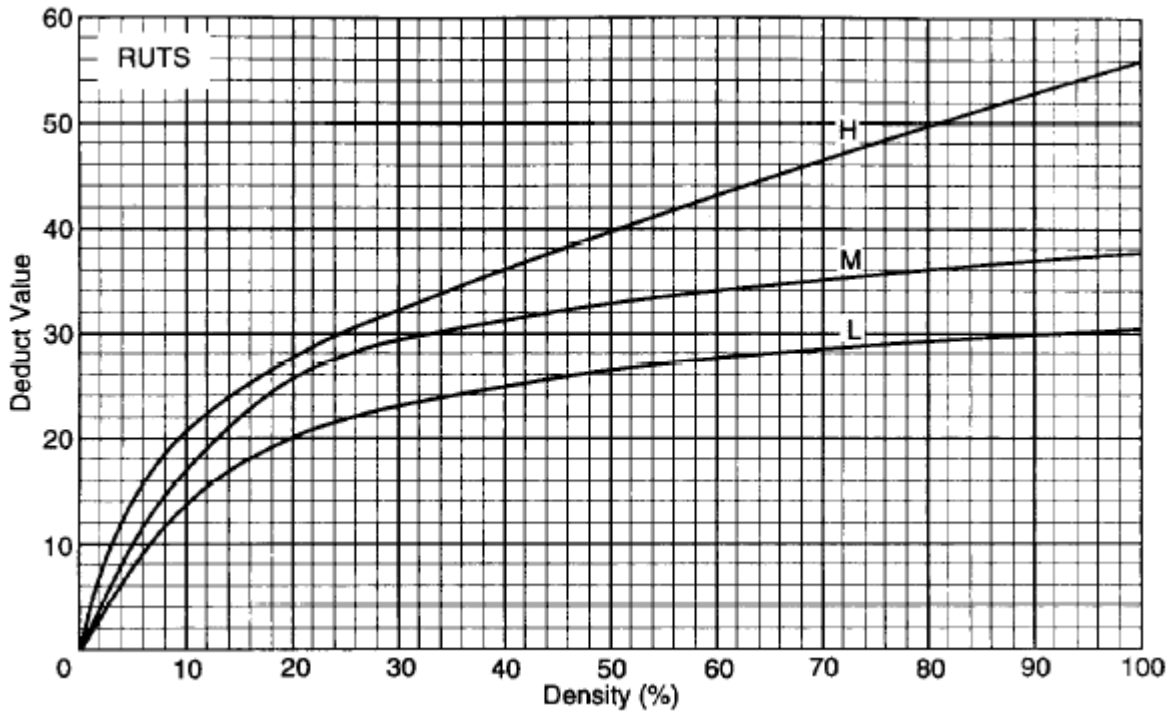
FUENTE: *Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY*



FUENTE: *Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY*



FUENTE: *Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY*



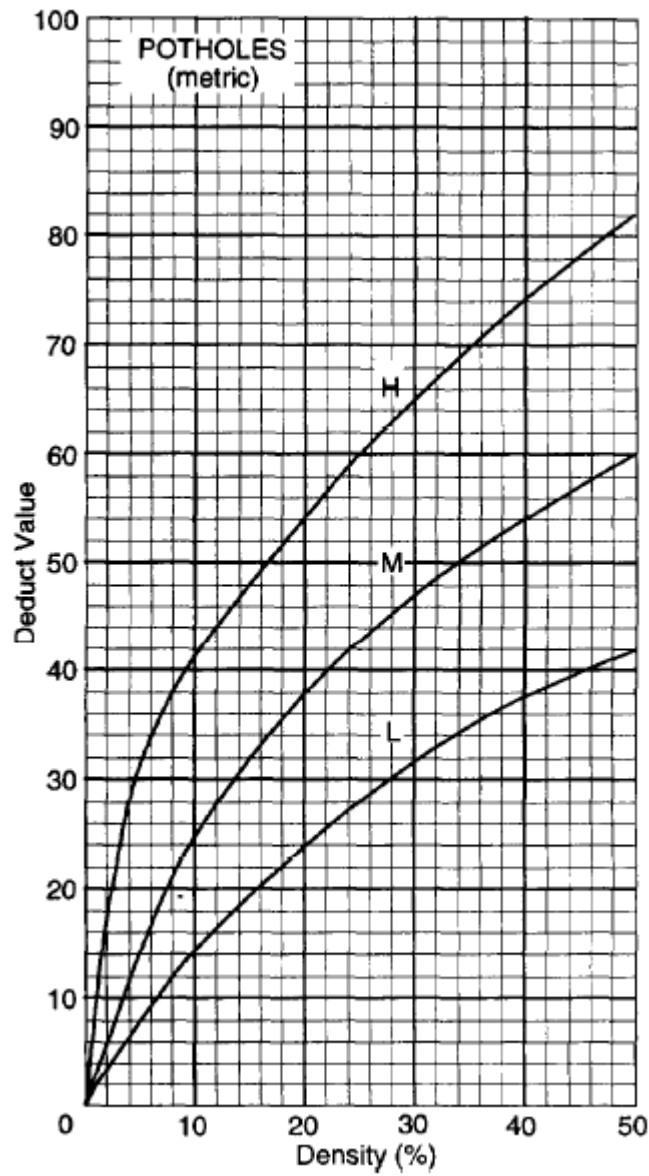
FUENTE: *Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY*

POLVO.

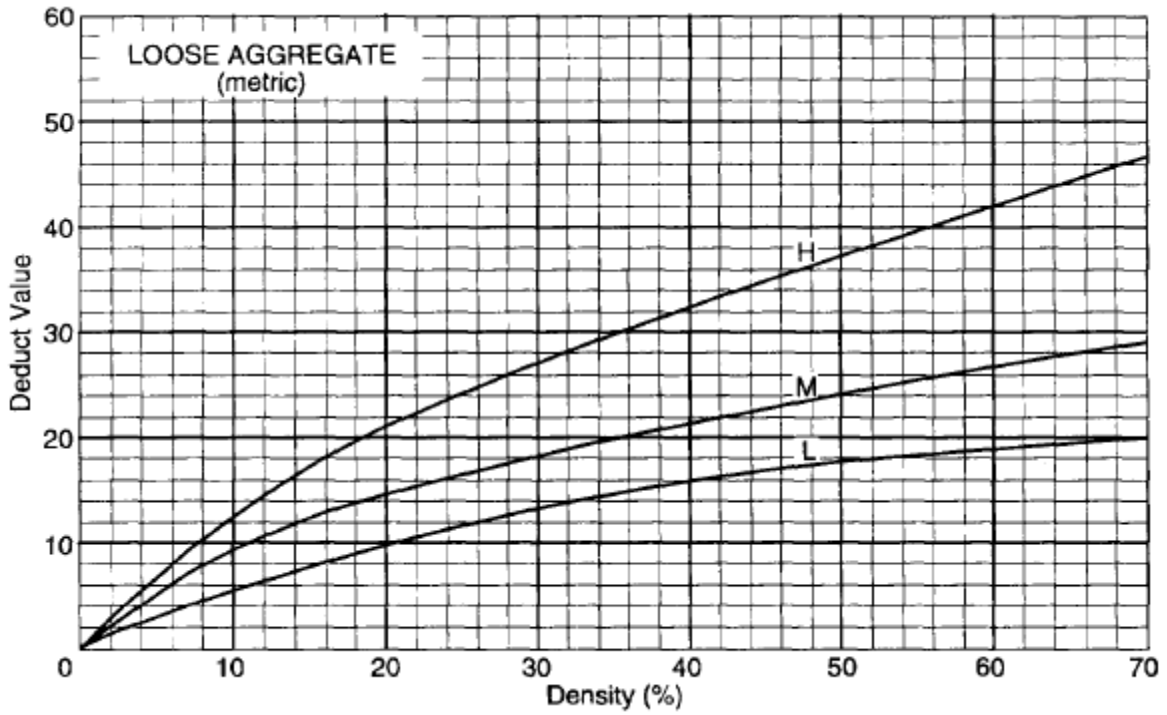
Para este daño no se obtiene densidad. Los valores deductivos de este daño son:

BAJO	-----	2 Puntos.
MEDIO	-----	4 Puntos.
ALTO	-----	15 Puntos.

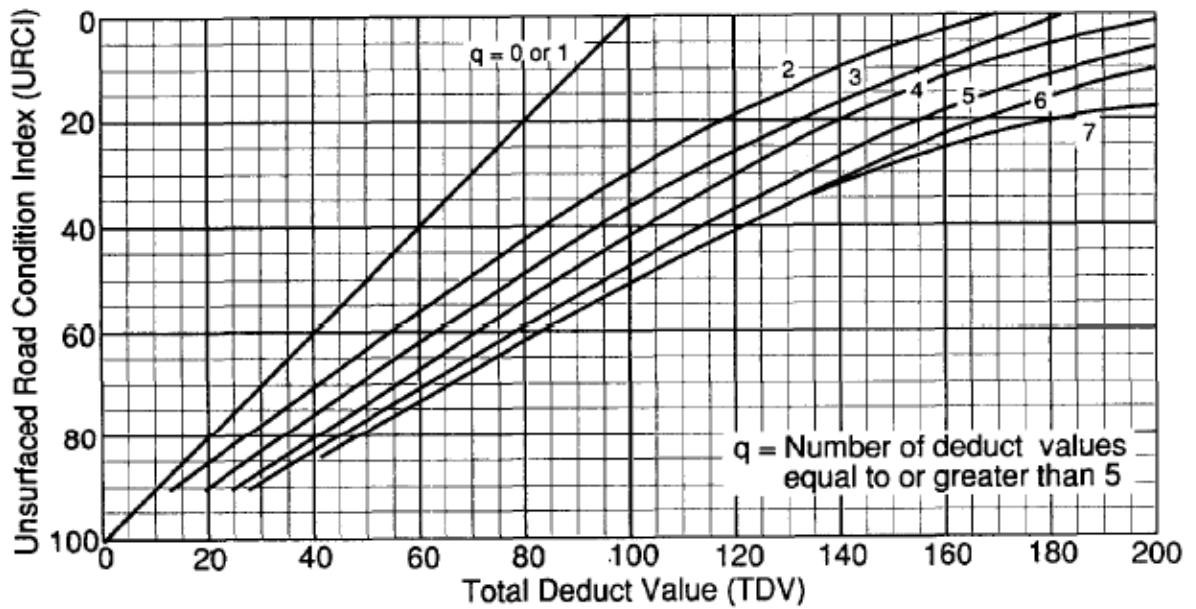
FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY



FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY



FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTAMENT OF THE ARMY



FUENTE: Technical Manual 5-625, HEADQUARTERS DEPARTAMENT OF THE ARMY

ANEXOS

ANEXO 13:

CALCULO DE PCI PARA

TRAMO ESTABILIZADO

CON EMULSIÓN

**PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
LEVANTAMIENTO 1**

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela

Pavimentos asfálticos

=====
Archivo C:\Documents and Settings\HP_Owner.WILL.001\Desktop\TESIS FINAL\PCI\LEV 1\UnaIPCA - SUCHITOTO (LEV 01).csv

=====
=====

No.	Inicio	Final	PCI	Piel de Coc. (m ²)	Parqueo (m ²)	Huecos (un)	Reconst. (m ²)	Observaciones
1	650	690	94	0	0	0		
2	690	730	100	0	0	0		
3	730	770	95	0	5	0		
4	770	810	100	0	0	0		
5	810	850	100	0	0	0		

=====

PCI DEL TRAMO: 97.8

CLASIFICACIÓN: Excelente

**PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
LEVANTAMIENTO 2**

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela

Pavimentos asfálticos

=====

Archivo C:\Documents and Settings\HP_Owner.WILL.001\Desktop\TESIS FINAL\PCI\LEV 1\UnaIPCA - SUCHITOTO (LEV 02).csv

=====

No.	Inicio	Final	PCI	Piel de Coc. (m ²)	Parqueo (m ²)	Huecos (un)	Reconst. (m ²)	Observaciones
1	650	690	94	0	0	0		
2	690	730	100	0	0	0		10-(L) 1.82(2-100)
3	730	770	95	0	5	0		
4	770	810	100	0	0	0		
5	810	850	100	0	0	0		

PCI DEL TRAMO: 97.8

CLASIFICACIÓN: Excelente

**PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
LEVANTAMIENTO 3**

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela

Pavimentos asfálticos

=====
Archivo C:\Documents and Settings\HP_Owner.WILL.001\Desktop\TESIS FINAL\PCI\LEV 1\UnaIPCA - SUCHITOTO (LEV 03).csv

=====
=====

No.	Inicio	Final	PCI	Piel de Coc. (m ²)	Parqueo (m ²)	Huecos (un)	Reconst. (m ²)	Observaciones
1	650	690	44	0	0	3		
2	690	730	99	0	0	0		
3	730	770	95	0	5	0		
4	770	810	100	0	0	0		
5	810	850	100	0	0	0		

=====

PCI DEL TRAMO: 87.6

CLASIFICACIÓN: Excelente

**PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
LEVANTAMIENTO 4**

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela

Pavimentos asfálticos

=====

Archivo C:\Documents and Settings\HP_Owner.WILL.001\Desktop\TESIS FINAL\PCI\LEV 1\UnaIPCIA - SUCHITOTO (LEV 04).csv

=====

No.	Inicio	Final	PCI	Piel de Coc. (m ²)	Parqueo (m ²)	Huecos (un)	Reconst. (m ²)	Observaciones
1	650	690	29	0	0	7		03-(L) 0.47(2-100)
2	690	730	29	0	0	7		
3	730	770	45	0	5	0		
4	770	810	48	0	0	2		
5	810	850	100	0	0	0		

PCI DEL TRAMO: 50.2

CLASIFICACIÓN: Regular

**INDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO
PCI-01 CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA**

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA:		
RUTA:	CUS18E / Suchitoto - Cinquera	UNIDAD DE MUESTREO (m):	40.00			
ESTACIÓN:	0+650.00 a 0+690.00	ANCHO DE VIA (m):	5.30			
FECHA:	15 de Septiembre de 2010	AREA DE MUESTREO (m²):	212.00			
Nº	DAÑO	Nº	DAÑO			
1	Piel de Cocodrilo	11	Parqueo			
2	Exudación	12	Pulimento de Agregados			
3	Agrietamiento en Bloque	13	Huecos			
4	Abultamientos y Hundimientos	14	Cruce de Vía Férrea			
5	Corrugación	15	Ahuellamiento			
6	Depresión	16	Desplazamiento			
7	Grieta de Borde	17	Grieta Parabólica (slippage)			
8	Grieta de Reflexión de Junta	18	Hinchamiento			
9	Desnivel Carril / Berma	19	Desprendimiento de Agregados			
10	Grietas Long. Y Transversal					
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
10	BAJA	16,00 Metros Lineales		16.00	7.55%	6.20
13	BAJO	Bache de 0.40 x 0.40 x 0.020 m		1.00	0.47%	10.40
13	MEDIO	Bache de 0.40 x 0.40 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.40 x 0.50 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.45 x 0.38 x 0.030 m		3.00	1.42%	37.40
13	ALTO	Bache de 0.55 x 0.50 x 0.070 m				
13	ALTO	Bache de 0.65 x 0.60 x 0.080 m				
13	ALTO	Bache de 0.60 x 0.60 x 0.080 m		3.00	1.42%	59.10
3	BAJO	1.00 m² de Agrietamiento en Bloque		1.00	0.47%	ERROR

**INDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO
PCI-01 CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA**

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA: 		
RUTA:	CUS18E / Suchitoto - Cinquera	UNIDAD DE MUESTREO (m):	40.00			
ESTACIÓN:	0+690.00 a 0+730.00	ANCHO DE VIA (m):	5.50			
FECHA:	15 de Septiembre de 2010	AREA DE MUESTREO (m²):	220.00			
Nº	DAÑO	Nº	DAÑO			
1	Piel de Cocodrilo	11	Parqueo			
2	Exudación	12	Pulimento de Agregados			
3	Agrietamiento en Bloque	13	Huecos			
4	Abultamientos y Hundimientos	14	Cruce de Vía Férrea			
5	Corrugación	15	Ahuellamiento			
6	Depresión	16	Desplazamiento			
7	Grieta de Borde	17	Grieta Parabólica (slippage)			
8	Grieta de Reflexión de Junta	18	Hinchamiento			
9	Desnivel Carril / Berma	19	Desprendimiento de Agregados			
10	Grietas Long. Y Transversal					
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
10	BAJA	5,00 Metros Lineales		5.00	2.27%	0.70
13	MEDIO	Bache de 0.35 x 0.35 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.30 x 0.30 x 0.030 m				
13	MEDIO	Bache de 0.40 x 0.50 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.30 x 0.35 x 0.030 m				
13	MEDIO	Bache de 0.35 x 0.35 x 0.030 m		5.00	2.27%	47.80
13	ALTO	Bache de 0.48 x 0.48 x 0.080 m				
13	ALTO	Bache de 0.53 x 0.53 x 0.080 m		2.00	0.91%	50.70

**PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
LEVANTAMIENTO 5**

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela

Pavimentos asfálticos

=====

Archivo C:\Documents and Settings\HP_Owner.WILL.001\Desktop\TESIS FINAL\PCI\LEV 1\UnaIPCA - SUCHITOTO (LEV 05).csv

=====

No.	Inicio	Final	PCI	Piel de Coc. (m ²)	Parqueo (m ²)	Huecos (un)	Reconst. (m ²)	Observaciones
1	650	690	25	0	0	8		03-(L) 0.47(2-100)
2	690	730	29	0	0	7		03-(L) 1.82(2-100)
3	730	770	45	0	5	0		
4	770	810	48	0	0	2		
5	810	850	100	0	0	0		

PCI DEL TRAMO: 49.4

CLASIFICACIÓN: Regular

**INDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO
PCI-01 CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA**

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA:		
RUTA:	CUS18E / Suchitoto - Cinquera	UNIDAD DE MUESTREO (m):	40.00			
ESTACIÓN:	0+650.00 a 0+690.00	ANCHO DE VIA (m):	5.30			
FECHA:	30 de Octubre de 2010	AREA DE MUESTREO (m²):	212.00			
Nº	DAÑO	Nº	DAÑO			
1	Piel de Cocodrilo	11	Parqueo			
2	Exudación	12	Pulimento de Agregados			
3	Agrietamiento en Bloque	13	Huecos			
4	Abultamientos y Hundimientos	14	Cruce de Vía Férrea			
5	Corrugación	15	Ahuellamiento			
6	Depresión	16	Desplazamiento			
7	Grieta de Borde	17	Grieta Parabólica (slippage)			
8	Grieta de Reflexión de Junta	18	Hinchamiento			
9	Desnivel Carril / Berma	19	Desprendimiento de Agregados			
10	Grietas Long. Y Transversal					
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
10	BAJA	16,00 Metros Lineales		16.00	7.55%	6.20
13	BAJO	Bache de 0.40 x 0.40 x 0.020 m		1.00	0.47%	10.40
13	MEDIO	Bache de 0.40 x 0.40 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.40 x 0.50 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.45 x 0.38 x 0.030 m		3.00	1.42%	37.40
13	ALTO	Bache de 0.55 x 0.50 x 0.070 m				
13	ALTO	Bache de 0.65 x 0.60 x 0.080 m				
13	ALTO	Bache de 0.60 x 0.60 x 0.080 m				
13	ALTO	Bache de 0.40 x 0.35 x 0.050 m		4.00	1.89%	65.60
3	BAJO	1.00 m² de Agrietamiento en Bloque		1.00	0.47%	ERROR

**INDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO
PCI-01 CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA**

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA:		
RUTA:	CUS18E / Suchitoto - Cinquera	UNIDAD DE MUESTREO (m):	40.00			
ESTACIÓN:	0+690.00 a 0+730.00	ANCHO DE VIA (m):	5.50			
FECHA:	30 de Octubre de 2010	AREA DE MUESTREO (m²):	220.00			
Nº	DAÑO	Nº	DAÑO			
1	Piel de Cocodrilo	11	Parcheo			
2	Exudación	12	Pulimento de Agregados			
3	Agrietamiento en Bloque	13	Huecos			
4	Abultamientos y Hundimientos	14	Cruce de Vía Férrea			
5	Corrugación	15	Ahuellamiento			
6	Depresión	16	Desplazamiento			
7	Grieta de Borde	17	Grieta Parabólica (slippage)			
8	Grieta de Reflexión de Junta	18	Hinchamiento			
9	Desnivel Carril / Berma	19	Desprendimiento de Agregados			
10	Grietas Long. Y Transversal					
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
10	BAJA	5,00 Metros Lineales		5.00	2.27%	0.70
13	MEDIO	Bache de 0.35 x 0.35 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.30 x 0.30 x 0.030 m				
13	MEDIO	Bache de 0.40 x 0.50 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.30 x 0.35 x 0.030 m				
13	MEDIO	Bache de 0.35 x 0.35 x 0.030 m		5.00	2.27%	47.80
13	ALTO	Bache de 0.48 x 0.48 x 0.080 m				
13	ALTO	Bache de 0.53 x 0.53 x 0.080 m		2.00	0.91%	50.70
3	BAJA	4.00 m² de Agrietamiento en Bloque		4.00	1.82%	ERROR

**PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
LEVANTAMIENTO 6**

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela

Pavimentos asfálticos

=====
Archivo C:\Documents and Settings\HP_Owner.WILL.001\Desktop\TESIS FINAL\PCI\LEV 1\UnaIPCIA - SUCHITOTO (LEV 06).csv

=====
=====

No.	Inicio	Final	PCI	Piel de Coc. (m ²)	Parcheo (m ²)	Huecos (un)	Reconst. (m ²)	Observaciones
1	650	690	25	0	0	8		03-(L) 0.47(2-100)
2	690	730	28	0	0	7		
3	730	770	45	0	5	0		
4	770	810	48	0	0	2		
5	810	850	100	0	0	0		

=====

PCI DEL TRAMO: 49.2

CLASIFICACIÓN: Regular

**INDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO
PCI-01 CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA**

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA:		
RUTA:	CUS18E / Suchitoto - Cinquera	UNIDAD DE MUESTREO (m):	40.00			
ESTACIÓN:	0+650.00 a 0+690.00	ANCHO DE VIA (m):	5.30			
FECHA:	30 de Octubre de 2010	AREA DE MUESTREO (m²):	212.00			
Nº	DAÑO	Nº	DAÑO			
1	Piel de Cocodrilo	11	Parqueo			
2	Exudación	12	Pulimento de Agregados			
3	Agrietamiento en Bloque	13	Huecos			
4	Abultamientos y Hundimientos	14	Cruce de Vía Férrea			
5	Corrugación	15	Ahuellamiento			
6	Depresión	16	Desplazamiento			
7	Grieta de Borde	17	Grieta Parabólica (slippage)			
8	Grieta de Reflexión de Junta	18	Hinchamiento			
9	Desnivel Carril / Berma	19	Desprendimiento de Agregados			
10	Grietas Long. Y Transversal					
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
10	BAJA	16,00 Metros Lineales		16.00	7.55%	6.20
13	BAJO	Bache de 0.40 x 0.40 x 0.020 m		1.00	0.47%	10.40
13	MEDIO	Bache de 0.40 x 0.40 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.40 x 0.50 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.45 x 0.38 x 0.030 m		3.00	1.42%	37.40
13	ALTO	Bache de 0.55 x 0.50 x 0.070 m				
13	ALTO	Bache de 0.65 x 0.60 x 0.080 m				
13	ALTO	Bache de 0.60 x 0.60 x 0.080 m				
13	ALTO	Bache de 0.40 x 0.35 x 0.050 m		4.00	1.89%	65.60
3	BAJO	1.00 m² de Agrietamiento en Bloque		1.00	0.47%	ERROR

**INDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO
PCI-01 CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA**

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA:		
RUTA:	CUS18E / Suchitoto - Cinquera	UNIDAD DE MUESTREO (m):	40.00			
ESTACIÓN:	0+690.00 a 0+730.00	ANCHO DE VIA (m):	5.50			
FECHA:	30 de Octubre de 2010	AREA DE MUESTREO (m²):	220.00			
Nº	DAÑO	Nº	DAÑO			
1	Piel de Cocodrilo	11	Parqueo			
2	Exudación	12	Pulimento de Agregados			
3	Agrietamiento en Bloque	13	Huecos			
4	Abultamientos y Hundimientos	14	Cruce de Vía Férrea			
5	Corrugación	15	Ahuellamiento			
6	Depresión	16	Desplazamiento			
7	Grieta de Borde	17	Grieta Parabólica (slippage)			
8	Grieta de Reflexión de Junta	18	Hinchamiento			
9	Desnivel Carril / Berma	19	Desprendimiento de Agregados			
10	Grietas Long. Y Transversal					
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
10	BAJA	5,00 Metros Lineales		5.00	2.27%	0.70
13	MEDIO	Bache de 0.35 x 0.35 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.30 x 0.30 x 0.030 m				
13	MEDIO	Bache de 0.40 x 0.50 x 0.050 m				
13	MEDIO	Bache de 0.30 x 0.35 x 0.030 m				
13	MEDIO	Bache de 0.35 x 0.35 x 0.030 m		5.00	2.27%	47.80
13	ALTO	Bache de 0.48 x 0.48 x 0.080 m				
13	ALTO	Bache de 0.53 x 0.53 x 0.080 m		2.00	0.91%	50.70
3	BAJA	4.00 m² de Agrietamiento en Bloque		5.00	2.27%	1.80

BIBLIOGRAFIA

- Guerra Flores, Oscar Armando y Otros. Tesis: **“TECNICAS PARA EL MEJORAMIENTO DE CAMINOS RURALES SOSTENIBLES”**. Universidad de El Salvador, Agosto 2003.
- Huevo Maldonado, Heber Manrique y Otros. Tesis: **“GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN EL SALVADOR”**. Universidad de El Salvador, Febrero 2009.
- García Trejo, Sandra Lisseth y Otros. Tesis: **“PROPUESTA DE UN MANUAL DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONFORME A LA NORMA ASTM 2003”**. Universidad de El Salvador, Diciembre 2006.
- Artero Alvarado, Manuel Antonio y Otros. Tesis: **“PROPUESTA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS UNICAPA DE ALTO DESEMPEÑO COMO ALTERNATIVA DE APLICACIÓN A CAMINOS RURALES”**. Universidad de El Salvador, Mayo 2003.
- Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. Manual **“PAVIMENTO UNICAPA DE ALTO DESEMPEÑO”**. Antiguo Cuscatlán, Octubre 2008.
- HEADQUARTERS, DEPARTMENT OF THE ARMY. Technical Manual: **TM 5-626 “UNSURFACED ROAD MAINTENANCE MANAGEMENT”**. United States of America, January 1995.

- DEPARTMENT OF THE ARMY, THE NAVY, AND THE AIR FORCE. Technical Manual: **TM 5-822 “SOIL STABILIZATION FOR PAVEMENTS”**. United States of America, October 1994.
- Ermaccora, Ernesto y Otros. Manual Técnico: **“ESTABILIZADOS DE SUELO ARENA EMULSION EN LA PROVINCIA DE SANTA FE”**. Santa Fe, Colombia.