

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**



TRABAJO DE GRADO:

“ESTUDIO TÉCNICO DE RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS CON LA COMBINACIÓN CAL-CEMENTO COMO ESTABILIZANTE PARA LA CONFORMACIÓN DE BASES”.

PRESENTADO POR:

MARTÍNEZ CANIZALES, GUSTAVO ALBERTO
MEJÍA RIVAS, FRANCISCO ANTONIO
PEREIRA DE CISNEROS, ERENIA MILADICK

PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA ABRIL DE 2016.

SAN MIGUEL

EL SALVADOR

CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Trabajo de Graduación previo al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**“ESTUDIO TÉCNICO DE RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS CON LA
COMBINACIÓN CAL-CEMENTO COMO ESTABILIZANTE PARA LA CONFORMACIÓN
DE BASES”.**

Presentado por:

MARTÍNEZ CANIZALES, GUSTAVO ALBERTO
MEJÍA RIVAS, FRANCISCO ANTONIO
PEREIRA DE CISNEROS, ERENIA MILADICK

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director:

Ing. José Mártir Díaz Guevara

Jurados:

Ing. José Luis Castro Cordero

Ing. Manuel Dolores Quintanilla Quintanilla

San Miguel, Abril de 2016

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

RECTOR INTERINO:

LIC. LUIS ARGUETA ANTILLÓN

VICERECTOR ACADEMICO:

LICDA ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

SECRETARIA GENERAL INTERINA:

LICDA. NORA BEATRIZ MELENDEZ

VICERECTOR ADMINISTRATIVO INTERINO:

ING. CARLOS ARMANDO VILLALTA

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO:

ING. JOAQUIN ORLANDO MACHUCA.

VICE DECANO:

LIC. CARLOS ALEXANDER DÍAZ.

SECRETARIO:

LIC. JORGE ALBERTO ORTEZ HERNANDEZ.

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA:

ING. JUAN ANTONIO GRANILLO.

COORDINADORA DEL PROCESO DE GRADUACION

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

TRABAJO DE GRADO APROBADO POR:

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JOSÉ MÁRTIR DÍAZ GUEVARA.

F. _____

COORDINADORA DEL PROCESO DE GRADUACIÓN:

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

F. _____

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos Generales

Agradecemos a las instituciones y personas que nos ayudaron a lo largo de todo este proceso académico.

A la Universidad de El Salvador: Que nos dio la oportunidad de ser parte de ella, por formarnos como profesionales.

A nuestro Docente director: Ing. José Mártir Díaz Guevara por su aporte académico-profesional.

A los ingenieros: Marlon Orlando Cárcamo, Ana Velis Lobo y Xiomara García, por todo el interés mostrado por su tiempo al atendernos y apoyarnos en las visitas de campo.

A los Ingenieros Milagro Romero de García, Rigoberto López, Dilver Sánchez, Manuel Dolores Quintanilla y José Luis Castro Cordero por aportar ideas en el desarrollo del trabajo de graduación.

A don Elizardo por toda su colaboración y apoyo a lo largo de esta investigación.

A DIOS: Por ser quien me permitió la vida y la oportunidad de realizar la presente investigación, así como la fuerza y la valentía para aguantar esas noches de desvelo.

A MI PADRE: JOSÉ FRANCISCO MARTINEZ, por ser quien me pago todos los años de estudio, hasta alcanzar la presente culminación.

A MI MADRE: LILIAN ESPERANZA CANIZALES DE MARTINEZ, por ser mi consejera, y que me apoyo con lo que podía.

A MIS HERMANOS: Luz Elena Martínez, Javier Martínez y Luis Martínez porque de alguna manera me ayudaron y apoyaron en algún momento.

A MIS ASESORES: Ing. José Mártir Díaz, Ing. Dolores Quintanilla, Ing. José Luis Castro, por su ayuda y colaboración en el desarrollo del tema, por forjarnos con sus conocimientos en nuestra formación académica y brindar todo su conocimiento sobre el tema.

A MIS COMPANEROS DE TESIS: Erenia Miladick Pereira y Francisco Antonio Mejía por aguantar todas mis necesidades y compañía.

A MI ESPOSA: LUCY BLANCO por su comprensión y por siempre estar conmigo a lo largo de todas las noches de desvelo.

A MI HIJO: JOSÍAS CALEB MARTÍNEZ, por ser el motivo de mi inspiración.

Gustavo Alberto Martínez Canizales.

Le agradezco a Dios principalmente por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, consciente de que sin él nada se puede lograr, gracias por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Luis Francisco Mejía y Rosa Mabel Rivas de Mejía por apoyarme en todo momento incondicionalmente, por creer en mí, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida a pesar de muchos obstáculos. Y Sobre todo por ser ellos un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mi segunda madre Blanca Lidia Mejía le agradezco todas sus atenciones, por estar siempre dándome motivación, a tía Marta Montoya y primo Saúl Montoya ellos son parte de fundamental de este logro.

A mis hermanos Patricia Mejía y Wilber Mejía por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. A Tío Rafael Antonio Mejía, Tía Rosa Arminda Mejía por darme su apoyo siempre que les necesité y por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir, y demás familia que reside fuera del país, gracias por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.

A mis abuelos, Rafael Antonio Mejía, Benito Armando Lovo, y bisabuelos José Gabriel y bisabuela María Prudencia y mis tíos Cesar Napoleón Lovo y Benito Armando que aunque ya no se encuentren con nosotros físicamente, siempre estarán presentes en mi corazón, por haber creído en mí hasta el último momento. ¡Ya soy Ingeniero!

A mi Licda SY, por ser una parte importante de mi vida, por estar siempre pendiente de mí trabajo de graduación (tesis), y sobre todo por su comprensión y apoyo incondicional.

A Erenia y Gustavo por haber sido unos excelentes compañeros de tesis y amigos, por haberme tenido la paciencia necesaria y por motivarme.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

Francisco Antonio Mejía Rivas.

A Dios por darme la vida y permitirme llegar a esta etapa de mi vida, a mis padres Alba Cecilia Pereira y José Dionicio Guevara por darme su apoyo económico y moral para continuar en este proceso, a mis hermanos Alexis, Francisco, Tatiana y Enrique Pereira por todas las bromas y ánimos brindados, a mi querida abuela Alba Luz Pereira que es parte importante de mi vida pues ha sido como mi otra mamá, a mi cuñada Lilian Hernández y mis sobrinos Génesis y Diego Pereira, a mis primos Gisela y Josué Pereira por su paciencia y ayuda al cuidar a Oscarito cada vez que lo necesite, a mi tío Arquímedes Pereira y su esposa Grisel Batres pues siempre me han apoyado cuando lo requerí y a todo el resto de mi familia tíos y primos, a mi esposo José Oscar Cisneros por todo su tiempo, ayuda, asesoría y ánimos brindados, a mi hijo José Oscar Cisneros Pereira por llegar a nuestras vidas y ser el motorcito de emociones, a mis suegros María Dolores Mejía y Carlos Humberto Cisneros y a mi cuñado Alexander Cisneros por el apoyo que me han dado siempre, al padre Enrique Gloden y al padre Antonio Confesor Carballo por confiar en mí y ayudarme cuando más lo necesite, a mis compañeros Gustavo y Francisco por su esfuerzo y dedicación en este proceso, y a todas las personas que directa o indirectamente han ayudado a que se completara este trabajo.

Erenia Miladick Pereira de Cisneros.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. GENERALIDADES	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Enunciado del problema	4
1.4 Justificación	4
1.5 Objetivos	7
1.5.1 Objetivo general	7
1.5.2 Objetivos específicos	7
1.6 Alcances	8
1.7 Limitaciones	9
CAPITULO II. MARCO TEORICO	10
2.1 Fases básicas del suelo.	10
2.1.1 Variación volumétrica	10
2.2 Resistencia mecánica portante.	10
2.3 Propiedades de los suelos.	11
2.3.1 Tipos de suelos	11
2.3.2 Clasificación de los suelos.	12
2.4 Pavimento	12
2.4.1 Elementos que integran el pavimento flexible	13
2.4.2 Principales factores que afectan la estructura de pavimento	15
2.5 Índice De Condición del Pavimento	17
2.6 Tipos de fallas en pavimentos flexibles	20
2.6.1 Calidad de tránsito.	21
2.7 Manual de daños en vías con superficie de concreto asfáltico	22
2.7.1 Piel de cocodrilo.	22

2.7.2 Exudación.	23
2.7.3 Agrietamiento en bloque.	24
2.7.4 Abultamientos y hundimientos	25
2.7.5 Corrugación.	26
2.7.6 Depresión.	27
2.7.7 Grieta de borde.	28
2.7.8 Desnivel carril / berma.	29
2.7.9 Grietas longitudinales y transversales.	30
2.7.10 Parcheo y acometidas de servicios públicos.	32
2.7.11 Pulimento de agregados.	33
2.7.12 Huecos.	34
2.7.13 Cruce de vía férrea.	36
2.6.2.14 Ahuellamiento.	36
2.7.15 Desplazamiento.	37
2.7.16 Grietas parabólicas.	38
2.7.17 Hinchamiento.	39
2.7.18 Meteorización / desprendimiento de agregados.	40
2.8 Reciclaje de pavimentos	41
2.8.1 Ventajas del reciclaje de pavimentos	42
2.8.2 Clasificación de las tecnologías de reciclado de los pavimentos flexibles.	45
2.9 Estabilización de suelos	49
2.9.1 Tipos de estabilización de suelos.	49
2.9.2 Método para la elección de un agente estabilizante.	51
2.9.3 Criterios para la elección del estabilizante del suelo.	52
2.9.4 Características de los materiales	52
2.9.5 Estabilización de suelos con cemento.	54
2.9.6 Tipo de suelos para estabilizar con cal.	59
2.9.6.1 Cales utilizadas para la estabilización de suelos	63
2.9.6.2 Características de la cal para la estabilización de suelos.	64
2.9.6.4 Especificaciones de cal para estabilización de suelos	65
CAPITULO III. METODOLOGIA DEL ESTUDIO	76
3.1 Ubicación del estudio	76
3.1.1 Tipo de investigación	76
3.1.1.1 Etapa 1: Recolección de información	76
3.1.1.2 Etapa 2: Visitas y Entrevistas	77
3.1.1.3 Etapa 3: Pruebas de suelos	77
3.1.1.4 Etapa 4: Análisis y clasificación de la información obtenida	80
3.1.1.5 Etapa 5: Propuesta	81

3.2 Proceso usado para la recolección de datos en campo	82
3.2.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento	82
3.3 Estudio geotécnico	87
3.3.1 Obtención de muestras de suelos	88
3.3.2 Pozos a cielo abierto	89
3.3.3 Límites de consistencia	89
3.3.4 Ensayo de granulometría	93
3.3.5 Ensayo de la compactación y humedad óptima (Próctor)	96
CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS	100
4.1 Evaluación de la condición de la ruta UNI19E, tramo a UNI04E - El Sauce.	100
4.1.1 Aplicación del método a la ruta en estudio	100
4.1.2 Resultados de las muestras analizadas	101
4.1.3 Resumen de resultados	106
4.2 Análisis granulométrico	108
4.3 Límites de consistencia	116
4.3.1 Valores obtenidos	117
4.3.2 Valores obtenidos	119
4.3.3 Valores obtenidos	121
4.4 Relación densidad – humedad	122
4.5 Resistencia a la compresión	132
4.6 Comparación de resultados obtenidos con normas usadas	138
4.7 Comparación económica	142
CAPITULO V. GUIA METODOLOGICA PARA EL RECICLAJE DE PAVIMENTOS	144
5.1 Requerimiento de construcción.	144
5.2 Conformación preliminar	144
5.2.1 Fresado preliminar.	144
5.2.3 Formula de trabajo	145
5.3 Determinación de la cantidad de cal a utilizar	145
5.4 Ejecución de la estabilización	146
5.4.1 Extendido de la cal.	148

5.5 Extensión del agente estabilizador cemento	152
5.6 Compactación de base.	160
5.7 Protección de la base	161
5.8 Colocación de la mezcla en campo	161
6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	164
6.1 Conclusiones	164
6.2 Recomendaciones	165
BILIOGRAFIA	166
ANEXOS	170
Anexo 1 curvas para determinar el valor deducido para el daño Piel de cocodrilo.	170
Anexo 2 curvas para determinar el valor deducido para el daño Exudación.	170
Anexo 3 curvas para determinar el valor deducido para el daño Agrietamiento en bloque	171
Anexo 4 curvas para determinar el valor deducido para el daño Abultamiento y Hundimiento.	171
Anexo 5 curvas para determinar el valor deducido para el daño Corrugación	172
Anexo 6 curvas para determinar el valor deducido para el daño Depresión	172
Anexo 7 curvas para determinar el valor deducido para el daño Grieta de borde.	173
Anexo 8 curvas para determinar el valor deducido para el daño Grieta de reflexión de junta.	173
Anexo 9 curvas para determinar el valor deducido para el daño desnivel de carril berma.	174
Anexo 10 curvas para determinar el valor deducido para el daño Grietas longitudinales y transversales.	174
Anexo 11 curvas para determinar el valor deducido para el daño Parcheo.	175

Anexo 12 curvas para determinar el valor deducido para el daño Pulimento de agregados.	175
Anexo 13 curvas para determinar el valor deducido para el daño Huecos.	176
Anexo 14 curvas para determinar el valor deducido para el daño cruce de vía férrea.	176
Anexo 15 curvas para determinar el valor deducido para el daño ahuellamiento.	177
Anexo 16 curvas para determinar el valor deducido para el daño Desplazamiento.	177
Anexo 17 curvas para determinar el valor deducido para el daño Grietas parabólicas o por deslizamiento.	178
Anexo 18 curvas para determinar el valor deducido para el daño Hinchamiento.	178
Anexo 19 curvas para determinar el valor deducido para el daño Meteorización o Desprendimiento de agregados.	179
Anexo 20 curvas para determinar el valor de q.	180
Anexo 21 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número dos.	181
Anexo 22 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número tres.	182
Anexo 23 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número cuatro.	183
Anexo 24 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número cinco.	184
Anexo 25 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número seis.	185
Anexo 26 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número siete.	186
Anexo 27 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número ocho.	187
Anexo 28 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número nueve.	188
Anexo 29 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número diez.	189
Anexo 30 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número once.	190
Anexo 31 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número doce.	191
Anexo 32 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número trece.	192
Anexo 33 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número catorce.	193

Anexo 34 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número dos.	194
Anexo 35 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número tres.	194
Anexo 36 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número cuatro.	195
Anexo 37 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número cinco.	195
Anexo 38 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número seis.	196
Anexo 39 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número siete.	196
Anexo 40 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número ocho.	197
Anexo 41 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número nueve.	197
Anexo 42 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número diez.	198
Anexo 43 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número once.	198
Anexo 44 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número doce.	199
Anexo 45 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número trece.	199
Anexo 46 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número catorce.	200
Anexo 47 Resultados para muestras en estación 2+660.	201
Anexo 48 Resultados para Diseño de suelo más cemento sondeo 1.	202
Anexo 49 Resultados para Resistencia a la compresión de los cilindros suelo más cemento material más 4% de cemento sondeo 1.	203
Anexo 50 Resultados para Resistencia a la compresión de los cilindros suelo más cemento material más 3% de cemento sondeo 1.	204
Anexo 51 Resultados para Resistencia a la compresión de los cilindros suelo más cemento material más 2% de cemento sondeo 1.	205
Anexo 52 Resultados para Análisis granulométrico sondeo 1.	206
Anexo 53 Resultados para Límites de consistencia sondeo 1.	207
Anexo 54 Resultados para Método de prueba estándar para la compactación de laboratorio, esfuerzo modificado, suelo natural, sondeo 1.	208

Anexo 55 Resultados para Método de prueba estándar para la compactación de laboratorio, esfuerzo modificado, con el 3.5% de cemento, sondeo 1.	209
Anexo 56 Resultados para sondeo 2, Estación 3+450.	210
Anexo 57 Resultados para diseño de suelo más cemento, sondeo 2.	211
Anexo 58 Resultados para Análisis granulométrico, sondeo 2	212
Anexo 59 Resultados para Límites de consistencia, suelo natural, sondeo 2	213
Anexo 60 Resultados para Límites de consistencia, suelo natural más 2% de cal, sondeo 2.	214
Anexo 61 Resultados para Método de prueba estándar para la compactación de laboratorio, esfuerzo modificado, 2% de cal +2% de cemento, sondeo 2.	215
Anexo 62 Resultados para Método de prueba estándar para la compactación de laboratorio, esfuerzo modificado, suelo natural, sondeo 2.	216
Anexo 63 Resultados para Método de prueba estándar para la compresión de cilindros moldeados, suelo más 2% de cal más 3% cemento, sondeo 2.	217
Anexo 64 Resultados para Método de prueba estándar para la compresión de cilindros moldeados, suelo más 2% de cal más 2% de cemento, sondeo 2.	218

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 2.1 Esquema típico del paquete estructural.....	12
Figura 2.2 Rangos de calificación del PCI según ASTM- D6433.....	19
Figura 2.3 Falla de piel de cocodrilo	23
Figura 2.4 Falla de Exudación	24
Figura 2.5 Falla de agrietamiento en bloque.....	25
Figura 2.6 Falla de abultamiento y hundimiento	26
Figura 2.7 Falla de corrugación	27
Figura 2.8 Falla de depresión	28
Figura 2.9 Falla de grieta de borde.....	29
Figura 2.10 Falla de desnivel de carril/berma	30
Figura 2.11 Falla de grietas longitudinales y transversales.....	31
Figura 2.12 Falla parcheo	33
Figura 2.13 Falla pulimento de agregados.....	34
Figura 2.14 Falla huecos	35
Figura 2.15 Falla cruce de vía férrea de severidad baja media y alta....	36
Figura 2.16 Falla de ahuellamiento	37
Figura 2.17 Falla de desplazamiento	38
Figura 2.18 Falla de grietas parabólicas.....	39
Figura 2.19 Falla de hinchamiento	40
Figura 2.20 Falla de desprendimiento de agregados.....	41
Figura 2.21 Reactividad de la cal.....	65
Figura 2.22 Ejecución de estabilización de explanadas	68

Figura 2.23 Suelo tratado con cal.....	69
--	----

CAPITULO III

Figura 3.1 Cuadrante Concepción de Oriente	76
Figura 3.2 Estado de la carretera en estudio.....	78
Figura 3.3 Deterioro del asfalto en carretera en estudio.....	79
Figura 3.4 Carretera prácticamente sin asfalto	79
Figura 3.5 Parte de la carretera dañada	80
Figura 3.6 Control de calidad en el proceso constructivo.....	81
Figura 3.7 Formato usado para recolección de datos de campo.....	83
Figura 3.8 Formato usado para la obtención del máximo valor deducido corregido.....	87
Figura 3.9 Obtención de muestras	88
Figura 3.10 Mezclado del material utilizando una espátula.....	91
Figura 3.11 Muestra del suelo en copa casa grande.....	91
Figura 3.12 Rolado de la barrita de suelo.....	92
Figura 3.13 Porciones de suelos obtenidas en ensayo de límites	92
Figura 3.14 Equipo utilizado en el ensayo de límites.....	93
Figura 3.15 Balanza de 0.1 gr. de precisión.....	95
Figura 3.16 Brochas y recipientes para pesar muestras.....	96
Figura 3.17 Moldes para ensayos de compactación	97
Figura 3.18 Equipo utilizado para el ensayo de compactación.....	98

CAPITULO IV

Figura 4.1 Grafica de la curva granulométrica, muestra # 1.....	111
Figura 4.2 Grafica de la curva granulométrica, muestra # 2.....	113

Figura 4.3 Grafica de límite líquido, muestra #1, suelo natural.....	117
Figura 4.4 Grafica de límite líquido, suelo sin cal.....	119
Figura 4.5 Grafica de límite líquido, muestra # 2 con cemento y cal.....	121
Figura 4.6 Grafica de relación densidad- humedad sin cemento.....	124
Figura 4.7 Grafica de relación densidad- humedad con cemento.....	126
Figura 4.8 Grafica de relación densidad- humedad con cemento.....	128
Figura 4.9 Grafica de relación densidad- humedad con suelo + cemento + cal.....	130
Figura 4.10 Línea de tendencia de % de cemento Vrs Resistencia.....	134
Figura 4.11 Línea de tendencia de % de cemento Vrs Resistencia.....	136

CAPITULO V

Figura 5.1 Escarificación del pavimento viejo y base.....	147
Figura 5.2 Escarificado de la vía.....	148
Figura 5.3 Extendido de la cal con motoniveladora.....	149
Figura 5.4 Mezclado de la capa reciclada.....	150
Figura 5.5 Compactación de la capa base.....	151
Figura 5.6 Distribución del agente estabilizante.....	153
Figura 5.7 Esquema de separación de bolsas de cemento.....	154
Figura 5.8 Tramo que cubre una bolsa de cemento.....	154
Figura 5.9 Distancia entre sacos de cemento.....	155
Figura 5.10 Colocación del cemento	156
Figura 5.11 Determinación de humedad en campo.....	157
Figura 5.12 Verificado de espesor de las partículas.....	159
Figura 5.13 Uso de motoniveladora para conformar la superficie.....	160
Figura 5.14 Utilización de compactadores vibratorios.....	161

Figura 5.15 Colocación de la mezcla en el sitio.....	162
--	-----

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II

Tabla 2.1 Tipos de falla en pavimentos flexibles.....	20
Tabla 2.2 Niveles de severidad para huecos.....	35
Tabla 2.3 Tipos de estabilización.....	51
Tabla 2.4 Aplicabilidad de los métodos	51
Tabla 2.5 Resistencia requerida para suelos estabilizados con cemento ...	58
Tabla 2.6 Requisitos para la graduación de los materiales.....	59
Tabla 2.7 Características de la cal Clase I.....	66
Tabla 2.8 Características de la cal Clase II.....	66
Tabla 2.9 Requisitos para la graduación de los agregados.....	74
Tabla 2.10 Requisitos para compresión uniaxial.....	75

CAPITULO III

Tabla 3.1 Longitudes de unidades de muestreo para carreteras asfálticas.....	84
--	----

CAPITULO IV

Tabla 4.1 Valores deducidos corregidos para unidad de muestreo número uno.....	106
Tabla 4.2 Resumen de datos obtenidos del PCI individual por muestra.....	107
Tabla 4.3 Estado de las unidades de muestreo.....	108
Tabla 4.4 Datos iniciales para el análisis granulométrico, muestra # 1.....	109

Tabla 4.5 Resultados de humedad.....	109
Tabla 4.6 Porcentajes retenidos en tamices, muestra # 1.....	110
Tabla 4.7 Resultados en porcentajes, muestra # 1.....	110
Tabla 4.8 Datos iniciales para el análisis granulométrico, muestra # 2.....	111
Tabla 4.9 Resultados de humedad, muestra # 2.....	112
Tabla 4.10 Porcentajes retenidos en tamices, muestra # 2.....	112
Tabla 4.11 Resultados en porcentajes, muestra # 2.....	113
Tabla 4.12 Resumen de resultados de granulometría.....	114
Tabla 4.13 Tabulación de datos de ensayo de límites de consistencia suelo natural.....	116
Tabla 4.14 Tabulación de datos de ensayo de límites de consistencia, suelo sin cal.....	118
Tabla 4.15 Tabulación de datos de ensayo de límites de consistencia, muestra # 2 con cemento y cal.....	120
Tabla 4.16 Datos obtenidos relación densidad- humedad sin cemento.....	123
Tabla 4.17 Datos obtenidos relación densidad- humedad sin cemento.....	123
Tabla 4.18 Cuadro resumen de valores densidad humedad sin cemento....	124
Tabla 4.19 Datos obtenidos relación densidad- humedad con cemento.....	125
Tabla 4.20 Datos obtenidos relación densidad- humedad con cemento.....	125
Tabla 4.21 Cuadro resumen de valores densidad-humedad con cemento...	126
Tabla 4.22 Datos obtenidos relación densidad- humedad suelo natural... ..	127
Tabla 4.23 Datos obtenidos relación densidad- humedad suelo natural.....	127
Tabla 4.24 Cuadro resumen de valores densidad-humedad suelo natural...	128
Tabla 4.25 Datos obtenidos relación densidad- humedad suelo + cemento + cal.....	129
Tabla 4.26 Datos obtenidos relación densidad- humedad suelo + cemento + cal.....	129
Tabla 4.27 Cuadro resumen de valores densidad-humedad suelo + cemento + cal.....	130
Tabla 4.28 Resultados de material + 4% de cemento.....	132

Tabla 4.29 Resultados de material + 3% de cemento.....	133
Tabla 4.30 Resultados de material + 2% de cemento.....	131
Tabla 4.31 Resultados de material + 3% de cemento + 2% de cal.....	135
Tabla 4.32 Resultados de material + 2% de cemento + 2% de cal.....	136
Tabla 4.33 Condiciones originales Vrs condiciones con base estabilizada..	138
Tabla 4.34 Comparación de resistencia con norma AASHTO.....	138
Tabla 4.45 Comparación de plasticidad con ASTM.....	139
Tabla 4.36 Ventajas y desventajas del reciclado con cal cemento y otros métodos.....	140
Tabla 4.37 Comparación de costos	142
Tabla 4.38 Calculo de costos para el reciclaje de pavimentos.....	143

Definiciones y abreviaturas

Agregado: un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Base: Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

Calzada: zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos, con ancho suficiente para acomodar un cierto número de carriles para el movimiento de los mismos, excluyendo los hombros laterales.

Daños: Desperfectos ocurridos en la superficie de una carretera debido a efectos del clima y tránsito.

Hombro: Las áreas de la carretera, contiguas y paralelas a la carpeta o superficie de rodadura, que sirven de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos,

Pavimento: La estructura integral de las capas de subrasante, subbase, base y carpeta colocado encima de la rasante y destinada a sostener las cargas vehiculares.

Reconstrucción: Trabajo mayor de rehabilitación de una carretera en mal estado, para establecer sus condiciones físicas a un mejor nivel de servicio, al que fue construida anteriormente.

Rehabilitación: Ejecución de las actividades constructivas necesarias para restablecer las condiciones físicas de la carretera a su situación como fue construida inicialmente.

Transito: Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras, etc....Al respecto (Manual centroamericano para diseño de pavimentos SIECA, 2002).

Cemento: Es un conglomerante formado a partir de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas y que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua.

Cal: Es el producto de la cocción de la piedra caliza, para constituir un material ligante al combinarse con agua y suelo.

ABREVIATURAS

AASHTO: Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y transporte

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas de Material

CBR: California Bearing Ratio o Valor Relativo de Soporte

FOVIAL: Fondo de Conservación Vial

IP: Índice de Plasticidad

MOP: Ministerio de Obras Públicas

RAP: Pavimento Asfáltico Recuperado (carpeta asfáltica existente)

SIECA: Secretaría de Integración Económica Centroamericana

RESUMEN

Para que un país se desarrolle, es necesario que éste posea una adecuada infraestructura vial, tanto para vías pavimentadas como no pavimentadas. Con el objeto del mejoramiento y mantenimiento de vías pavimentadas se buscan técnicas y procedimientos constructivos alternativos de bajo costo y que ambientalmente sean aceptables.

Una alternativa Factible, es el empleo de estabilizantes como la cal y el cemento, por tal motivo el objeto de nuestro trabajo de graduación, radica en la aplicación de nuevas metodologías de tratamiento de estabilización de bases con una combinación de cal, cemento y el aprovechamiento del pavimento reciclado.

En el desarrollo de nuestro estudio caracterizamos las propiedades de los materiales a ser utilizados en los diseños para bases. Para los agentes estabilizantes considerados en este estudio, presentamos la teoría de estabilizantes, su clasificación, requisitos de calidad, ensayos, manipulación, entre otros.

Se hace un estudio básico de los elementos que conforman la base y del diseño estructural. Describiendo el análisis del suelo con sus respectivos ensayos de laboratorio como: análisis granulométrico, límites de consistencia, prueba de Próctor estándar, estos ensayos serán la base en las decisiones del diseño. Así mismo se detalla el procedimiento de ensayos a realizar, la fabricación de probetas de ensayo, curado y su rotura a compresión simple axial sin confinar.

Con los resultados obtenidos de los materiales, como también de los diferentes diseños de mezcla se procederá a compararlos con los valores especificados; finalmente se presentan conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se basa en un método alternativo de estabilización de bases para carreteras pavimentadas, el método se fundamenta principalmente en la utilización de cal, cemento y la reutilización de pavimento en mal estado. El estudio comprende el reciclado del pavimento que se emplea en muchos países en la actualidad para la construcción y conservación de bases para carreteras, en especial las que se emplean en los pavimentos asfálticos, siendo una tendencia actual a nivel mundial de reutilizar todo lo que sea posible, para disminuir los costos así como los impactos negativos al medio ambiente.

El pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico y de la meteorología. Estos dos factores, junto con el envejecimiento natural de los materiales, hacen que el pavimento sufra un proceso de progresivo deterioro. Este envejecimiento y deterioro conlleva a una disminución paulatina en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación.

El desecho de los materiales envejecidos del pavimento, además de provocar problemas relacionados con la adquisición de nuevas materias primas y con su vertido, resulta contraproducente desde el punto de vista técnico debido a que son grandes cantidades de desechos y se requiere de maquinaria para su desalojo además de los costos que esto acarrea. El fresado y reutilización del conglomerado asfáltico comporta un gran ahorro, ya que requiere sólo de un 1% a un 3% de betún adicional ya que pese a estar envejecidos, conservan buena parte de sus cualidades, mientras que una nueva capa de asfalto puede necesitar más del 6% de betún.

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Actualmente, en muchos países se utiliza el fresado para el mantenimiento periódico y en los procesos de rehabilitación por reciclado. De esta forma se retiran capas asfálticas superficiales deterioradas o envejecidas, a fin de posibilitar la reparación de las capas asfálticas inferiores y disminuir la deformación transversal.

En los países europeos, como por ejemplo Alemania, Países Bajos, Dinamarca y Suiza, la proporción de mezclas recicladas con RAP sobre el total de mezclas bituminosas es superior al 15 % (en Dinamarca llega a ser del 34 %). Incluso en España a partir de los 90 el reciclado de pavimentos con emulsiones bituminosas ha ido creciendo. En EEUU se utiliza el 80 % del pavimento asfáltico que se fresa cada año en los proyectos de ensanchamiento y rehabilitación de carreteras. ...Al respecto (Sebastián Marini, 2006)

Estudios mostraron que La red vial de El Salvador se encontraba con altos niveles de deterioro a principios del siglo XXI, debido a la escasa inversión en infraestructura vial, durante la década de los 80 y principios de los 90. ...Al respecto (Marco Tulio Mata 2010)

La técnica de reciclado de pavimento con cemento es una alternativa viable para la conservación y rehabilitación de carreteras de la red primaria la mayor parte de estas vías poseen una capa de rodadura de mezcla asfáltica y base granular, las cuales están formadas por agregados pétreos de muy buena calidad lo que las hace idóneas para la aplicación de la técnica de reciclado in situ con cemento. ... (Ibidem)

Inicialmente se implementó la técnica de reciclado realizando mezclas con 5% de cemento obteniéndose resultados de resistencia a compresión bastante altos por lo cual se procedió a optimizar los diseños de mezcla, reduciendo la cantidad de cemento en algunos casos hasta 2.5% obteniendo las resistencias con las que generalmente se diseña la base de la estructura de pavimento en El Salvador.

1. A la fecha se ha reciclado un volumen aproximado de 700,000 metros cúbicos.

2. A diferencia de otros países, la técnica de reciclado ha sido implementada principalmente en la Red Primaria, la carretera Panamericana y en un mayor porcentaje en la carretera El Litoral, siendo la longitud reciclada del 65%.
3. La técnica ha sido implementada tanto al nivel del mar como en las zonas altas del país. Actualmente el FOVIAL ha extendido el uso de esta técnica a los trabajos de bacheo y reconstrucción de hombros, realizados en los proyectos de mantenimiento rutinario de vías pavimentadas... Al respecto (E. Córdova y M. Cárcamo,2009.)

1.2 Planteamiento del problema

El pavimento de una carretera se mantiene sujeto a la constante acción del tráfico y el clima. Estos factores junto con el envejecimiento natural de los materiales, hacen que la capa del pavimento sufra un proceso de progresivo deterioro. Este envejecimiento del pavimento conlleva una disminución gradual en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación. Las empresas constructoras de carreteras cuentan con una guía de procesos constructivos para las capas de base y sub-base que se fundamenta en resultados del experimento vial de la AASHTO, teniendo técnicas de estabilización comunes con cemento o con cal por separado, pero no combinadas con pavimento reciclado. Estos métodos o técnicas resultan ser inadecuados en algunos tipos de suelos y además muy costosos debido a la presencia de un alto porcentaje de arcilla en los suelos esto requiere el uso de cal, es por eso que nuestra investigación plantea una técnica para combinar los dos elementos que son cal y cemento para lograr una reducción en los gastos y en los materiales empleados.

En este contexto, el reciclado de pavimentos, como medio de racionalizar recursos, toma un renovado protagonismo y se convierte en una necesidad. Las empresas contratistas de FOVIAL realizan el proceso constructivo conocido como “reciclado de pavimentos” que consiste en la reconstrucción de una carretera en mal estado mejorando y rehabilitando dichas carreteras con material fresado y utilizando la combinación cal-cemento como agente estabilizante también utiliza material proveniente de perfilado de pavimentos asfálticos estabilizándolo, sellándolo con emulsión asfáltica y gravilla y finalmente una

carpeta asfáltica. El material aporta la resistencia requerida además que da una buena apariencia a las carreteras, pero no se tiene un documento que determine las propiedades de esta combinación y su comportamiento, dado que es una técnica nueva aplicada en el país, es por eso que esta investigación se enfoca en la evaluación de la calidad de este material para potenciarlo como un material alternativo en la rehabilitación de carreteras.

1.3 Enunciado del problema

¿Es factible la utilización de la capa asfáltica deteriorada como un elemento adecuado en la conformación de bases para carreteras, obteniendo con esto una disminución en el costo, tiempo de ejecución, en daños ambientales, utilizando la combinación cal-cemento como un agente estabilizante?

1.4 Justificación

La reparación y mantenimiento de carreteras en El Salvador son de alto costo, esto provoca que las instituciones encargadas no cuenten con los recursos necesarios para darle el correcto tratamiento a todas las vías del país.

La técnica de pavimentos reciclados en combinación cal-cemento para la rehabilitación de carreteras en el país se usa por parte de FOVIAL, dicha técnica está tomando auge debido a sus ventajas económicas, sociales y ambientales.

Esta técnica surge a partir de nuevas alternativas que nos guíen a reducir costos, de fácil aplicación, que no afecte la durabilidad y no condicione la resistencia de la estructura del pavimento.

Para rehabilitar pavimentos muchas veces se quita el material deteriorado, pero el asfalto es un material biodegradable. Entonces ese mismo material que es piedra y asfalto juntos debe ser estudiado para saber la calidad que tiene. Sabiendo cómo está se puede llegar a un producto final que tenga un comportamiento en campo igual o mejor a un pavimento nuevo.

Las investigaciones pretenden crear una documentación para demostrar la viabilidad del uso de pavimento reciclado ya que, es rentable y ecológico porque no se requiere la utilización de material nuevo y esto no agota los recursos del país, debido a que no requiere la explotación de canteras.

Esta actividad tiene consecuencias benéficas tanto ambientales como económicas, dado que el material retirado por no cumplir con los requisitos de calidad establecidos, se tritura hasta obtener el tamaño adecuado según lo establezca el análisis del laboratorio y se mezcla con materia prima nueva para obtener una nueva base de buena calidad y que se utilizará nuevamente en la estructura de pavimento. El proceso de reciclado está basado en la recuperación de los materiales existentes, agregándoles materiales nuevos y modificadores de asfalto, que ayuden a producir una mezcla de calidad a un costo menor que el de una mezcla nueva.

El presente trabajo se fomentará en una nueva técnica de tratamiento a carreteras como es el uso de pavimentos reciclados con la combinación cal-cemento como agente estabilizante que presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Los bancos de materiales cada vez están más retirados de las obras o los materiales de bancos cercanos son de más difícil extracción, lo que incrementa los costos de construcción y conservación del pavimento.
- ✓ Cuando el reciclado se realiza con procedimientos y proyecto adecuados, la calidad del pavimento reciclado es similar a la de un pavimento nuevo.
- ✓ Ventajas ecológicas. En el mundo contemporáneo es un grave problema los botaderos de desperdicios, por lo que la reutilización de los materiales de un pavimento viejo, reciclándolos, evita el problema de buscarles un lugar adecuado para colocar dichos materiales que serían de desecho y que por tanto podrían ocasionar daños a la ecología del lugar.

- ✓ En el caso de los pavimentos flexibles se obtiene ahorro de energéticos al reaprovechar el aglutinante asfáltico por medio del reciclado.

Actualmente se pueden encontrar equipos de muy alta eficiencia que alcanzan a reciclar en una sola pasada, profundidades de hasta 30 cm de pavimento, fresándolo, produciendo buena granulometría, alta homogeneidad y controlando la adición de productos estabilizantes.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- ✓ Elaborar una guía metodológica sobre la aplicación de reciclado de pavimentos asfálticos estabilizando la base con cal-cemento, para el mantenimiento y rehabilitación de carreteras.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la combinación cal-cemento que servirá de base con el pavimento reciclado.
- Determinar la capacidad de soporte de la combinación cal-cemento y pavimento reciclado.
- Realizar el diseño de mezcla cal-cemento recomendado para cada tipo de suelo estudiado del tramo en cuestión.
- Comparar los resultados obtenidos con las normas técnicas del diseño de carreteras que se usan en el país.

1.6 Alcances

- ✓ Para esta investigación, se realizó una Guía Básica que presenta el proceso constructivo utilizando la combinación de cal y cemento para la estabilización y conformación de la base para los pavimentos asfálticos en el país.
- ✓ El estudio está orientado al mejoramiento del desarrollo alterno de las estructuras de base, utilizando pavimento reciclado, procesos constructivos más adecuados y el control de calidad necesario para la ejecución de proyectos de carreteras.
- ✓ En este estudio se evaluó el deterioro severo del pavimento por medio del método PCI previo a su rehabilitación.
- ✓ Se dan a conocer los procesos constructivos de manera ordenada que se deben implementar por medio de una descripción metodológica, auxiliada con dibujos, fotografías, tablas, etc.
- ✓ Se realizaron ensayos de laboratorio a detalle, a través del desarrollo de este estudio.
- ✓ Para la estabilización de los suelos que se utilizaron para la conformación de bases, solo se usaron materiales como el cemento y la cal en la rehabilitación de carreteras.

1.7 Limitaciones

Las presentes limitaciones restringirán la investigación:

- ✓ La investigación se dio estrictamente en la zona oriental y en proyectos ejecutados por el fondo de conservación vial (FOVIAL). Para ello sea elegido el tramo “Ruta UNI19E: Tramo UNI04E- El Sauce- Concepción de Oriente.
- ✓ La aplicación de pavimentos reciclados in situ con la combinación cal-cemento solo se realizó para la conformación de bases y en el tramo de prueba para la realización de ensayos y diseño de mezcla no se incluyen obras de mitigación y drenajes.
- ✓ El tramo de prueba se limitó a una longitud total de quinientos metros, el cual se adecua con los numerosos ensayos, tiempos y recurso disponibles. (Granulometría, límites de Atterberg, relación Densidad-Humedad, Resistencia a la compresión, diseños de mezcla).
- ✓ Esta técnica puede ser utilizada en suelos con alto contenido de arcillas

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 Fases básicas del suelo.

El suelo está formado por tres fases típicas diferentes, una parte sólida, otra gaseosa y la tercera líquida. La sólida está formada en su mayoría por partículas minerales y material orgánico descompuesto mezclados en el suelo; la líquida está constituida por el agua, aunque en los suelos pueden existir otros líquidos de menor importancia; la parte gaseosa la comprende principalmente el aire, pero pueden estar presentes otros gases. ...Al respecto (Heber Huezco Maldonado, 2009)

2.1.1 Variación volumétrica

La gran mayoría de los suelos de origen arcilloso se expanden y se contraen debido a los cambios en su contenido de humedad, provocando variaciones de volumen debido a la saturación de agua a través de sus partículas. Las presiones de expansión que se desarrollan debido a incrementos en la humedad deben ser controladas, ya que estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenajes, etc.; por lo cual, es de suma importancia detectar a los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado para evitar las contracciones y la expansividad generada por el agua a este tipo de suelos.

2.2 Resistencia mecánica portante.

En los suelos la humedad es muy importante porque determina 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 manifiesta en hundimientos, grietas, hinchamientos, etc. En la época lluviosa (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 pierdan la cohesión las partículas abundantemente para producir capas de polvo, con lo cual el deterioro superficial llega a ser severo.

2.3 Propiedades de los suelos.

Las propiedades físicas o mecánicas de los suelos, tales como la variación volumétrica, resistencia mecánica portante, entre otros, varían según su graduación, su contenido de humedad, su posición vertical con relación a la superficie y su localización geográfica. Las propiedades físicas de los suelos que más se toman en cuenta y se tomaran para mención son: granulometría, y la plasticidad. ...Al respecto (Heber Huezo Maldonado, 2009)

2.3.1 Tipos de suelos

En los suelos cohesivos no existe un verdadero esqueleto granular, la fracción fina predomina y las partículas mayores, si existen, quedan dispersas en las finas. Por otra parte, la actividad de la fracción fina, es decir, su tendencia a rodear cada partícula de películas de agua que actúan como lubricante, destruye su capacidad para servir de medio ligante y determinar marcados cambios de volumen y pérdida de la resistencia del sistema suelo-agua, bajo cargas.

En los suelos cohesivos la estabilización tiende a reducir los cambios de volumen y la caída de su resistencia bajo cargas por incremento de la humedad, permitiendo que suelos inaptos para subrasante puedan ser usados como tales, o bien, que mejores suelos puedan ser utilizados como sub-bases y, excepcionalmente, como bases. La diferenciación de la estabilización de ambos tipos de suelos es absolutamente necesaria, y una de las generalizaciones más peligrosas es no indicar expresamente, al referirse a resultados prácticos o de ensayos de laboratorio, cuál es el tipo de suelo usado en cada caso particular.

El comportamiento de un suelo con finos y agregados es el siguiente:

- No existe un verdadero esqueleto
- La fracción fina predomina
- Disminuye su peso volumétrico
- Baja permeabilidad
- Baja estabilidad
- Afectado por condiciones hidráulicas
- No se dificulta su compactación

2.3.2 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. Se usarán los métodos de clasificación más comunes como SUCS Y AASHTO... Al respecto (Marco Tulio Mata, 2010).

2.4 Pavimento

De acuerdo a la Ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo. Ver figura 1. ...Al respecto (Edgar Rodríguez Velásquez, 2009).



Figura 2.1 Esquema típico del paquete estructural de un pavimento flexible.

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Debe proporcionar un servicio de calidad, de manera que influya positivamente en el estilo de vida de las personas.

Las diferentes capas de material seleccionado que conforman el paquete estructural, reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Es por ello que todo pavimento deberá presentar la resistencia adecuada

para soportar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, así como abrasiones y punzonamientos producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos o la compresión de elementos que se apoyan sobre él.

2.4.1 Elementos que integran el pavimento flexible

Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

Subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de lluvias, se produce un hinchamiento del agua, causado por la saturación, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

Base

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. Las bases especificadas son las siguientes.

Base granular

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

Cuando el espesor de base sea mayor de 20 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que éstas no sean mayores de 20 ni menores de 10 centímetros. Además, se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre éstas y así evitar deslizamientos.

Al compactar, el material debe ser homogéneo y debe estar humedecido y mezclado, para lograr la densidad especificada. La capa de base ya terminada, tiene que quedar lo más uniforme posible, para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura, al estar el pavimento ya dispuesto para la circulación de vehículos.

Base estabilizada

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase.

Superficie de rodadura

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula.

2.4.2 Principales factores que afectan la estructura de pavimento

En el mundo, los caminos se construyen bajo cualquier condición ambiental: desde climas desérticos con altas temperaturas a regiones altamente lluviosas tipo tundra glacial. Sin importar la condición ambiental, todos los proyectos de caminos se diseñan con el mismo objetivo de resistir las cargas de tráfico, utilizando el principio mecanicista de transferencia de carga (generada en la superficie) hacia las capas inferiores de la estructura, de tal forma que la subrasante pueda resistir el tránsito sin sufrir deformaciones. Las condiciones ambientales, y las cargas de tráfico proyectadas, son los dos principios fundamentales que definen los requerimientos estructurales en cualquier tipo de pavimento.

Los pavimentos se deterioran por un gran número de factores, pero los dos más importantes son los efectos medio ambientales y las cargas de tráfico. El deterioro del pavimento es normalmente medido indirectamente por la calidad de rodado, pero las características visibles como el ahuellamiento y agrietamiento superficial también son relevantes. El deterioro gradual de los pavimentos es causado por una combinación de los factores ambientales y de tráfico discutido en los puntos siguientes. ...Al respecto (Edgar Rodríguez Velásquez, 2009).

Factores ambientales

Los factores medio ambientales son responsables de la mayor parte del inicio del agrietamiento superficial. El principal factor que contribuye a este fenómeno es la radiación ultravioleta solar, que causa un endurecimiento lento pero continuo del asfalto. Con el endurecimiento, la capa asfáltica reduce su elasticidad, lo que produce el agrietamiento

cuando la superficie se contrae al disminuir su temperatura. Una vez que la integridad de la superficie se pierde debido al agrietamiento, el pavimento tiende a deteriorarse a una tasa mayor producto del ingreso del agua a las capas subyacentes. Las condiciones ambientales afectan a los caminos básicamente en 2 formas:

La superficie

Además del tráfico, las superficies de los caminos están expuestas al sol, viento, lluvia, y otros elementos naturales. La importancia de estos fenómenos naturales son las consecuencias que producen en las propiedades de ingeniería de la superficie del camino. Estos efectos se manifiestan principalmente en:

Efectos térmicos que causan los cambios de volumen, producto de la expansión y contracción de materiales por cambios de temperatura. El rango de temperatura diaria que experimenta la superficie del camino es importante.

Los efectos de la radiación producen sobre la superficie de los pavimentos lo comúnmente denominado como “insolación”. La radiación ultravioleta aplicada sobre la superficie del pavimento produce la oxidación del asfalto, volviéndolo frágil. Este proceso se conoce como “envejecimiento”.

La estructura de pavimento

El agua es el principal enemigo de las estructuras de caminos. La saturación con agua hace que los materiales se vuelvan deformables y proporciona una lubricación entre las partículas, al mismo tiempo que las cargas de tráfico son aplicadas. ...Al respecto (Víctor Rosales Castañeda, 2011)

La capacidad de soporte del material en condición seca es siempre mayor que en estado húmedo, y mientras más cohesivo o arcilloso sea el material, mayor es la susceptibilidad a la humedad. Por lo tanto, la importancia de prevenir el ingreso del agua a la estructura de pavimento, especialmente en los materiales de más baja calidad de las capas inferiores es fundamental.

Cargas de tráfico

El objetivo final de los caminos es permitir el tráfico vehicular. El volumen y tipo de tráfico esperado en un camino determinan los requerimientos geométricos y estructurales de

pavimentos. Se hace necesario trabajar con estadísticas de tráficos proyectados (en términos de: números de vehículos, composición vehicular, y tamaño de los mismos) con el fin de determinar los requerimientos geométricos (alineación, número de pistas, etc). Por tal razón se necesitan las estadísticas de tráfico proyectado (en términos de: número de vehículos, composición vehicular, y cargas por eje) para determinar los requerimientos estructurales del camino. Por lo tanto, la estimación acertada del tráfico proyectado, tanto en volumen como en tipo de vehículos, es de gran importancia.

Desde el punto de vista del diseño de pavimentos, las características más importantes del tráfico son aquellas que permiten definir la magnitud y frecuencia de las cargas de superficie que el camino puede anticipar durante la vida estimada útil del pavimento. ...Al respecto (Víctor Rosales Castañeda, 2011)

2.5 Índice De Condición del Pavimento

Conocer el estado de deterioro que tiene una vía es un componente vital en el sistema de mantenimiento de pavimentos, de modo que, mediante este se puede conseguir una proyección a futuro del estado del pavimento. Existen métodos que permiten realizar una proyección a futuro del estado de un pavimento, unos más precisos que otros, pero todos estos coinciden en que si se cuenta con una cuantificación precisa de la condición actual se conseguirá una proyección exacta; es así, que para la cuantificación del estado actual de dicho pavimento se ha decidido aplicar la que se encuentra estandarizado por medio de la norma ASTM D 6433, "Standart Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys", o más conocido por sus siglas en ingles PCI (Pavement Condition Index, PCI). ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

El método PCI (Pavement Condition Index) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta....Ibídem

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles. ...Ibídem

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D-6433). ...Ibídem

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad). ...Al respecto (Edgar Rodríguez, 2009).

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. 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. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

El PCI 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 el siguiente cuadro de colores se presentan los rangos de PCI con la Correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. ...Ibídem

100	EXELENTE
85	MUY BUENO
70	BUENO
55	REGULAR
40	MALO
25	MUY MALO
10	FALLADO
0	

Figura 2.2 Rangos de calificación del PCI (Fuente ASTM- D6433)

Según la norma ASTM – D6433 se tiene que para un rango de 0 a 10 se utilizara el color gris oscuro y se clasificara como un pavimento en estado fallado, para el rango de 11 a 25 se usa el color rojo oscuro y el estado será muy malo, para el rango de 26 a 40 se usa el color rojo medio y su clasificación es mala, para el rango de 41 a 55 el color será rojo claro y el estado es regular, para el rango de 56 a 70 usar el color amarillo y el estado del pavimento será bueno, para el rango de 71 a 85 usar el color verde claro y el estado es muy bueno y finalmente para el rango de 86 a 100 se deberá usar un color verde oscuro y será para un pavimento en excelentes condiciones.

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

2.6 Tipos de fallas en pavimentos flexibles

Las fallas son el resultado de interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente. Estos factores combinados, son la causa del deterioro progresivo del pavimento, situación que se agrava, al no darle un mantenimiento adecuado a la vía.

Existen dos tipos de fallas: estructurales y funcionales. Las primeras, son las que originan un deterioro en el paquete estructural del pavimento, disminuyendo la cohesión de las capas y afectando su comportamiento frente a cargas externas. Las fallas funcionales, en cambio, afectan la transitabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que brinda al usuario.

Para pavimentos flexibles los daños pueden ser agrupados en 4 categorías: 1) Fisuras y grietas; 2) Deformaciones superficiales; 3) Desintegración de pavimentos o desprendimientos; 4) Afloramientos y otras fallas. Ver tabla 2.2. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002).

Tabla 2.1

Tipos de falla en pavimentos flexibles

TIPOS DE FALLAS	
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. Grietas parabólicas
8. Grieta de reflexión de junta	18. Hinchamiento
9. Desnivel de carril /berma	19. Desprendimiento de agregados
10. Grietas long y transversales	

Fuente Manual PCI

2.6.1 Calidad de tránsito.

Cuando se realiza la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito (o calidad del viaje) para determinar el nivel de severidad de daños tales como las corrugaciones y el cruce de vía férrea. A continuación se presenta una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito.

L: (Low: Bajo). Se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo pero creando poca incomodidad.

M: (Medium: Medio): Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo, creando incomodidad. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

H: (High: Alto): Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo, creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.

La calidad de tránsito se determina recorriendo la sección de pavimento en un automóvil de tamaño estándar a la velocidad establecida por el límite legal. Las secciones de pavimento cercanas a señales de detención deben calificarse a la velocidad de desaceleración normal de aproximación a la señal.

2.7 Manual de daños en vías con superficie de concreto asfáltico

2.7.1 Piel de cocodrilo.

- Descripción:

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60 m....Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión. (Un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga). La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

- Niveles de severidad

L (Low: Bajo): Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.

M (Medium: Medio): Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.

H (High: Alto): Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.

- Medida

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.



Figura 2.3 Falla de piel de cocodrilo

2.7.2 Exudación.

- Descripción:

La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

- Niveles de severidad.

L: La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.

M: La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.

H: La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.

- Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)



Figura 2.4 Falla Exudación

2.7.3 Agrietamiento en bloque.

- Descripción:

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

- Niveles de severidad.

L: Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.

M: Bloques definidos por grietas de severidad media

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad.

- Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un solo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)



Figura 2.5 Falla de agrietamiento en bloque

2.7.4 Abultamientos y hundimientos

- Descripción:

Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los abultamientos, por otra parte, pueden ser causados por varios factores, que incluyen:

1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Portland con una sobre carpeta de concreto asfáltico.
2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).
3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado "tenting").

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento.

Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling)....Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

- Niveles de severidad

L: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.

H: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.

- Medida

Se miden en pies lineales (o metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.



Figura 2.6 Falla de abultamiento y hundimiento

2.7.5 Corrugación.

- Descripción:

La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

- Niveles de severidad

L: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.

H: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.

- Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.



Figura 2.7 Falla de corrugación

2.7.6 Depresión.

- Descripción:

Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidropelano.

Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son las caídas bruscas del nivel. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

- Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L: 13.0 a 25.0 mm.

M: 25.0 a 51.0 mm.

H: Más de 51.0 mm.

- Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) del área afectada.

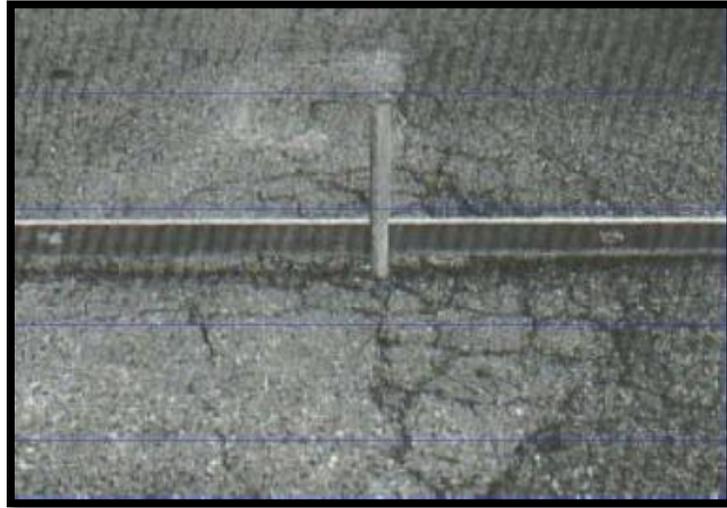


Figura 2.8 Falla de depresión

2.7.7 Grieta de borde.

- Descripción:

Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

- Niveles de severidad.

L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

H: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.

- Medida

La grieta de borde se mide en pies lineales (o metros lineales). ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)



Figura 2.9 Falla de grieta de borde

2.7.8 Desnivel carril / berma.

- Descripción:

El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobre carpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

- Niveles de severidad.

L: La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25.0 y 51.0 mm.

M: La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm.

H: La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm.

- Medida

El desnivel carril / berma se miden en pies lineales (o metros lineales).



Figura 2.10 Falla de desnivel de carril/berma

2.7.9 Grietas longitudinales y transversales.

- Descripción:

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por:

1. Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
2. Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
3. Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Portland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

- Niveles de Severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.

2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

- Medida

Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (o metros lineales). La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado. Si ocurren abultamientos o hundimientos en la grieta, estos deben registrarse.



Figura 2.11 Falla de grietas longitudinales y transversales.

2.7.10 Parcheo y acometidas de servicios públicos.

- Descripción:

Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

- Niveles de Severidad.

L: El parche está en buena condición buena y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

M: El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.

H: El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.

- Medida.

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2.32 m² puede tener 0.9 m² de severidad media y 1.35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002).



Figura 2.12 Falla parcheo

2.7.11 Pulimento de agregados.

- Descripción:

Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

- Niveles de severidad.

No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.

- Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza exudación, no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)



Figura 2.13 Falla pulimento de agregados.

2.7.12 Huecos.

- Descripción:

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

- Niveles de severidad

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con el Cuadro Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0.47 m²) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

Tabla 2.2

Niveles de severidad para huecos.

Profundidad máxima del hueco.	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
> 25.4 a 50.8 mm	L	M	H
> 50.8 mm	M	M	H

Fuente Manual PCI

- Medida

Los huecos se miden contando aquellos que sean de severidades baja, media y alta, y registrándolos separadamente.



Figura 2.14 Falla huecos

2.7.13 Cruce de vía férrea.

- Descripción:

Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

- Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

H: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.

- Medida

El área del cruce se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si el cruce no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002).



Figura 2.15 Falla cruce de vía férrea de severidad baja media y alta.

2.6.2.14 Ahuellamiento.

- Descripción:

El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El Ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

- Niveles de severidad

Profundidad media del ahuellamiento:

L: 6.0 a 13.0 mm.

M: >13.0 mm a 25.0 mm.

H: > 25.0 mm.

- Medida

El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad media. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002).



Figura 2.16 Falla de ahuellamiento

2.7.15 Desplazamiento.

- Descripción:

El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Portland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Portland se incrementa causando el desplazamiento.

- Niveles de severidad

L: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

M: El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

H: El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

- Medida

Los desplazamientos se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)



Figura 2.17 Falla de desplazamiento

2.7.16 Grietas parabólicas.

- Descripción:

Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

- Nivel de severidad

L: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.

2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.
...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002)

- Medida

El área asociada con una grieta parabólica se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.



Figura 2.18 Falla de grietas parabólicas

2.7.17 Hinchamiento.

- Descripción:

El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

- Nivel de severidad

L: El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de velocidad sobre la sección de pavimento. Si existe un hinchamiento se producirá un movimiento hacia arriba.

M: El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

H: El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

- Medida

El hinchamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. ...(al respecto Luis Ricardo Vásquez, 2002)



Figura 2.19 Falla de hinchamiento

2.7.18 Meteorización / desprendimiento de agregados.

- Descripción:

La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad.

Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

- Niveles de severidad

L: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda. ...(al respecto Luis Ricardo Vásquez, 2002)

M: Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.

H: Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.

- Medida

La meteorización y el desprendimiento se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. ... (al respecto Luis Ricardo Vásquez Varela, 2002)



Figura 2.20 Falla de desprendimiento de agregados

2.8 Reciclaje de pavimentos

¿Qué es reciclar? Es un proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado, a un ciclo de producción o de consumo.

¿Por qué reciclar? Porque es un proceso simple que ayuda a resolver muchos problemas creados por la vida moderna. Se salvan grandes cantidades de recursos no renovables y

genera economía favorable en los países.. ... Al respecto (Carmen Elena Rodríguez y José Antonio Rodríguez, 2004)

¿Qué es el reciclaje de pavimentos?

En la actualidad existen varios conceptos de reciclaje de pavimentos asfálticos, es una nueva alternativa técnica de rehabilitación de pavimentos, que consiste en la reutilización de los materiales en servicio, los que han perdido en gran parte sus propiedades iniciales y cuyas características se desean mejorar.

- También es el procedimiento de ingeniería mediante el cual se emplea parte o la totalidad de una estructura de pavimentos bituminosos en la fabricación de una mezcla asfáltica de calidad superior a la existente o en la estabilización de sus capas granulares.
- El reciclaje de pavimento asfáltico es una tecnología especial que permite la reconstrucción de pavimentos envejecidos y/o deteriorados, empleando sus materiales de construcción originales. Esto es posible en la medida en que no haya llegado a un grado de degradación tal que no permita un rejuvenecimiento eficiente.

2.8.1 Ventajas del reciclaje de pavimentos

- Posibilita la mejora estructural del pavimento existente.
- Permite el uso de refinada técnica de control de calidad.
- Es aplicable a la solución de todos los problemas que afectan la capacidad resistente del pavimento.
- Facilita la eliminación de grietas reflejas.
- Permite corregir los diseños y/o elaboración incorrecta de las mezclas asfálticas existentes. Al respecto (Carmen Elena Rodríguez y José Antonio Rodríguez, 2004)

- Reduce los costos de reconstrucciones y obras de refuerzo estructural.
- Produce un efecto de conservación de las fuentes de materiales viales, de energía y de menor utilización de los caminos para el transporte de materiales viales.
- Permite la utilización de rejuvenecedores y/o mejoradores de cemento asfáltico, lo que confiere una más larga vida de comportamiento visco- elástico de los pavimentos.
- Posee un menor grado de impacto ambiental.

Las técnicas de conservación de bases pueden dividirse en técnicas clásicas y técnicas de reciclado. Ambas técnicas pueden resultar eficaces ante un mismo problema. Es por ello que expondremos brevemente a continuación los criterios de selección que se deben seguir para llevar a cabo la elección más conveniente en cada caso.

A la hora de abordar la rehabilitación de una carretera agotada tenemos muchas posibilidades. Sin embargo hay dos cuestiones claves que siempre nos deberíamos hacer:

- ¿Qué ha fallado en la carretera?,
- ¿Qué quiere realmente el propietario de la misma?

La respuesta a estas dos preguntas reduce las opciones de rehabilitación a sólo aquellas que son compatibles con el presupuesto, la naturaleza del problema y el periodo de proyecto. Si además identificamos que el problema afecta a las capas superficiales o a la estructura del firme, la determinación de la mejor opción se ve simplificada... Al respecto (Carmen Elena Rodríguez y José Antonio Rodríguez, 2004)

En el caso de que el problema afecte a las capas superficiales, hasta 10 cm de profundidad, el reciclado con emulsión suele ser una magnífica opción. En estos casos el deterioro se suele producir por envejecimiento de la capa superior que se ha degradado, fisurado, descarnado, etc.

Las opciones de rehabilitación tradicionales son el refuerzo convencional y el fresado seguido de reposición (y normalmente, también de refuerzo). El primer caso tiene un coste parecido a la solución con reciclado; el segundo es mucho más caro.

En el caso de que los problemas afecten a la estructura del pavimento, debemos tener en cuenta que la rehabilitación a llevar a cabo se debe planteara más largo plazo. No debemos olvidar, que el agotamiento de la estructura no implica el agotamiento de los materiales que la componen.

Como regla general, la rehabilitación en estas situaciones debería tender a maximizar el valor residual que se puede rescatar de la sección actual. Esto implica que los materiales que han sido consolidados a través de los años por acción del tráfico, no deben ser alterados.

La solución indicada en estos casos puede ser el reciclado, con cemento o emulsión, en un espesor tal que recupere la totalidad de las capas afectadas.

Estamos hablando de espesores de reciclado que pueden llegar a los 15 cm si trabajamos con emulsión y hasta 40 cuando trabajamos con cemento.

Si existe presencia de materiales plásticos, como por ejemplo en el caso de contaminación de finos procedentes de la explanada, se puede utilizar también cal para corregir este efecto.

Como en el caso de la rehabilitación superficial, se pueden plantear una o varias capas de refuerzo posterior al reciclado, dependiendo de las condiciones del tráfico. Esta solución también es adecuada, cuando existen graves deficiencias de la explanada en carreteras de tráfico moderado a bajo. . . . Al respecto (Carmen Elena Rodríguez y José Antonio Rodríguez, 2004)

En tales casos, un reciclado con cemento en un espesor importante puede evitar la reconstrucción total de la sección. Las capas tratadas con cemento suelen tener una rigidez considerable, por lo que no se deben de utilizar en pequeños espesores sobre capas de escasa capacidad portante por los problemas asociados de fragilidad que pueden presentar. ... Al respecto (Carmen Elena Rodríguez y José Antonio Rodríguez, 2004)

2.8.2 Clasificación de las tecnologías de reciclado de los pavimentos flexibles.

En función del lugar donde se lleva a cabo la mezcla:

- Reciclado "in situ"
- Reciclado "en planta"

En función de la temperatura de elaboración y colocación de la mezcla

- ✓ Reciclado en frío
- ✓ Reciclado en caliente
- ✓ En función del ligante añadido:
 - ✓ Con cemento o betún asfáltico
 - ✓ Con emulsiones asfálticas
 - ✓ Con aglomerante hidráulico como el cemento Portland.

Generalmente cada proceso de reciclado está formado por la combinación de las tecnologías mencionadas anteriormente, como se describe a continuación.

Las máquinas de reciclado han evolucionado a través de los años, desde las primeras máquinas modificadas para fresar y estabilizar suelos, hasta las recicladoras especializadas utilizadas hoy en día. Estas recicladoras son especialmente diseñadas para lograr la capacidad de reciclar capas de pavimento de gran espesor en una sola pasada. Las recicladoras modernas tienden a ser máquinas grandes y potentes, las cuales pueden estar montadas sobre orugas o sobre neumáticos de flotación.... Al respecto (Carmen Elena Rodríguez y José Antonio Rodríguez, 2004)

Reciclado "in situ" en caliente.

Son utilizados cuando no existen problemas de insuficiencia estructural en los pavimentos, sino cuando hay problemas con la función del ligante asfáltico, excesivo pulimento de la superficie, desgaste de los áridos o pérdida de la textura superficial, este reutiliza la totalidad de los materiales extraídos del firme envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra. El firme se calienta mediante unos quemadores y se fresa un grosor determinado. Este material es mezclado normalmente con agentes químicos rejuvenecedores y con una nueva mezcla. Finalmente, la nueva mezcla se extiende y se compacta mediante los procedimientos convencionales.

Reciclado "in situ" en frío con cemento.

Este es un procedimiento que se basa en el fresado en frío de un cierto grosor del firme envejecido y el mezclado de este material con un conglomerante hidráulico (cemento normalmente). El nuevo material se extiende y se compacta definiendo una sólida base para posteriores refuerzos.

El reciclado in situ con cemento es una alternativa para el refuerzo estructural de firmes agotados cuya aceptación y popularidad es cada vez mayor en todo el mundo. Ello es debido a varios factores: los avances en las recicladoras, los distribuidores de conglomerante y los equipos de compactación; un mejor conocimiento de las propiedades de los materiales reciclados con cemento; el comportamiento de muchos firmes reciclados con esta técnica; la posibilidad de contar con empresas de gran experiencia; y la reducción de los costos que es posible conseguir en comparación con otras opciones de rehabilitación.

En la actualidad el reciclado con cemento es una técnica muy utilizada en un gran número de países, entre sus líderes están: Australia, Estados Unidos, Francia, Sudáfrica y España. Sus aplicaciones no se limitan solo a firmes de carreteras, también se han utilizado en algunos aeropuertos.

Como resultado de esta amplia experiencia, el reciclado con cemento, empleado en un principio únicamente en vías de baja intensidad de tráfico, se aplica ya en carreteras con un importante volumen de vehículos pesados.

Reciclado en planta

Este reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo

Este procedimiento permite reciclar el conjunto o sólo una cierta proporción de material envejecido mediante una central asfáltica adaptada. Al ser el porcentaje de material envejecido relativamente bajo, esta metodología permite corregir problemas graves de dosificación o calidad de los materiales.

El tratamiento en planta permanece siempre como una opción que debería ser considerada cuando el reciclado tiene aplicación, particularmente en aquellos proyectos que requieren una mezcla de materiales vírgenes a ser tratados, y también cuando son tratados con asfalto espumado y luego almacenados en acopios para su uso posterior.

Método de trabajo del Reciclado en frío in situ de firmes con cemento

La ejecución de una obra de reciclado in situ con cemento se desarrolla, en general, de acuerdo con el siguiente proceso:

Preparación de la superficie existente (barrido para eliminar los materiales perjudiciales como trozos de arcilla o materia orgánica).

En caso necesario, corrección granulométrica mediante el aporte de nuevos materiales, machaqueo o cribado.

- ✓ Extensión del cemento.
- ✓ Escarificado del firme existente en la profundidad requerida.
- ✓ Humectación
- ✓ Mezclado
- ✓ Ejecución de juntas (prefisuración)
- ✓ Compactación inicial
- ✓ Refino eventual
- ✓ Compactación final
- ✓ Extensión del riego de curado o de protección y de las capas superiores de mezcla bituminosa

Según el sistema de reciclado y los equipos empleados, las distintas operaciones anteriores pueden agruparse o solaparse. En ocasiones es preciso realizar un tratamiento previo con cal, como se ha indicado anteriormente.

En caso de que conjuntamente con el reciclado haya que efectuar un ensanche de la calzada, previamente hay que excavar una zanja con la profundidad adecuada a uno o los dos lados de la misma, que deberá ser rellenada preferentemente con un material de características semejantes al existente en el firme a reciclar.

Equipos para la ejecución de reciclados in situ con cemento:

El reciclado in situ es una técnica en la que se puede utilizar una gran variedad de equipos. En lo que se refiere a los equipos para realizar el reciclado propiamente dicho los de tipo agrícola únicamente son aceptables en obras de muy poca importancia, por su escasa potencia, deficiente calidad de mezclado y reducido espesor de tratamiento. Durante la ejecución de las obras Se debe realizar un control de procedencia de los materiales y un control de producción, los puntos a controlar son los siguientes:

- ✓ Materiales de aportación: áridos, cemento, agua
- ✓ Granulometría del material reciclado
- ✓ Homogeneidad de la mezcla
- ✓ Compactación
- ✓ Profundidad del tratamiento
- ✓ Aspecto superficial y geometría

En lo que se refiere al control de la compactación, normalmente se suele llevar a cabo con sonda nuclear. Cuando, como es habitual, el material reciclado contiene una proporción más o menos importante de mezcla bituminosa, es preciso realizar calibraciones para tener en cuenta la influencia de la misma en la humedad registrada por la sonda y, en consecuencia, también en la densidad seca calculada a partir de dicha medida⁷.

Sobre la capa terminada se establecerán lotes de una dimensión máxima no superior, a 3.000 m² o a la superficie construida en un día, a los que se aplicarán los siguientes criterios de aceptación o rechazo:

- Espesor del material reciclado
- Resistencias mecánicas
- Nivelación
- Anchura de reciclado
- Regularidad superficial
- Deflexiones a corto y largo plazo
- Control de grietas reflejadas en el firme.

Reciclado "in situ" En caliente.

Reciclado superficial. Se usa para corregir principalmente deterioros superficiales menores, rehabilitándose espesores típicos de carpeta de 2 a 4 cm, con el uso de un agente rehabilitador, sin adicionar mezcla o agregado virgen.

Técnicas de rehabilitación superficial

- a) Sección con reciclado en caliente en el lugar (Repavimentación)
- b) Sección con sustitución de carpeta por medio de fresado y colocación de mezcla nueva.

La capacidad estructural de ambas secciones es la misma, con una expectativa de vida útil de la rehabilitación de 10 años en las dos secciones.

En este caso el costo inicial de la sección con reciclado es 23% menor al de la sección con sustitución de carpeta. Además las molestias y riesgos de seguridad para el usuario son menores en este caso, pues todas las operaciones se realizan en un solo paso

Remezclado: Se usa cuando se requieren modificaciones significativas de las propiedades físicas de la carpeta existente para corregir fallas específicas. Cambios en las características del agregado, contenido y grado del asfalto, propiedades de la mezcla, pueden realizarse con una apropiada selección de la mezcla de aporte y del agente rehabilitador. Con esta técnica típicamente se rehabilitan espesores de carpeta de 2.5 a 7.5 cm.

2.9 Estabilización de suelos

2.9.1 Tipos de estabilización de suelos.

El primer problema que se plantea el ingeniero diseñador de pavimentos, cuando no dispone de materiales granulares adecuados para la construcción de las capas del pavimento, es la decisión sobre el tipo de tratamiento de estabilización más adecuado para los suelos locales disponibles, con el fin de hacerlos aptos para la construcción de dichas capas. Según el tipo de suelo por tratar, el diseñador debe determinar el tipo de estabilización más conveniente, dentro de los cuales encontramos:

Estabilización mecánica.

Se realiza por medio del proceso de compactación. La compactación mejora las propiedades del suelo y en particular la densificación del suelo, el aumento de resistencia y la capacidad de carga, así mismo ayuda a reducir su compresibilidad y aptitud para absorber agua.

Estabilización física.

Busca aumentar la fricción, la cohesión y la impermeabilidad. Cuando un material se ajusta granulométricamente por medio de adición de material o ajustes a su banda granulométrica, genera en el material resultante mayor fricción entre las partículas y cohesión de la masa del suelo.

Estabilización físico-química.

Se realiza en suelos con gran cantidad de finos plásticos, como limos y arcillas especialmente. Si el suelo es tratado con hidróxido de calcio produce en la masa de suelo resultante un intercambio iónico y cementación.

Generalmente, con este tipo de estabilización se busca reducir la plasticidad del suelo, aumentar su resistencia, trabajabilidad y estabilidad volumétrica.

Estabilización química.

Se realiza en suelos finos tipo arenas, mediante la adición de un agente hidráulico, como es el caso del cemento Portland, que al mezclarse íntimamente con el suelo y al desarrollar su propiedad hidráulica, produce una reacción química, intercambio iónico y cementación.

La resistencia del suelo y su estabilidad aumentan significativamente... Al respecto (Boris Dorfman, 1988).

Tabla 2.3

Tipos de estabilización. Fuente: DORFMAN, Boris. Estabilización de suelos. 1988.

TIPO	ESTABILIZACION	PRODUCE
Mecánica	Proceso de compactación	Densificación
Física	Granulometría	Fricción y cohesión
	Suelo betún	Cohesión impermeabilización
Físico-química	Suelo-cal	Intercambio iónico y cementación
Química	Suelo Cemento	Intercambio iónico y cementación

Tabla 2.4

Aplicabilidad de los métodos de estabilización Fuente: IDU. Guía para el diseño y la construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos, 2005.

<i>Suelo</i>		<i>Arcillas finas</i>	<i>Arcillas gruesas</i>	<i>Limos finos</i>	<i>Limos gruesos</i>	<i>Arenas finas</i>	<i>Arenas gruesas</i>
Tamaño de las partículas (mm)		<0.0006	0.0006–0.002	0.002–0.01	0.01–0.06	0.06–0.4	0.4–2.0
Estabilidad volumétrica		Muy pobre	Regular	Regular	Buena	Muy Buena	Muy Buena
Tipo de Estabilización	Cal						
	Cemento						
	Asfalto						
	Mecánica						
Rango de máxima eficiencia							
Efectiva, pero el control de calidad puede ser difícil							

2.9.2 Método para la elección de un agente estabilizante.

Una vez conocido e identificado el material, se procede a estudiar el posible candidato que servirá como agente estabilizador, para lo cual se presentan las alternativas y criterios de estabilización de suelo siguientes.

2.9.3 Criterios para la elección del estabilizante del suelo.

La elección del mejor agente estabilizante para un suelo se basa en algunas de sus propiedades, esto garantiza una mejor adecuación del mismo con respecto al tipo de suelo, evitando la utilización de un estabilizante inadecuado que pueda producir una mala estabilización y con resultados desfavorables. El siguiente procedimiento servirá en la selección del mejor agente estabilizador, según la Air Force Manual No. 32-1019. Headquarters, Departments of the Army, the Navy, and the Air Force Washington, D.C. 25 October 1994 (Manual de la Fuerza Aérea No 32-1019, Oficina central, Departamento del Ejército, la Marina y de las Fuerzas Aéreas de Washington).

De los factores que se consideran en la selección del estabilizante, el más importante es el tipo de suelo con el cual se realizara este proceso. Las restricciones se basan en la granulometría y en el índice de plasticidad (IP) la distribución granulométrica y los límites de Atterberg, estos son usados para iniciar el proceso de selección, los datos que se requieren son El porcentaje de material que pasa la malla No 200 y el porcentaje de material que pasa la malla No 4 pero que se retiene en la malla No 200.

2.9.4 Características de los materiales

Todos los materiales están caracterizados por el Modulo de Elasticidad, llamado Módulo Dinámico en mezclas asfálticas; Módulo de Resiliencia para los materiales granulares sin tratar y los materiales de los suelos. El Módulo Dinámico en mezclas de asfalto es dependiente de la temperatura sobre el pavimento. Para simular los efectos de la temperatura y sus cambios a través del año, se utilizan tres distribuciones típicas del promedio mensual de temperatura que a su vez representan las tres regiones típicas.

El módulo dinámico es función directa del tiempo de fraguado y un periodo de seis meses es el utilizado para la elaboración de las tablas de diseño, ya que periodos de fraguado arriba de los 24 meses no tienen ninguna influencia significativa sobre el espesor que se muestra en las tablas de diseño.

En el caso de suelos estabilizados, las características mecánicas de los materiales cambian sustancialmente con la aplicación de productos estabilizadores, ya que el módulo de resiliencia se incrementa en valores apreciables. Es necesario, que al utilizar productos

estabilizadores de suelos, se efectúen los correspondientes estudios de laboratorio, para determinar los límites adecuados de las cantidades o porcentajes hasta los cuales puede llegar su uso.

Cuando se utiliza cemento como material estabilizador, es conveniente saber la cantidad máxima a utilizar, en función de los cambios físicos que experimentan los suelos, ya que una cantidad alta de cemento, hacen que los materiales obtengan valores altos de resistencia mecánica, pero también contracciones fuertes que se traducen en agrietamientos, nada deseables para la estructura de pavimento, por el hecho de que estas grietas se reflejaran posteriormente en la superficie de rodadura.

Al utilizar otro tipo de estabilizadores tales como: Cal, Bitúmenes, puzolanas, químicos, etc también es necesario efectuar pruebas de laboratorio para analizar cuáles son las limitantes de uso de cada producto. Para estos últimos, la reacción de los suelos al aplicar este tipo de estabilizadores, es más benigna por los efectos de contracción y se obtendrán capacidades de esfuerzos menores, dependiendo de la cantidad de producto utilizado, por lo que se producirán grietas más pequeñas, las cuales no tendrán una influencia significativa en el comportamiento de las mismas.

Otras ventajas que se obtienen con los productos estabilizadores, es que puede utilizar más de uno a la vez, lo que redundará en beneficio del material estabilizado, por el hecho de obtener en la mezcla mejores características de comportamiento como son: resistencia en poco tiempo, reducción en los límites de consistencia, grietas muy pequeñas, etc.

Por ejemplo un material de base que es necesario colocar en un área húmeda o con lluvias frecuentes, se puede utilizar una parte de cemento y otra de cal, lo que permitirá obtener una mezcla con una resistencia inicial adecuada pero sin agrietarse por efecto del cemento, pero la cal le seguirá incrementando su resistencia, aparte de las otras ventajas ya mencionadas.

En general cuando no se cuenta con suelos adecuados para la estructura de pavimento, tales como subrasante, subbase y bases que cumplan con las exigencias o

especificaciones, y que económicamente sea necesario recurrir al uso de productos estabilizadores, es conveniente que los materiales de cada una de las capas ya estabilizadas estén acorde con la capacidad de esfuerzo de las otras capas contiguas, ya que no es conveniente que una capa sea rígida y otra flexible o que una capa impermeable quede bajo una permeable... Al respecto (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos SIECA 2002)

2.9.5 Estabilización de suelos con cemento.

Se define al suelo cemento como un material elaborado a partir de una mezcla de suelos finos y/o granulares, cemento y agua, la cual se compacta y se cura para formar un material endurecido con propiedades mecánicas específicas.

El contenido de cemento en peso suele ser del orden del 3 al 7% en peso de materiales secos y a largo plazo, su resistencia a la compresión suele ser superior a 40 Kg/cm².

El suelo cemento se utiliza normalmente como capa de apoyo (sub-base) de otros materiales tratados con cemento o de concreto hidráulico, o bien como capa resistente (base inferior) bajo capas bituminosas. El suelo cemento puede fabricarse en planta central, o bien ejecutarse in situ mediante equipos similares a los empleados en la estabilización de explanadas o subrasante.

2.9.5.1 Tipo de suelos para estabilizar con cemento.

Básicamente cualquier suelo puede estabilizarse con cemento a excepción de los suelos muy plásticos, orgánicos o con altos contenidos desales que pueden afectar el desempeño del cemento. Existen diversos criterios que limitan y especifican las características que debe tener un suelo para considerarse aceptable en la elaboración de una mezcla de suelo cemento.

Los materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de suelo cemento deberán cumplir con las siguientes características:

- Contenido de finos que pasa el tamiz No. 200 debe de variar del 5 al 35%.
- Contenido de arcilla debe de ser inferior al 15%.
- Partículas retenidas en el tamiz No. 4 debe variar del 50 al 100%.

- Contenido de materia orgánica inferior al 2%.
- Suelos con clasificación GW, GP, SW, SP, GM, SM, GC, SC, ML, son utilizables, descartándose los desechos de construcción y suelos orgánicos.
- PH mínimo al 12.1.
- La humedad de la mezcla tendrá una tolerancia máxima del 2% de la humedad óptima.
- Limite líquido permitido menor al 40%.
- Índice plástico permitido menor al 8%.

Es importante mencionar que el objetivo de limitar algunas características del suelo principalmente el índice de plasticidad y los requisitos granulométricos, es obtener una mezcla económica en términos de la cantidad de cemento y del buen comportamiento estructural de los suelos estabilizados.

Cementos utilizados en la estabilización de suelos.

- **Cemento Portland**

Es el producto de la mezcla de diferentes materiales que se someten a un proceso de cocción y molido, para constituir un material ligante al combinarse con agua y suelo.

Cuando las bases han sido compactadas a su humedad óptima y densidad máxima, son altamente resistentes a la desintegración, además de mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando una mejor distribución de las cargas de tránsito a las capas subyacentes de la estructura de pavimento. La adición de cemento a ciertos suelos plásticos los transforma en buenos materiales para base. ...Al respecto (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos SIECA 2002)

La utilización de cemento Portland para la estabilización de materiales de base, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar sus condiciones mecánicas. Es conveniente que al utilizar cemento para estabilizar suelos, se

realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en la muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera.

Es necesario tomar en cuenta, que no es lo mismo estabilizar que rigidizar, ya que los materiales obtienen del producto estabilizador algunas condiciones de beneficio como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR, pero también toman otras como una alta rigidización que no es conveniente al material, por el hecho de que esta condición permite el apareamiento de grietas.

Es conveniente hacer notar que el cemento como estabilizador es un material de alta calidad, especialmente si los materiales con los cuales se va a combinar son de la misma generación que él (gravas, rocas, arenas, etc.), pero al utilizarse con suelos como limos, arcillas, etc. La situación cambia, ya que estos son muy susceptibles a agrietarse cuando el contenido de cemento es muy alto.

El cemento Portland a utilizar deberá ajustarse a la norma AASHTO M 85-63. La cantidad aproximada de cemento debe estar comprendida dentro de un 3% mínimo a un 8% máximo de cemento en peso, respecto al peso del material a estabilizar.

La capa estabilizada debe compactarse en su totalidad hasta lograr su densidad máxima, según AASHTO T-134 y T-191 y debe ejecutarse en capas no mayores de 30 ni menores de 15 centímetros. Cuando la capa estabilizada es muy alta, la compactación debe hacerse por capas de 15 centímetros y no debe tenderse la siguiente capa antes de transcurrido el tiempo mínimo de curado de la inmediata inferior.

No deben transcurrir más de 60 minutos entre el final del tendido y la conformación y el inicio de la compactación.

Realizada la compactación, se debe comprobar la resistencia a la compresión según ASTM D-1632 y D-1633.

La textura de la superficie no debe ser lisa, debiéndose escarificar ligeramente o pasar escoba de arrastre para dejar la superficie con rugosidad adecuada, con el fin de evitar deslizamientos entre la capa de rodadura y sobre el material de base estabilizado.

La superficie debe protegerse, aplicándole un material de curado que sea adecuado para este tipo de trabajo. Lo que normalmente se hace, es aplicar un riego de imprimación con material bituminoso líquido, con el fin de formar una capa impermeable y así evitar que el agua necesaria para el fraguado del cemento, se evapore.

Para lograr la resistencia requerida, el curado debe realizarse en forma eficiente, de lo contrario la resistencia puede disminuir hasta un 40%.

Los requerimientos del cemento varían en función de las propiedades deseadas en la mezcla y del tipo de suelo que se utilizara, mientras que el contenido de cemento a emplear depende de si el suelo va a ser modificado o estabilizado. En El Salvador se ha utilizado todo tipo de cementos, pero debe de tenerse especial cuidado con los suelos ricos en sulfato, puesto que diversos estudios han mostrado que contenidos de sulfato mayores de 0.2% se traducen en una reducción de la resistencia a la compresión. Los cemento Portland(tipo II) de moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación y el (tipo V) de alta resistencia a los sulfatos bajo la norma ASTM C-150, los IP(MS) puzol añicos con moderada resistencia a los sulfatos y los IS(MS)siderúrgicos con moderada resistencia a los sulfatos bajo la norma ASTM C-595y los (tipo GU) de uso general en la construcción y los (tipo HE) de alta resistencia inicial bajo la norma ASTM C-1157 para elaborar mezclas de suelo cemento. Desde hace algunos años se han realizado diversas investigaciones en laboratorio y campo, así como varias obras, utilizando cemento de mampostería ASTM C-91 tipo M, para elaborar mezclas de suelo cemento con una gran variedad de tipos de suelo, incluyendo suelos muy finos y de alta plasticidad. Los resultados han sido muy notables en lo referente al control de la retracción y generación de fisuras, así como en el incremento de las propiedades mecánicas del material.

Acción del cemento como estabilizante.

El cemento como estabilizante produce diversos beneficios al ser combinado con los diferentes tipos de suelos, pero que no sean de origen plástico y los altamente orgánicos; produciendo diversos efectos beneficiosos en las aplicaciones para mejorar las condiciones portantes del suelo.

Al mezclar un suelo con cemento, se produce un nuevo material con mejores características en comparación con aquel usado solo como agregado.

Los suelos más convenientes son los granulares como: los limos, las arenas limosas, las gravas y las arenas, los cuales son agregados adecuados para producir ese material suelo-cemento que tiene excelentes cualidades.

Los principales efectos de la acción estabilizante son los siguientes:

- Incrementa el módulo de elasticidad.
- Aumenta la impermeabilidad.
- Es más resistente a la erosión del agua.
- En presencia de la humedad aumenta su resistencia en lugar de perderla.
- Al secarse no pierde la compactación.
- La resistencia aumenta con el tiempo.
- Incrementa la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y al esfuerzo de compresión.

Requerimientos para la estabilización con cemento según SIECA

La resistencia a la compresión uniaxial de los especímenes moldeados, curados y probados de acuerdo a ASTM C 593, partes 10 y 11, con el porcentaje de cemento Portland, establecido y compactado al 100% la densidad obtenida según ensayo AASHTO T 134, medida a los 7 días, de acuerdo al tipo de mezcla especificada, debe cumplir con lo siguiente:

Tabla 2.5

Resistencia requerida para suelos estabilizados con cemento

Tipo de mezcla	Resistencia mínima permisible Mpa	Resistencia Promedio Mpa	Tiempo de curado
BE 25	2.0	3.0	7 días
BE 35	3.0	4.0	7 días

Fuente SIECA

Se permitirá realizar el diseño de la mezcla, compactando al 100% de la densidad obtenida según el ensayo AASHTO T 180.

La graduación y requerimientos de plasticidad para la estabilización con cemento, deben diseñarse con los parámetros fijados en la siguiente tabla.

Tabla 2.6

Requisitos para la graduación de los materiales.

Graduación de los agregados	
Tamiz	% Pasando
50.8 mm	100
N° 4	50 - 100
N° 40	20 - 70
N°200	5 - 35

Fuente SIECA

Los agregados deberán tener un Límite Líquido no mayor de 40 y un Índice Plástico igual o menor a 8, determinado por los ensayos AASHTO T 89 y T 90, respectivamente....Al respecto. (Manual Centroamericano Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales, 2da edición 2004)

Se podrán aceptar materiales con valores más altos que los indicados, siempre que al mezclarse con el cemento, en el porcentaje por masa establecido, los valores de Límite Líquido y Límite Plástico sean iguales o menores que los requeridos.

2.9.6 Tipo de suelos para estabilizar con cal.

Los suelos que se usen para la elaboración de mezcla suelo-cal pueden ser del sitio de trabajo o provenir de préstamo seleccionado, deben estar limpios y es recomendable que estos no deban tener más del 1% de su peso en materia orgánica. Además la fracción del suelo que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad no menor de 10. El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe de ser mayor de 50 mm o 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-cal.

Los suelos con gran proporción de partículas finas, con una plasticidad alta, son más sensibles a la adición de cal que los suelos compuestos de arena y limos, debido a la

floculación de las partículas finas, 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 la reducción en los tamaños que pasan por el tamiz No. 200.

¿Qué es la cal?

Es el producto de la cocción de la piedra caliza, para constituir un material ligante al combinarse con agua y suelo.

Cuando ha sido compactada a su humedad óptima y densidad máxima, constituye una base integrante de un pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase.

La utilización de cal para la estabilización de bases, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar las condiciones mecánicas del material. ...Al respecto (ANCADE 2008).

Es conveniente que al utilizar cal para estabilizar suelos, se realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en las muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera.

Es necesario tomar en cuenta, que al utilizar cal para estabilizar, los materiales obtienen del material estabilizador algunas condiciones de beneficio como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR; en el caso de la cal es difícil llegar a tener un material rígido, porque la reacción química es bastante más lenta que con cemento para lograr una resistencia especificada.

Es conveniente hacer notar que la cal como estabilizador es un material de calidad, ya que por ser un producto derivado de piedra caliza, tiene la capacidad de combinarse con cualquier otro material sin producir reacciones químicas que involucren un fraguado rápido, ni una rigidización que derive en el apareamiento prematuro de grietas por contracción.

Iniciaremos por indicar que para el tratamiento de suelos se puede utilizar cal viva (óxido de calcio – CaO), cal hidratada (hidróxido de calcio – Ca [OH]₂) o una lechada de cal. La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO₃) en óxido de calcio. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante. La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5% de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica. La cal dolomítica contiene de 35 a 46% de óxido o hidróxido de magnesio. Con la cal dolomítica se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio. Al respecto (ANCADE 2008).

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. En este manual, "cal" significa cal viva, cal hidratada, o la lechada de cal hidratada.

La cal hidratada debe cumplir con lo establecido en AASHTO M-216. Las cantidades de cal pueden variar entre 2% y 6% en peso, del material a estabilizar.

Propiedades de la cal.

Se hace cada vez más necesaria la utilización de la cal en los suelos arcillosos, por ello es necesario hacer una mención de las propiedades físicas y de sus propiedades químicas, para hacer ver la calidad del producto calcáreo que se usara en una determinada estabilización.

Propiedades físicas de la cal.

- **Color:** Las calces comerciales tienen color blanco o débilmente gris, a veces un color rojizo debido al óxido de hierro que se encuentra en los yacimientos.
- **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. ... Al respecto (ANCADE 2008).
- **Dureza:** La dureza de las calces varía entre muy blanda y una dureza que se aproxima a la de la piedra caliza original de donde se obtuvo, la dureza de la cal viva dependerá de la temperatura de calcinación.
- **Porosidad:** Depende del origen de las rocas calizas y de las condiciones en que se lleve a cabo la calcinación. La porosidad de la cal viva es importante porque influye en la actividad química de la sustancia.
- **Plasticidad:** Es una propiedad importante, que 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 ruptura en su forma generada. Al respecto ANCADE.

Diferentes tipos de Cal.

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

- **Cales aéreas:** Cales que se componen principalmente de óxido e hidróxido de calcio y magnesio, los cuales endurecen lentamente al aire por la acción del CO₂ de la atmósfera. No presentan propiedades hidráulicas, es decir, no endurecen con el agua y se obtienen a partir de rocas calizas con contenidos en carbonatos superiores al 95%.
- **Cales hidráulicas:** Endurecen en contacto con el agua. Obtenidas a partir de calizas que contienen arcillas (Sílice y Alúmina). Durante la calcinación y la

posterior hidratación se forman silicatos y aluminatos cálcicos de propiedades hidráulicas. ...Al respecto (ANCADE 2008).

2.9.6.1 Cales utilizadas para la estabilización de suelos

Como los materiales a estabilizar con cal pueden ser de cualquier clase de suelo, lo recomendable es hacer pruebas de laboratorio, para determinar la cantidad adecuada en porcentaje con respecto al peso que es necesario aplicar efectuando pruebas de compresión no confinada y observando el comportamiento de las muestras al dejarlas secar al aire.

Las calces utilizadas en la estabilización de suelos son:

Cales aéreas.

Estas presentan las siguientes formas:

- **Cales vivas:** Son calces aéreas que se componen principalmente de óxido de calcio y óxido de magnesio producidas por calcinación de la caliza. $\text{CO}_3\text{Ca} + \text{Calor} \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ 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 DOLOMITICA O DOLOMIA CALCINADA. NOTA: Hay que tener en cuenta en la estabilización de suelos que el apagado de la cal dolomítica es más lento que el de la cal viva con porcentaje de óxido de magnesio $< 5\%$.
- **Cales apagadas o hidratadas:** Son calces aéreas que se componen principalmente de hidróxido de calcio. Proviene de la hidratación controlada de calces vivas. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{Calor}$ (15,5 Kcal/mol o 277 Kcal/Kg CaO) No dan reacción exotérmica en contacto con el agua y se comercializan en forma de polvo fino y seco o en lechada de cal (suspensión de agua y cal). ... Al respecto (ANCADE 2008).

- **Cal en forma de lechada:** Es la suspensión de cal apagada en agua. También puede obtenerse a partir de la cal viva que al mezclarla con agua dará cal apagada, formándose a continuación con el resto del agua la suspensión de lechada de cal. La proporción de cal apagada es tal, que tiene la apariencia de la leche, (150 a 400 g de Ca(OH)_2 por litro de agua). La cal puede ser utilizada bajo forma de lechada de cal 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 propia fábrica o in situ, en depósitos o cubas equipadas de un sistema de agitación, a partir de cal viva o de cal apagada. Una vez preparada la misma, ésta se aplica directamente sobre el suelo.

Clasificación Según la norma UNE 80-502-97 referente a CALES PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, se establece el siguiente criterio de clasificación:

- CAL CLASE I.: Cales vivas de alto contenido en calcio o cales vivas dolomíticas, en grano o micronizadas.
- CAL CLASE II.: Cales apagadas o hidratadas.

2.9.6.2 Características de la cal para la estabilización de suelos.

Características físicas

FINURA: Es una característica importante en la medida que interviene en las condiciones de almacenamiento, transporte y mezcla con el suelo. El apagado o hidratación de la cal viva con el agua produce la cal hidratada lo que lleva, además, una auto pulverización muy fina, incluso micronizadas del producto. Además la finura puede intervenir en la reactividad de la cal. ...Al respecto (ANCADE, 2008)

Características químicas

El contenido en CaO: Es el componente fundamental de la cal. Puede estar, en forma de óxido CaO en las cales vivas, en forma de hidróxido Ca(OH)_2 en la cal apagada.

El contenido en MgO: Es igualmente interesante, ya que el óxido de magnesio posee en general una acción análoga a la del óxido de calcio. De igual manera puede estar en forma de óxido (MgO), o como hidróxido (Mg(OH)₂).

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 más empleado y conocido se basa en el carácter exotérmico de la reacción entre el CaO y el H₂O (Fig. 1). - Otros componentes minoritarios de las cales son los carbonatos cálcico y magnésico que se evalúan mediante el contenido de CO₂ de las cales. ...Al respecto (ANCADE, 2008)

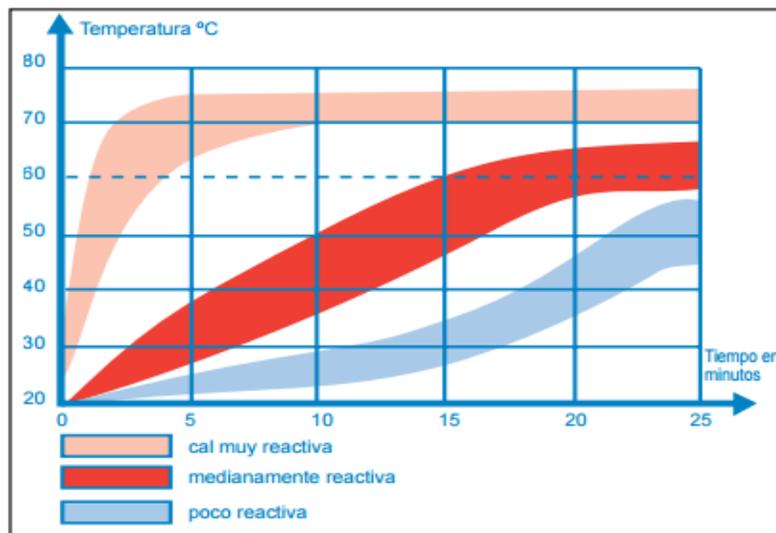


Figura 2.21 Reactividad de la cal. (Fuente ANCADE)

2.9.6.4 Especificaciones de cal para estabilización de suelos

El tratamiento de terrenos arcillosos con cal permite su utilización, evitando los mayores costes y afecciones ambientales que supondría su retirada y posterior reemplazamiento por otros suelos de mejores características geotécnicas y mecánicas, permitiendo utilizar los materiales plásticos, aumentando la capacidad portante del suelo con el fin de poder emplearlo en capas más solicitadas como terraplenes, sub-bases y bases de la estructura de una carretera, con buenas propiedades estructurales que van incrementándose en el tiempo, a la vez que hace insensible la capa estabilizada al agua. ...Al respecto (Marco Tulio Mata, 2010).

Las especificaciones de los diferentes tipos de cales para ser utilizadas en la estabilización de suelos son objeto de la norma UNE 80-502- 97. Las tablas que se incluyen a continuación contienen un resumen de las mismas. ...Al respecto (ANCADE, 2008).

Tabla 2.7

Características de la Cal clase I

CARACTERISTICAS	GRANO	MICRONIZADA
Contenidos en óxido de calcio y magnesio en muestras calcinadas	> 90% en masa	
Contenido en dióxido de carbono en el punto de fabricación	< 5% en masa	
Finura. Porcentaje acumulado retenido sobre Tamiz UNE 6.3 mm Tamiz UNE 0.2 mm	0%	0% < 10%
Reactividad temperatura mínima: Cal viva con MgO < 5% Cal dolomítica con MgO > 5%	> 60°C < 50°C	
El tiempo para alcanzar la temperatura mínima en ambas	25 minutos	

Fuente ANCADE

Tabla 2.8

Características de la Cal clase I

CARACTERISTICAS	
Contenidos en óxido de calcio y magnesio en muestras calcinadas	> 90% en masa
Contenido en dióxido de carbono en el punto de fabricación	< 5% en masa
Finura. Porcentaje acumulado retenido sobre 0.2 mm Tamiz UNE	< 10%

Fuente ANCADE

Otras características de las cales

- Densidad aparente**
- Cal viva de 700 a 1.200 Kg/m³
 - Cal apagada de 300 a 650 Kg/m³

Ángulo de talud natural - Cal viva de 50 a 55°

- Cal apagada 70°

Solubilidad en agua Es muy pequeña y disminuye conforme aumenta la temperatura:

- 1,2 g/l a 20°C para el CaO y 1,6 g/l para el Ca (OH)₂

- 0,67 g/l a 80°C para el CaO y 0,9 g/l para el Ca (OH)₂

Para asegurar la calidad de la cal utilizada en el Tratamiento, deberá analizarse:

- Contenido de componentes magnésicos y cálcicos. El contenido en óxidos de calcio y de magnesio, sobre muestra calcinada debe ser mayor del 90 (CL 90), en masa.
- Contenido de dióxido de carbono (CO₂). Este parámetro completa a los anteriores en las exigencias de cal libre, pues la muestra sobre la que se ensaya es calcinada. Este contenido, en el punto de fabricación, deberá ser inferior al 5 por ciento, en masa. ...Al respecto (ANCADE, 2008)
- Finura del molido. El análisis granulométrico evalúa la finura de la cal. Todas las partículas deberán ser inferiores a 6,3 mm., y más del 90 por ciento inferiores a 0,2 mm.
- Reactividad de la cal. Se aplica a la cal viva (Q), y permite medir la rapidez de reacción de esta con el agua. Se evalúa midiendo el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura de 60 °C al agitar una muestra de cal viva en agua. Este tiempo deberá ser inferior a 25 minutos, siendo la cal más reactiva cuanto menor sea el tiempo.

Tipos de tratamientos con cal

Hay varios tipos posibles de tratamientos de suelos con cal, en función de los objetivos a conseguir: el secado, la modificación y la estabilización propiamente dicha.

La cal en forma de lechada.

Es la suspensión de cal apagada en agua. Su empleo en tratamiento de suelos permite por un lado, evitar el polvo producido durante el extendido de la cal y por otro, controlar mejor la humedad de los suelos secos.

En la siguiente fotografía puede apreciarse la ejecución de una estabilización de explanadas mediante lechada de cal. ...Al respecto (ANCADE, 2008)



Figura 2.22 Ejecución de estabilización de explanadas. (Fuente ANCADE)

Mejora por modificación

Se trata de una modificación inmediata de las propiedades geotécnicas, reduciendo en un corto periodo de tiempo (minutos/horas) la cantidad de agua retenida por la arcilla y mejorando su trabajabilidad.

La mezcla de cal con el suelo provoca reacciones rápidas que originan cambios físico-químicos producidos por cambios iónicos, neutralización y floculación. Las finas partículas de arcilla se aglomeran en elementos más gruesos y friables. Estas reacciones se producen siempre que el suelo tenga un cierto porcentaje de finos. ...Al respecto (ANCADE, 2008)



Figura 2.23 Suelo tratado con cal. (Fuente ANCADE)

Acción de la cal como estabilizante.

La cal, agregada a ciertos suelos, produce diversos efectos que son puestos de manifiesto en las aplicaciones prácticas y en los laboratorios. Los principales efectos son los siguientes:

- a) La cal hace que el suelo arcilloso se desmenuce más fácilmente y le confiere propiedades que, en cierto modo corresponde a los limos.
- b) Reduce la plasticidad de los suelos.
- c) Favorece el secado de los suelos muy húmedos.
- d) Favorece la compactación de los suelos con humedades muy altas.
- e) Mejora la estabilidad de los suelos a efectos de las lluvias prolongadas.
- f) Incrementa la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y esfuerzo de compresión.
- g) Reduce la influencia perniciosa de la materia orgánica. ...Al respecto (ANCADE, 2008)

Estabilización por secado de suelos.

En el caso de suelos arcillosos con exceso de humedad, la adición de cal viva o cal hidratada disminuye el contenido de agua por acción combinada de:

- a) Aporte de producto seco.
- b) Consumo del agua necesaria para hidratarse y formar hidróxido de calcio.

c) Evaporación de agua por la reacción anterior, fuertemente exotérmica.

De esta forma, el aporte de 1% de cal viva puede disminuir el contenido de humedad en un 4 o 5%, permitiendo elevar la temperatura del suelo y reducir inmediatamente el exceso de humedad. Si a ello se le suma el efecto de aireación y mezclado del material, el valor de la disminución puede llegar al 7%.

Por el contrario, si la humedad de los suelos se encuentra por debajo de la óptima, puede ser aconsejable aplicar la cal en forma de lechada o cal hidratada, aportando la cal y el agua necesarias en una sola operación.

Estabilización mixta.

Cualquiera de los efectos de la estabilización mencionados, en conjunto o separadamente, pueden aprovecharse para mejorar el efecto de las cales sobre ciertos suelos cuando se van a tratar con otros gigantes, como suele ser el caso del cemento. En el caso que los suelos a tratar con cemento, para su colocación en bases y sub-bases o sub-rasantes, presenten humedades excesivas y/o tengan cierta plasticidad, la corrección previa de estos problemas mediante un leve tratamiento con cal (porcentaje en 1 por ciento), permite optimizar la acción del cemento sobre el suelo, reduciendo su dosificación necesaria y bajar los costos de la obra. ...Al respecto (ANCADE, 2008)

Estabilización con suelo-cal.

El uso de la cal para la estabilización de suelos se extiende más hacia los materiales de origen arcilloso con un índice de plasticidad ($IP > 10$). El efecto básico de la cal con los suelos plásticos es la constitución de silicatos de calcio para formar compuestos cementantes, en función del contenido mínimo de cal.

El método para encontrar el porcentaje óptimo de cal, está basado en el procedimiento del estándar D-6276-03 de la ASTM. Este procedimiento proporciona los medios para estimar la proporción de la cal para la estabilización de un suelo plástico. Se realiza en suelos que pasan el tamiz de $425\mu\text{m}$ (No. 40).

La proporción óptima de cal para la estabilización de suelos plásticos, será aquella que brinde un mejoramiento en las características propias del suelo para determinar el porcentaje más bajo de cal, que genere un pH de 12.4 en un suelo plástico a estabilizar.

El éxito de la estabilización con cal, no es solo para disminuir la plasticidad, sino para adquirir resistencia, según el tipo de suelo y el tipo de mineral arcilloso que se contenga. El criterio para diseñar en el laboratorio las mezclas de suelo-cal, dependen de la función que vaya a desempeñar la cal:

- a) Modificador de la plasticidad o la humedad.
- b) Proporcionado de una resistencia adecuada. ...al respecto (National Lime Association, 2004)

Ventajas de la estabilización de suelos con cal.

El tratamiento de suelos arcillosos con cal viva o hidratada en cualquier obra de movimiento de tierras: laderas, terraplenes, explanadas, firmes, plataformas, etc., correspondiente a cualquier tipo de infraestructura: viales, aeropuertos, ferrocarriles, etc., permite obtener una serie de ventajas técnicas y económicas que citaremos a continuación: ...Al respecto (ANCADE, 2008)

- ✓ Posibilidad de reutilización de los suelos disponibles en la traza, disminuyendo la necesidad de préstamos y vertederos. Este aspecto, además de disminuir las afecciones medioambientales, disminuye los costes del movimiento de tierras, incidiendo especialmente en el transporte de materiales y en el tiempo de ejecución.
- ✓ La reducción del plazo de ejecución viene determinada también por la rapidez de las reacciones suelo-cal y el efecto secante producido. El Índice de Plasticidad disminuye notablemente y el suelo se vuelve más friable, aumentando inmediatamente su trabajabilidad. Además, el empleo de cal viva ayuda a secar rápidamente los suelos húmedos, facilitando su compactación.
- ✓ El empleo de cal incrementa la capacidad portante de los suelos aumentando su índice C.B.R. También aumenta las resistencias a tracción y a flexión. Por lo tanto,

la mejora producida en las capas y explanadas estabilizadas permite reducir espesores y las posibilidades de fallo durante su vida útil.

Otra ventaja muy importante de la estabilización con cal frente al empleo de otros conglomerantes, es que no presenta un fraguado rápido, lo cual permite una gran flexibilidad en la organización de las distintas fases de ejecución: mezcla, extendido, compactación, etc.

No obstante, para evitar la recarbonatación previa de la cal, debe realizarse el mezclado con el suelo antes de 8 horas, desde el momento del extendido. Además, con el fin de evitar la recarbonatación de la cal y su arrastre por el viento, conviene mezclar lo antes posible la cal extendida.

La estabilización de cualquier capa soporte, haciéndola insensible al agua y aumentando su resistencia frente a los tráficos que soportará durante su vida útil, reduce los costes de construcción, conservación y explotación de la infraestructura. ...Al respecto (ANCADE, 2008)

Aspectos que afectan la estabilización con Cal

Dos son los aspectos que más negativamente pueden influir en la estabilización de suelos con cal: su contenido en sulfatos solubles y en materia orgánica.

Con respecto al contenido de materia orgánica, esta puede inhibir las reacciones puzolánicas, retardando los efectos de la cal sobre el suelo. Pero, por otro lado, la mezcla del suelo con la cal permite eliminar esta materia orgánica.

Por lo tanto, en el caso de suelos con porcentajes excesivos de esta, conviene sobre dosificar la cal necesaria para eliminar la materia orgánica presente.

El contenido de sulfatos solubles, bien por su existencia en el propio terreno, o bien por ser aportados por las aguas subterráneas existentes, puede afectar la estabilización mediante la reacción de los sulfatos solubilizados en el agua con los aluminatos cálcicos hidratados, producidos por la reacción puzolánica entre el suelo y la cal, formando

Etringita (trisulfoaluminato cálcico), muy expansiva, que puede llegar a romper las capas ya extendidas y compactadas.

En el ataque por sulfatos, el agua constituye un elemento esencial para el mismo. Así, el agua presente en el material estabilizado suelo-cal puede ser insuficiente para disolver la cantidad necesaria de sulfato, de forma que no exista ataque apreciable aún con grandes cantidades de sulfatos, a menos que haya una aportación suficiente de agua desde el exterior.

En este sentido, normalmente en España, los sulfatos contenidos en los terrenos están en forma de yeso, o provienen de este mineral por el efecto de su solubilidad en las aguas, bien de lluvia o subterráneas, que pasan por formaciones yesíferas. Y por otra parte, la solubilidad del yeso es muy pequeña.

Lo anterior significa que, solamente si hay sulfatos solubles en cantidad suficiente, y diluidos en el agua existente en la mezcla suelo-cal, habrá formación de etringita, pudiendo romperse las capas ya ejecutadas y todas las que se hayan dispuesto encima. ...Al respecto (ANCADE, 2008)

Por este motivo, es muy importante la determinación de los sulfatos solubles en laboratorio mediante algún método de ensayo que refleje lo mejor posible las condiciones que se dan en la práctica, respecto a la cantidad de sulfatos que pasan a disolución.

En general, con respecto al contenido de sulfatos solubles, puede decirse lo siguiente, en base a la experiencia obtenida en Estados Unidos y Francia, recogida por el Prof. Dallas N. Little, de la Universidad de Austin (Texas):

Si el contenido total está muy por debajo del 1,0 por ciento, en peso, no se debe tener ninguna consideración especial.

Si el contenido total de sulfatos solubles está en el entorno del 1,0 por ciento, no hay peligro, pero es conveniente controlar el mezclado y la humectación de una forma más exigente a lo habitual. Conviene estudiar en laboratorio el hinchamiento potencial del suelo para ajustar el período requerido entre las fases de mezclado y compactación.

Conviene que la humedad del suelo sea de 3 a 5 puntos porcentuales por encima de la humedad óptima. De esta forma se posibilita la formación, en el caso de que así fuera, de Etringita antes de la compactación.

Los suelos con un contenido en sulfatos solubles muy superior al 1,0 por ciento no deben, en general, tratarse con cal, pues el riesgo de fallo y rotura de la capa es elevado, y muy difícil de controlar.

No obstante, hay que incidir en el hecho de que, en muchas ocasiones, la aparición de altos niveles de sulfatos solubles se produce en zonas muy localizadas, de pequeña extensión y profundidad, y, además, de forma muy heterogénea.

Esto permite que, una vez estudiado y localizadas estas zonas, puede reducirse el porcentaje de sulfatos homogeneizando y mezclando los suelos de la traza en el propio proceso constructivo, con el movimiento de tierras... al respecto (ANCADE,2008).

Requerimientos para la estabilización con cal según “SIECA”

La estabilización con cal debe diseñarse de acuerdo con los parámetros de la siguiente tabla.

Tabla 2.9

Requisitos para la graduación de los agregados

Graduación de los agregados	
Tamiz	% Pasando
50.8 mm	100
Nº 4	50-100
Nº 40	20 - 70
Nº200	5 -35

Fuente SIECA

Los agregados deberán tener un Límite Líquido no mayor de 40 y un Índice Plástico igual o mayor que 10 por los ensayos AASHTO T 89 y T 90 respectivamente.

Se podrán aceptar materiales con valores más altos que los indicados siempre que al mezclarse con el cemento en el porcentaje por masa establecido, los valores de Límite Líquido y Límite Plástico sean iguales o menores que los requeridos.

La compresión uniaxial a los siete días, de los especímenes moldeados, mezclados de acuerdo con los porcentajes establecidos y compactados al 96% de la densidad máxima obtenida según ensayo AASHTO T 180 Método A, debe cumplir con los siguientes requisitos. ...Al respecto (SIECA 2002)

Tabla 2.10

Requisitos para Compresión uniaxial

Ensayo	Tiempo de curado	Resistencia mínima
Compresión Uniaxial	7 días	2.0 Mpa
CBR ASTM D 1883	7 días	100%

Fuente SIECA

CAPITULO III. METODOLOGIA DEL ESTUDIO

3.1 Ubicación del estudio

La zona de estudio se ubica en la zona norte del departamento de La Unión siendo la ruta UNI19E, TRAMO A UNI04E - EL SAUCE, el punto de inicio es en el sector conocido como caserío El Algodón y específicamente en el desvío El Algodón ubicado sobre la carretera que de la Ruta Militar conduce al municipio de Anamorós del departamento de La Unión hasta el kilómetro 161 que de la carretera que conduce al municipio de Anamorós conduce al municipio de El Sauce departamento de La Unión dicho tramo comprende 5.6 km.

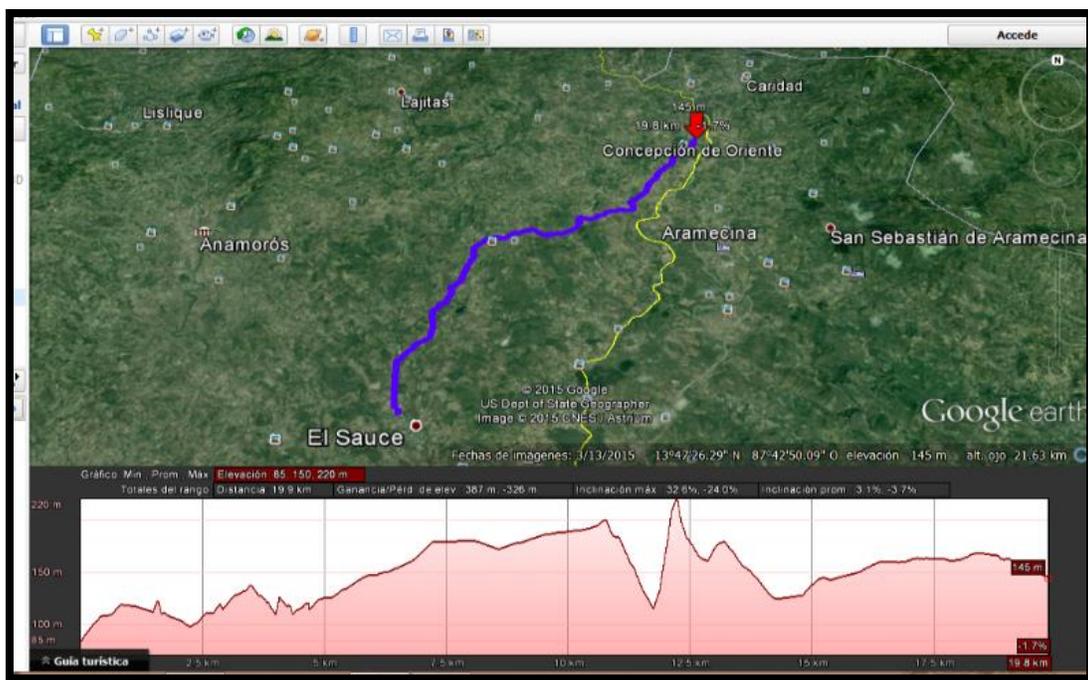


Figura 3.1 Cuadrante Concepción de Oriente (Fuente GOOGLE EARTH)

3.1.1 Tipo de investigación

Se considera de tipo exploratoria porque buscamos, recolectar datos de los diferentes parámetros que constituyen nuestra unidad de análisis, ordenarlos de una manera lógica y analizarlos, para tener una mejor comprensión del fenómeno y satisfacer el problema de la investigación, el trabajo se desarrollara en las etapas que se describen a continuación.

3.1.1.1 Etapa 1: Recolección de información

La información fue recopilada a través de visitas a instituciones y personas que se desempeñan en el área de carreteras como lo es el Fondo de inversión vial (FOVIAL), el Ministerio de obras públicas (MOP) y empresas constructoras interesadas en la

investigación. Y que tengan la posibilidad de brindar toda la información posible para el desarrollo de este trabajo de graduación.

También se visitaron bibliotecas que tienen fuentes de información referente al tema del reciclado. Así como también toda clase de información referente a estudios previos y maquinaria utilizada en la rehabilitación de un pavimento.

3.1.1.2 Etapa 2: Visitas y Entrevistas

En base a que esta investigación es de tipo exploratorio fue necesario realizar una serie de visitas de campo, y así conocer de primera mano la problemática que se ha acudido a identificar.

Las visitas que se programaron son las siguientes:

- Visitas Preliminares, se llaman preliminares debido a que se ejecutarán antes de los estudios detallados.

Se realizaron visitas a diferentes carreteras en el oriente de nuestro país, entre ellas están la carretera que del municipio de Sociedad conduce al municipio de Corinto, como también la carretera Panamericana a la altura del kilómetro 128 a 129; estas fueron las carreteras en las que se estaba llevando a cabo el proceso constructivo de pavimentos reciclados, para observar, evaluar y poder recopilar informaciones fotográficas acerca del estado en que se encontró la vía y sobre la ejecución de rehabilitación.

Se buscó apoyo con instituciones encargadas del desarrollo vial de nuestro país como el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), para solicitar su valiosa ayuda con material bibliográfico u otro tipo de información de experiencias ya vividas en el área de reciclaje de pavimentos.

3.1.1.3 Etapa 3: Pruebas de suelos

Es en esta etapa donde se centró la investigación pues las pruebas se realizaron antes de la rehabilitación del pavimento para determinar los porcentajes de cal y cemento que cada tramo necesita para cumplir con todas las normas establecidas y cumplir con su vida útil, el tramo en estudio fue de 500 metros y las pruebas se obtuvieron cada 250 metros para obtener el mejor resultado posible del tipo de suelo existente en el tramo. Cabe mencionar también que para conocer la condición del estado del pavimento no solo se limitó a una

inspección visual sino también técnica a través del método llamado “Índice de Condición de Pavimentos”

PCI, por sus siglas en ingles.



Figura 3.2 Estado de la carretera en estudio

Fue necesario hacer pozos a cielo abierto cada 250 metros y de estos se obtuvo las muestras para las pruebas de granulometría, se obtuvieron los ensayos a cada 250 metros con esta prueba se conoció la distribución de tamaños de las partículas del suelo. También se realizaron los ensayos para determinar el índice de plasticidad al igual que los de granulometría fueron ensayos a cada 250 metros.

Las pruebas de relación densidad humedad fue necesario una muestra por cada 250 metros, para las pruebas de resistencia a la compresión se deben obtener tres especímenes, y el diseño de mezcla en la que se obtuvo la proporción de cal y cemento necesarios para cada tramo. Para este proceso el tipo de cal usada deberá cumplir con las normas ASTM C-206, ASTM C-207, ATM C 595 o ASTM C-91 y el cemento con las normas ASTM C-1157, ASTM C-595 o ASTM C-91.



Figura 3.3 Deterioro del asfalto en carretera en estudio

En esta etapa se realizaron visitas al lugar de estudio con el objetivo de obtener las muestras, para luego realizar las pruebas en laboratorios.



Figura 3.4 Carretera prácticamente sin asfalto.

Luego de la obtención de muestras se procedió a la obtención de resultados para esto se realizaron los ensayos en el laboratorio, con el fin de obtener el diseño de mezcla cal-cemento para cada tramo evaluado.



Figura 3.5 Parte de la carretera dañada.

3.1.1.4 Etapa 4: Análisis y clasificación de la información obtenida

Una vez recopilada la información, se procedió a su respectivo análisis y comparación, para ir seleccionando lo concerniente a cada parte del desarrollo de este documento.

Esta etapa se realizó de la mano de los asesores directores, es decir una vez analizada, comparada y clasificada la información, se está en la obligación de entregar el material para que este sea sometido a discusión, observaciones y correcciones, con el fin de obtener un documento lo más completo posible al final de cada evaluación.

En esta etapa también se verifica que el tramo cumpla con los requerimientos de las normas vigentes en nuestro país.



Figura 3.6 Control de calidad en el proceso constructivo. (Fuente FOVIAL)

3.1.1.5 Etapa 5: Propuesta

Al finalizar la investigación se dejó una guía en la que se describe el proceso constructivo de la técnica usada.

3.1.1.6 Unidades de análisis.

Las unidades de análisis que se investigaron se sitúan en la ruta UNI19E Tramo A UNI04E – El Sauce, de dicha ruta se tomaron dos tramos para analizar y los cuales se nombraron como tramo uno y que se ubica en la Estación 2+ 660 hasta la estación 2+910 y el tramo dos que va desde la estación 3+450 hasta la estación 3+700. Los tramos anteriores fueron elegidos así porque en ellos se encontraban las características a evaluar.

3.2 Proceso usado para la recolección de datos en campo

3.2.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de pavimento que se inspecciona, la evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

- a. Equipo.
 - Odómetro manual para medir las longitudes entre las muestras y las áreas de los daños
 - Regla y cinta métrica para establecer las profundidades de las fallas
 - Manual de daños con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.
- b. Procedimiento: se inspeccionó una unidad de muestreo para medir el tipo cantidad y severidad de los daños de acuerdo al manual de daños, y se registró la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimiento de medida de los daños. Se usó un formulario u hoja de información de exploración de la condición para cada unidad de muestreo y en los formatos cada renglón se usó para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002).

Proceso para el análisis de resultados

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 formatos adecuados para tal fin. A continuación se ilustra el formato para la inspección de pavimentos asfálticos las figuras son ilustrativas y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO					
EXPLORACION DEN LA CONDICION POR UNIDAD DE MUESTREO					
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
CODIGO VIA	ABSCISA FINAL	AREA MUESTREO (M2)			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
INSPECCIONADA POR:		FECHA			
<input type="text"/>		<input type="text"/>			
No.	DAÑO	No.	DAÑO		
1	Piel de cocodrilo	11	Parqueo		
2	Exudación	12	Pulimento de agregados		
3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos		
4	Abultamiento y hundimientos	14	Cruce de vía férrea		
5	Corrugación	15	Ahuellamiento		
6	Depresión	16	Desplazamiento		
7	Grieta en 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	Valor deducido

Figura 3.7 Formato usado para recolección de datos de campo. (Fuente manual PCI).

Unidades de Muestreo:

Se dividió la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura para carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango **230.0 ± 93.0 m²**. En la siguiente tabla se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 3.1

Longitudes de unidades de muestreo para carreteras asfálticas

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Fuente manual PCI

Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación:

En la “Evaluación De Una Red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

- a. En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo a evaluarse se obtuvieron mediante la Ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez, 2002).

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2} \quad (\text{Ec. 3. 1})$$

Dónde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25).

En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), todas las unidades deberán evaluarse.

Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento. La primera de ellas se eligió al azar (aleatoriedad sistemática) usando la siguiente ecuación.

a. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación 2:

$$i = \frac{N}{n} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Dónde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i : Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3).

b. El inicio al azar se seleccionó entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i . Así, si $i = 11$, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 11. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez 2002).

Siguiendo con el ejemplo, la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada fue 11 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 11, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 22, 33, 44, 55, etc.

Cálculo del PCI de las unidades de muestreo

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

Cálculo para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica

Etapas 1 Cálculo de los Valores Deducidos

1. a. Totalizar cada tipo y nivel de severidad de daño y registrarlo en la columna TOTAL del formato PCI-01. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.

1. b. Dividir la CANTIDAD de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el ÁREA TOTAL de la unidad de muestreo y expresar el resultado como porcentaje. Esta es la DENSIDAD del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

1. c. Determinar el VALOR DEDUCIDO para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “Valor Deducido del Daño” que se adjuntan en los anexos, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

Etapas 2 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos

2. a. Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la Etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b. y 2.c.

2. b. Listar los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.

2. c. Determinar el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m), utilizando la Ecuación 3: ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez 2002).

$$m_i = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Dónde:

m_i : Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i .

HDV_i : El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i .

2. d. El número de valores individuales deducidos se reduce a m , inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan.

Etapas 3 Cálculo del Máximo Valor Deducido Corregido

El máximo CDV se determinó mediante el siguiente proceso iterativo:

3. a. Determinar el número de valores deducidos, q , mayores que 2.0.

3. b. Determinar el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.
3. c. Determinar el CDV con q y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
3. d. Reducir a 2.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repitiendo las etapas 3.a. a 3.c. hasta que q sea igual a 1.
3. e. El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez 2002).

FORMATO PARA LA OBTENCIÓN DEL MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO												
No.	Valores Deducidos									Total	q	CDV
1												
2												
3												
4												

Figura 3.8 Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido. (Fuente manual PCI)

Etapas 4 Cálculo del PCI

Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la Etapa 3 para cada muestra analizada, cuando se obtiene el PCI de todas las muestras se obtiene el promedio de las muestras analizadas y este se toma como el Índice de Condición de Pavimentos de la vía en estudio.

3.3 Estudio geotécnico

En todo proyecto de carretera es necesario realizar una campaña geotécnica, para encontrar las diferentes propiedades físicas y mecánicas de los suelos a los que se va a transmitir las cargas del tránsito. Cuando se tiene una carretera a rehabilitar no es la excepción, ya que con estas pruebas se sabrá las condiciones en las que se encuentra la capa del pavimento viejo y el suelo que lo sostiene.

Los pasos a seguir para los ensayos realizados en el estudio de este proyecto de rehabilitación de carretera fueron los siguientes,

- ✓ Obtención de muestras de suelo
- ✓ Límites de Atterberg
- ✓ Análisis Granulométrico
- ✓ Clasificación de suelos (según AASHTO, ASTM)
- ✓ Índice de grupo
- ✓ Diseño de mezcla.

3.3.1 Obtención de muestras de suelos

Para determinar las propiedades del suelo en estudio en el laboratorio se contó con muestras representativas de dicho suelo. Se definió una metodología a seguir con el propósito de minimizar tiempo de recolección de muestras y que fuesen representativas, se recorrió el camino para observar las características del lugar y tramo a considerar para la extracción de los tramos más representativos para los sondeos de suelo en los cuales se realizaron los pozos a cielo abierto. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez 2002).

Para tal caso se eligieron dos tramos representativos de toda la vía en rehabilitación. ...Al respecto (Luis Ricardo Vásquez 2002).



Figura 3.9 Obtención de muestras

3.3.2 Pozos a cielo abierto

La excavación de pozos a cielo abierto permitió la inspección visual de los estratos del suelo. Se tomaron muestras individuales en un sondeo a cielo abierto, se realizaron a cada 200 metros a una profundidad de 75 cm, en cada excavación se tomaron dos muestras, la primera a una profundidad de 30 cm y la segunda a 45 cm después de los 30 cm haciendo un total de 75 cm. Por cada muestra de suelo se realizaron ensayos en el laboratorio como son límites de Atterberg, granulometría, clasificación del suelo según ASSHTO y ASTM y la obtención de compactación con el ensayo de Próctor. El número total de los pozos realizados en este proyecto en estudio fue de 30 para un tramo de casi 6km.

Como se mencionó en los alcances para este estudio solamente se tomaron las muestras de dos sondeos en dos tramos de interés para este trabajo, tramo uno y tramo dos ubicados en las estaciones 2+660 y 3+450 respectivamente. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).

Cabe mencionar y aclarar que se tomaron solo dos sondeos debido a que eran suficientes para los resultados requeridos y por la distancia del tramo propuesto en los alcances.

Esta obtención de muestras siguió el proceso siguiente:

- a) Se rebajó la parte seca y suelta de suelo con el propósito de obtener una superficie fresca.
- b) Se tomó una muestra por cada capa a la profundidad indicada (0.3m y 0.45m) y se rotuló de manera clara para no confundir las muestras.
- c) Las muestras fueron llevadas en sacos a laboratorio

3.3.3 Límites de consistencia

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de esta característica se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad del suelo en estudio se hizo uso de los límites de Atterberg, que por medio de ellos se separa los estados de consistencia de los suelos coherentes.

Todos los límites de consistencia se determinaron empleando suelo que pase la malla N° 40. La diferencia entre los valores del límite líquido (L.L.) y del límite plástico (L.P.) da el llamado Índice Plástico (I.P.) del suelo. Los límites líquido y plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, pero el índice plástico, depende generalmente de la cantidad de arcilla. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).

Límite Líquido

Un espécimen de suelo es cribado por el tamiz No 40 (425 μm), para remover cualquier material retenido en él. El límite líquido será el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. Los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida es de 25 g/cm^2 .

El límite líquido se determinó realizando ensayos en los que una porción del espécimen es extendida en una copa (Copa de Casagrande), luego se dividió en dos utilizando un roturador y posteriormente se sacudió el suelo por medio de repetidos golpes proporcionados a la copa hasta que las dos mitades de la muestra se unieron una distancia de 1.3cm ($\frac{1}{2}$ pulgada). El límite líquido determinado con múltiples puntos requirió tres ensayos sobre un rango de contenidos de humedad a ser realizados y los datos fueron graficados y calculados para hacer una relación de la cual el límite líquido fue determinado. El límite líquido por un punto, utiliza el dato de dos ensayos a un contenido de humedad multiplicado por un factor de corrección para determinar el límite líquido. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).



Figura 3.10 Mezclado del material utilizando una espátula.



Figura 3.11 Muestra del suelo en copa Casagrande

Límite Plástico

El límite plástico (L.P.) se definió como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico, se hizo uso del material que, mezclado con agua, había sobrado de la prueba del límite líquido y al cual se le evaporó humedad por mezclado hasta tener una mezcla plástica que fue fácilmente moldeable. Se formó luego una pequeña bola que fue rodillada en seguida en una placa de vidrio aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos. Cuando el diámetro del filamento resultante fue de 3.17 mm (1/8") sin romperse, se juntó la muestra de nuevo,

mezclándose en forma de bola y volviéndose a rodillarse. El proceso se continuó hasta que se produjo un rompimiento de los filamentos al momento de alcanzar 1/8" de diámetro. Cuando al rodillar la bola de suelo se rompió el filamento al diámetro de 1/8", se tomaron todos los pedacitos, se pesaron, se secaron al horno en un vidrio, volvieron a pesarse ya secos y se determinó la humedad correspondiente al límite plástico. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).



Figura 3.12 Rodillado de la barra de suelo.



Figura 3.13 Porciones del suelo obtenidas en ensayo de límites.



Figura 3.14 Equipo utilizado en el ensayo de límites.

Índice de plasticidad

Se denomina índice de plasticidad o índice plástico (I.P.) a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo; sin embargo, el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla del suelo. Comparando el índice de plasticidad con el que marcan las especificaciones respectivas se puede decir si un determinado suelo presenta las características adecuadas para cierto uso. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).

3.3.4 Ensayo de granulometría

La prueba de análisis granulométrico persiguió determinar la clasificación de un suelo por el tamaño de partículas individuales; valiéndose de la curva granulométrica y de los valores de los coeficientes de uniformidad y curvatura.

La prueba se realizó por medio del Análisis Granulométrico, el cual se usó para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores de suelo; generalmente se llega así hasta los tamaños mayores correspondientes a la malla No. 200. La muestra de suelo se hizo pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas descendentes, hasta la malla No. 200. Conocida la composición granulométrica del material, se le representó gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo....Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).

Procedimiento del tamizado

La ejecución de este procedimiento puede explicarse claramente en la forma siguiente:

- a) Se toma una muestra representativa de unos 20kg y se seca al sol o en horno durante 12 horas.
- b) Por medio de cuarteos a la muestra mencionada se sacan unos 2kg.
- c) Se pasan los 2kg por las mallas de 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", y N° 4, y se pesa el retenido en cada una de dichas mallas.
- d) Del material que pasa la malla n°4 se toma una cierta cantidad – generalmente 200g – y se colocan en un vaso con agua, dejando que el material se remoje unas 12 horas.
- e) Con un agitador metálico se agita el contenido del vaso durante un minuto y se vacía luego sobre la malla n° 200, se vacía nuevamente el material al vaso lavando la malla en posición invertida, se agita nuevamente el agua del vaso y se repite el procedimiento tantas veces como sea necesario hasta que no se enturbie el agua al ser agitada.
- f) Se elimina el agua y se pone la muestra a secar en un horno a temperatura constante.
- g) Se pesa y por diferencia a los 200g se obtiene el porcentaje que pasó la malla n° 200.
- h) Se vacía el material que paso la malla n°4 y se retuvo en la n° 200, para que pase lo correspondiente por las mallas 10, 20, 40, 60, 100 y 200, pesando los retenidos.
- i) Conociendo los pesos parciales retenidos desde la malla de 2" hasta la n° 200 se obtienen los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes retenidos acumulativos y los porcentajes pasando.
- j) Se traza la curva de la composición granulométrica del material en una gráfica que tiene por abscisas, a escala logarítmica, las aberturas de las mallas y por ordenadas los porcentajes de material que pasa por dichas mallas, a escala aritmética.
- k) La curva resultante se compara con las que se tengan como especificaciones, o se obtienen de ella relaciones entre ciertos porcentajes pasando que dan idea de la graduación del material. Además la forma de la curva granulométrica, dibujada a

escala semilogarítmica, da una idea de la composición granulométrica del suelo. Así, un suelo que está formado por partículas de un mismo tamaño quedara representado por una línea vertical y un suelo con curva granulométrica bien tendida indicara gran variedad de tamaños....Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).

Para el análisis granulométrico mecánico o por tamizado puede utilizarse el siguiente grupo de mallas:

3", 1 ½", 3/4", 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No.50, No. 100 y No. 200



Figura 3.15 Balanza de 0.1 gr. de precisión.



Figura 3.16 Brochas y recipientes para pesar muestras

3.3.5 Ensayo de la compactación y humedad óptima (Próctor)

La prueba de Próctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Con esta prueba se logró:

- a) Determinar el peso volumétrico seco máximo (γ_s máx) que puede alcanzar un material, así como la humedad óptima (w) o a que deberá hacerse la compactación. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).
- b) Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos, aeropuertos y calles, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Próctor.

La prueba de Próctor reproduce en el laboratorio el tipo de compactación uniforme de la parte inferior hacia la superficie de la capa compactada.

En todos los suelos, al incrementarse la humedad se aplica un medio lubricante entre sus partículas que permite un cierto acomodo de estas cuando se sujetan a un esfuerzo de compactación. Si se sigue incrementando la humedad empleando el mismo esfuerzo de compactación, se llega a obtener el mejor acomodo de las partículas del suelo, y por consecuencia el mayor peso volumétrico seco, con cierta humedad llamada humedad óptima. A esta humedad deberá procurarse siempre efectuar la compactación en la calle,

ya que facilita el acomodo de las partículas con el menor trabajo del equipo de compactación. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).

Material y equipo

Los materiales junto con el equipo que se utilizó en la prueba son los siguientes

✓ Muestra de suelo:

Representativa de campo y en condición “secada al aire” o a una temperatura no excedente de 60 °C.

✓ Apisonador manual o martillo de compactación:

Un apisonador metálico con una masa de 2.495 ± 0.009 Kg (5.5 ± 0.02 lb), que posea una cara circular plana de 50.8 mm (2.0 pulg) de diámetro. El apisonador deberá estar equipado con una manga guía apropiada para el control de la caída libre de 305 ± 2 mm (12 ± 0.06 ”) sobre la elevación del suelo. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).

✓ Moldes:

De pared sólida, metal rígido y forma cilíndrica, con diámetros de 101.6 ± 0.41 mm (4”) y 152.4 ± 0.66 mm (6”), una altura de 116.43 ± 0.13 mm (4.584 ± 0.005 ”), con capacidades de 0.000943 ± 0.000008 m³ y 0.002124 ± 0.000021 m³ respectivamente. Adicionalmente los moldes deben poseer un collarín de montaje removible de aproximadamente 60 mm de altura y una placa base.



Figura 3.17 Moldes para ensayos de compactación.

✓ Extractor de muestras:

Consistente en un gato hidráulico de palanca, marco u otro dispositivo apropiado para extraer el espécimen compactado del molde.

✓ Regla enrazadora:

De metal rígida con borde biselado teniendo por lo menos una superficie longitudinal plana, dentro de 0.250 mm por 250 mm (0.01 pulg x 10 pulg).

✓ Balanza:

Con una legibilidad de 0.1 y 1g.

✓ Horno de secado:

Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de 110 ± 5 °C en toda la cámara de secado.

✓ Tamices:

Tamiz de $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm) y No.4 (4.75 mm).

✓ Misceláneos:

Recipientes de mezclado (charola o bandeja), mortero y pistilo, cucharón, pala, cuchara de albañil, cuchillo, espátula, pipeta, u otras herramientas convenientes para mezclar completamente la muestra de suelo con los incrementos de agua, además guantes de hule, probeta de 500 ml, recipientes para contenidos de humedad, vernier, brocha, bolsas plásticas. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).



Figura 3.18 Equipo utilizado para el ensayo de compactación.

Resumen del ensayo Próctor

Un suelo con un contenido de humedad seleccionado se colocó en tres capas dentro de un molde cilíndrico de dimensiones conocidas, cada capa es compactada por medio de la caída de un pisón de 2.5 Kg (5.5 lb) con una altura de caída de 12", aplicando de 25 a 56 golpes y sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 12400 lb-pie/pie³ (600 kN-m/m³), determinándose posteriormente su peso unitario seco. El procedimiento es repetido para un número suficiente de contenidos de agua para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Graficados estos datos representan una relación curvilínea conocida como "curva de compactación". Los valores del contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo del suelo, son determinados utilizando dicha curva. ...Al respecto (Carlos Crespo Villalaz, 2007).

CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Evaluación de la condición de la ruta UNI19E, tramo a UNI04E - El Sauce.

Se hizo la evaluación de la condición del pavimento flexible para determinar el deterioro de la estructura del pavimento en función de los daños existentes, para ello se realizó el trabajo de campo definiendo las unidades de muestreo y haciendo un inventario de los daños, teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos todo esto mediante el uso de la metodología PCI. Al final se definieron las posibles reparaciones a efectuar para obtener una superficie de pavimento que garantice la comodidad y seguridad al transitar por la vía. A continuación se presentan los datos obtenidos en la medición que se hizo para aplicar la metodología del cálculo del PCI de la ruta en estudio.

4.1.1 Aplicación del método a la ruta en estudio

Para la realización del procedimiento de evaluación de la condición del pavimento, se desarrolló una primera etapa que consistió en el trabajo de campo, a través del cual se identifican los daños teniendo en cuenta clase, severidad y extensión de los mismos. Para comenzar se obtuvo la longitud de la muestra, de acuerdo a la tabla 3.1 se tiene que el ancho de la calzada es de 6.5 m por tanto la longitud de la muestra será de 35.4m, teniendo esto se procede a encontrar el número de unidades de muestreo mediante la ecuación 1.

$$N = \frac{5600m}{35.4m} = 158.19 \approx 158 \text{ unidades de muestreo}$$

El resultado fue de 158 unidades de muestreo en total. De estas 158 unidades se debe obtener un número mínimo de muestras, para encontrar el número mínimo de unidades de muestreo se utiliza la ecuación 2 y sustituyendo los valores dados en la ecuación 1 y se obtiene:

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2} = \frac{158 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (158 - 1) + 10^2} = 14.61 \approx 14$$

Para el cálculo del intervalo de muestreo i se usó la ecuación 3 obteniendo los siguientes datos:

$$i = \frac{N}{n} = \frac{158}{14} = 11.28 \approx 11$$

El área de cada unidad de muestreo será la misma ya que la longitud y ancho del tramo es igual para cada muestra que se tomó.

Área de la muestra = ancho de la calzada por la longitud de la muestra

$$A = 6.5m * 35.4m = \mathbf{230.1m^2}$$

4.1.2 Resultados de las muestras analizadas

Unidad de muestreo 1

Se eligió la primera muestra entre las primeras 11 unidades de muestreo quedando situada en la unidad de muestreo número 11 correspondiente al estacionamiento que va de 0+355 hasta el estacionamiento 0+390, de aquí en adelante se tomó una muestra por cada once unidades de muestreo, obteniéndose los siguientes resultados de campo: las fallas encontradas son: piel de cocodrilo con severidad alta en un área de 12.6 m², huecos con severidad alta y con área representativa de 9.79 m², seguida de la falla desprendimiento de agregados con severidad media y área de 34.5 m² y finalmente la falla de parcheo con severidad leve y área de 14 m². El área se obtuvo para cada falla y en las que había más de una se hizo la sumatoria de todas las áreas individuales. Completada la inspección de campo se procedió a obtener los resultados.

Proceso de llenado para Formato 1.

MUESTRA: Numero de muestra analizada.

ABSCISA INICIAL: Estacionamiento en que se inicia la muestra.

UNIDAD DE MUESTREO: Numero de muestra correlativo.

FECHA: Fecha en que se realizó la inspección de campo.

ABSCISA FINAL: Estacionamiento en que finaliza la muestra.

AREA DE MUESTREO: Área que comprende la muestra para el caso es de 230.1 m².

DAÑO: Numero de daño que corresponde a la falla.

1. Piel de cocodrilo
2. Exudación
3. Agrietamiento en bloque
4. Abultamiento y hundimiento
5. Corrugación
6. Depresión
7. Grieta de borde
8. Grieta de reflexión de junta
9. Desnivel de carril/ Berma
10. Grietas longitudinales y transversales
11. Parcheo
12. Pulimento de agregados
13. Huecos
14. Cruce de vía férrea
15. Ahuellamiento
16. Desplazamiento
17. Grieta parabólica
18. Hinchamiento
19. Desprendimiento de agregados.

SEVERIDAD: Esta casilla comprenderá el nivel de severidad de la falla siendo estas:

- ✓ **H: ALTA**
- ✓ **M: MEDIA**
- ✓ **L: LEVE**

CANTIDADES PARCIALES: Comprende el ancho y largo de cada falla, siendo:

- ✓ **A:** Ancho
- ✓ **L:** Largo

TOTAL: Es el área total del daño y se encuentra con la sumatoria de las áreas encontradas en la casilla CANTIDADES PARCIALES.

DENSIDAD: Se encuentra dividiendo el área total del daño de la columna TOTAL entre el área de la muestra que es de 230.1m^2 .

VALOR DEDUCIDO: Este se encuentra mediante las curvas del valor deducido, de interpolar la densidad y la severidad del daño y se hace para cada falla. (Las tablas para valor deducido las puede encontrar en anexos).

A continuación se muestran todos los resultados para la muestra 1

Formato 4.1

Resultados para la unidad de muestreo número uno.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS													
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO													
MUESTRA		ABSCISA INICIAL				UNIDAD DE MUESTREO							
1		0+355				11							
FECHA		ABSCISA FINAL				AREA DE MUESTREO (m²)							
SEP-2015		0+390				230.1							
No		Daño				No				Daño			
1		Piel de cocodrilo				8				Grieta de reflexión de junta			
2		Exudación				9				Desnivel carril / berma			
3		Agrietamiento en bloque				10				Grietas long y transversales			
4		Abultamiento y hundimiento				11				Parcheo			
5		Corrugación				12				Pulimento de agregados			
6		Depresión				13				Huecos			
7		Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m²)	Densidad (%)	Valor deducido	
		A	L	A	L	A	L	A	L				
1	H	21.00	0.60							12.60	5.48	53.00	
11	L	7.00	2.00							14.00	6.08	11.00	
13	H	1.20	0.70	1.40	0.90	1.00	1.30	1.20	1.00	9.79	4.25	85.00	
19	M	1.50	23.00							34.50	14.99	22.00	

Etapas 2 Cálculo del número máximo admisible de valores deducido

Se listaron los valores deducidos individuales de mayor a menor siendo estos: 85, 53, 22 y 11.

Luego se determinó el número máximo admisible de valores deducidos (m) usando el máximo de los valores deducidos individuales para el caso es 85 mediante la ecuación:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$$
$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - 85) = 2.378$$

Como el “ m ” resultado de 2.37 se reduce el número de valores deducidos a evaluar a dos y se toman los últimos dos valores.

Etapas 3 Cálculo del máximo valor deducido corregido

Se determina el máximo CDV mediante el siguiente proceso iterativo:

Se determinó el número de valores deducidos “ q ”, mayores que 2.0 para la muestra uno todos los valores deducidos dieron mayores que dos así que se hace el proceso para todos los casos.

Se planteó el CDV con “ q ” y el valor deducido total en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento. Ver anexo 20.

Se redujo a 2.0 el menor de los valores deducidos individuales mayores a 2.0 y se repite el proceso hasta que “ q ” da igual a 1.

El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en el proceso.

A continuación se presenta una tabla resumen de los valores deducidos individuales para cada falla.

La tabla 3.1 muestra los resultados de los valores deducidos, se obtuvieron cuatro valores deducidos los cuales son: 85, 53, 22 y 11.

Tabla 4.1

Valores deducidos corregidos para unidad de muestreo número uno.

Muestra 1									
#	Valor deducido					Total	q	m	CDV
1	85.00	53.00	22.00	11.00		171.00	4	2.378	
2	85.00	53.00	22.00	2.00		162.00	3		
3	85.00	53.00	2.00	2.00		142.00	2		92.00
4	85.00	2.00	2.00	2.00		91.00	1		91.00

Etapa 4: Cálculo de PCI individual de la muestra

Siguiendo con el proceso del PCI se obtiene el máximo valor deducido corregido de 92. El Índice de Condición de Pavimentos PCI se calcula restando de 100 el máximo CDV obtenido para cada muestra.

$$PCI_1 = 100 - 92 = 8$$

Para la unidad de muestreo 1 tenemos un PCI individual de 8 lo cual corresponde a un pavimento fallado.

El cálculo de resultados se realizó solamente para la muestra uno, y los resultados para las muestras de la número 2 a la 14 se presentan en anexos.

4.1.3 Resumen de resultados

En la tabla 3.15 se presenta el resumen de los datos obtenidos y el promedio de Índice de Condición de Pavimentos PCI individuales para cada muestra.

Tabla 4.2

Resumen de datos obtenidos del PCI individual por muestra.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)					
RUTA UNI19E, TRAMO A UNI04E - EL SAUCE					
CARRETERA DE SUPERFICIE ASFALTICA					
Unidades muestreadas: 14				Estacionamiento inicial:0+000	
DISTANCIA ENTRE MUESTRAS 390 m				Estacionamiento final: 5+600	
Área de la muestra: 230.1 m2				Fecha 11/09/2015	
N° de muestra	Área	ESTACIONAMIENTO		PCI	CLASIFICACIÓN
		EST INICIAL	EST FINAL		
1	230.1	0+355	0+390	8	FALLADO
2	230.1	0+774	0+779	42	REGULAR
3	230.1	1+133	1+168	34	MALO
4	230.1	1+523	1+558	14	MUY MALO
5	230.1	1+912	1+947	74	MUY BUENO
6	230.1	2+301	2+336	38	MALO
7	230.1	2+695	2+730	10	FALLADO
8	230.1	3+085	3+120	48	REGULAR
9	230.1	3+474	3+509	22	MUY MALO
10	230.1	3+864	3+899	2	FALLADO
11	230.1	4+253	4+288	16	MUY MALO
12	230.1	4+462	4+677	8	FALLADO
13	230.1	5+032	5+067	20	MUY MALO
14	230.1	5+460	5+495	12	MUY MALO
PCI (prom)				24.86	MUY MALO

De acuerdo a la información de la tabla 4.16, se pueden apreciar las unidades de muestreo, su estado y el porcentaje que este ocupa sobre el total de unidades. La zona posee cinco tipos de estado representados así: 1556.6 metros en estado fallado que corresponden aproximadamente al 29%, 1947 metros en estado muy malo correspondiente al 36%, aproximadamente, 778.8 metros en estado malo y que corresponden al 14%, 778 metros en estado regular y que corresponden a cerca del 14 %, también se encontraron 389.4 metros en estado muy bueno que corresponden al 7%, no se presentan sectores en estado bueno ni excelente.

Tabla 4.3

Estado de las unidades de muestreo.

Estado	Unidades de Muestreo (35.4m)	Longitud	%
Fallado	44	1557.6	28.57
Muy malo	55	1947	35.71
Malo	22	778.8	14.29
Regular	22	778.8	14.29
Bueno	0	0	-
Muy bueno	11	389.4	7.14
Excelente	0	0	-
Total	154	5451.6	100.00

4.2 Análisis granulométrico

A continuación se presentan los datos obtenidos en laboratorio para las muestras de los pozos a cielo abierto seleccionados, para el caso Análisis Granulométrico.

Muestreo 1 PCA # 1, EST. 2+660.

Tabla 4.4

Datos iniciales para el análisis granulométrico, muestra # 1

	AASHTO T-27	AASHTO T-11
Peso bruto (g)	5430	1690
Tara (g)	430	190
Peso neto (g)	5000	1500
Humedad (%)	0.00	9.8
Peso seco (g)	5000	1366

Tabla 4.5

Resultados de humedad.

Capsula N°	21
W cap + Ww	400.0
W cap + Ws	371.8
W	28.2
Tara	85.4
Ws	286.4
%W	9.8

Tabla 4.6

Porcentajes retenidos en tamices, muestra # 1

TAMICES	PESO RETENIDO PARCIAL GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3	0.0	0.00	0	100.0
2 ½	0.0	0.00	0	100.0
2	285	5.7	5.7	94.3
1 ½	165.0	3.3	9.0	91.0
1	402.0	8.0	17.0	83.0
¾	180.0	3.6	20.6	79.4
½	224.0	4.5	25.1	74.9
3/8	217.0	4.3	29.5	70.5
N° 4	506.6	10.1	39.6	60.4
N° 10	292.4	12.9	52.5	47.5
N°40	427.0	18.9	71.4	28.6
N°200	265.0	11.7	83.1	16.9
Fondo	381.0	16.9	100.0	0.0

Tabla 4.7

Resultados en porcentajes, muestra # 1

GRAVAS (%)	39.6
ARENAS (%)	43.5
FINOS (%)	16.9

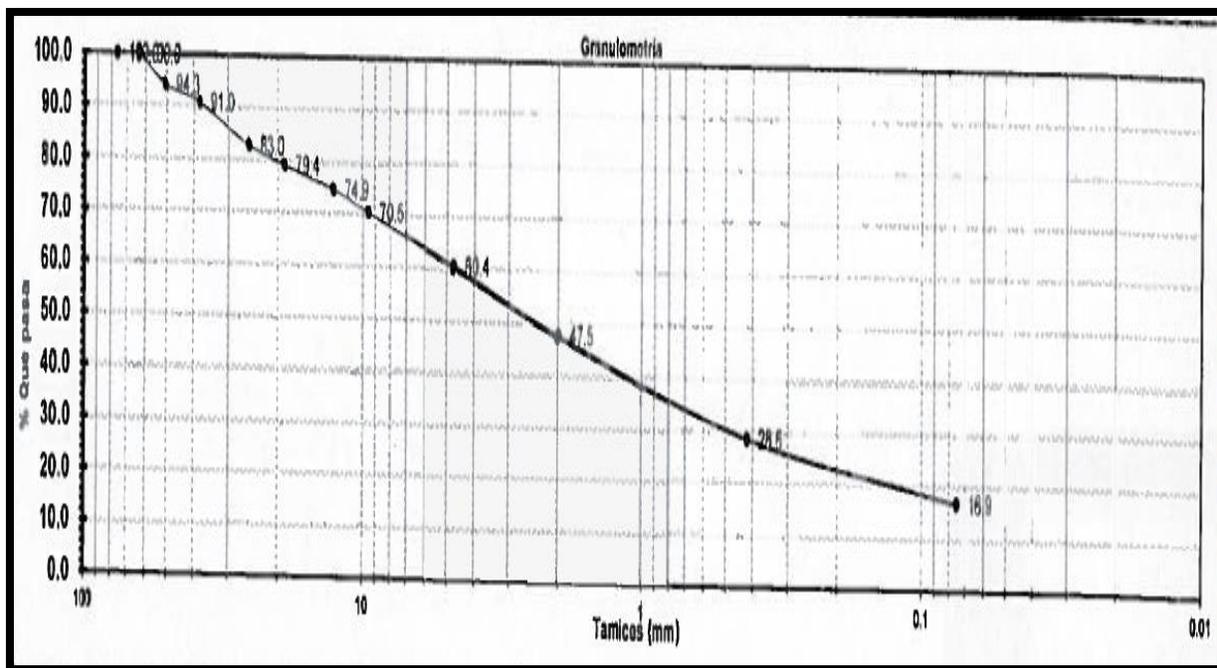


Figura 4.1 Grafica de la curva granulométrica, muestra # 1.

Muestreo 2 PCA # 2, EST. 3+450; Análisis Granulométrico

Tabla 4.8

Datos iniciales para el análisis granulométrico, muestra # 2

	AASHTO T-27	AASHTO T-11
Peso bruto (g)	7000	1860
Tara (g)	412	190
Peso neto (g)	6588	1670
Humedad (%)	0.00	5.2
Peso seco (g)	6588	1587

Tabla 4.9

Resultados de humedad, muestra # 2

Capsula N°	29
W cap + Ww	390.0
W cap + Ws	375.6
W	14.4
Tara	100.3
Ws	275.3
%W	5.2

Tabla 4.10

Porcentajes retenidos en tamices, muestra # 2

TAMICES	PESO RETENIDO PARCIAL GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3	0.0	0.00	0	100.0
2 ½	0.0	0.00	0	100.0
2	268.0	4.1	4.1	95.9
1 ½	155.0	2.4	6.4	93.6
1	450.0	6.8	13.3	86.7
¾	182.0	2.8	16.0	84.0
½	250.0	3.8	19.8	80.2
3/8	271.0	4.1	23.9	76.1
N° 4	408.0	6.2	30.1	69.9
N° 10	257.0	11.3	41.4	58.6
N°40	427.8	18.8	60.3	39.7
N°200	196.3	8.6	68.9	31.1
Fondo	706	31.1	100.0	0.0

Tabla 4.11

Resultados en porcentajes, muestra # 2

GRAVAS (%)	30.1
ARENAS (%)	38.8
FINOS (%)	31.1

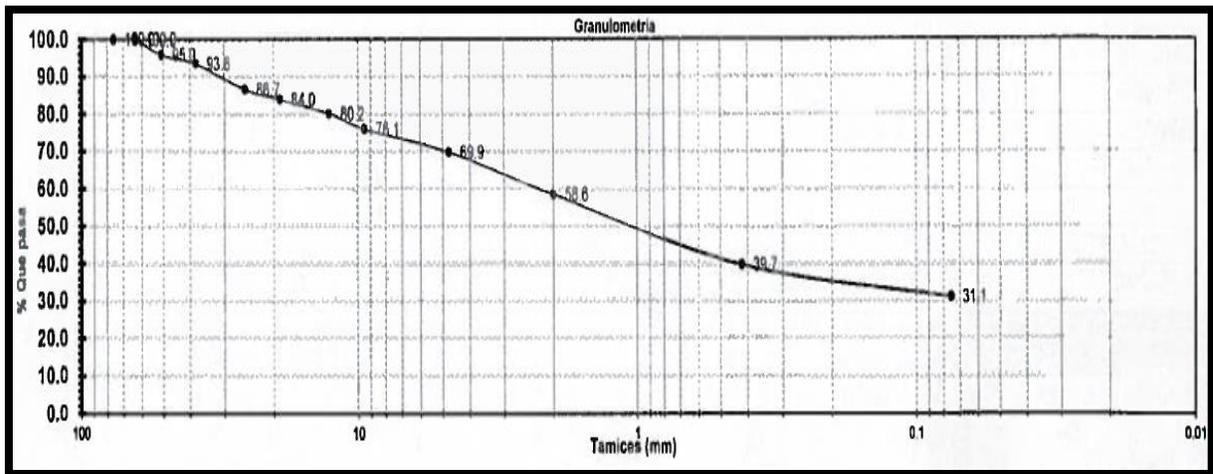


Figura 4.2 Grafica de la curva granulométrica, muestra # 2.

El respectivo análisis granulométrico se dividió las muestras por estratos que van de 0 hasta 40 cm, el material que hace referencia esta profundidad será el suelo principal para la estabilización de la base con cemento o cal-cemento; muestra nº 1 y muestra nº 2. Al analizar las muestras individuales se tomaron criterios de la AASHTO por el motivo que el suelo se utilizará para la estabilización para caminos, a continuación en la tabla 4-1 se presenta un resumen de cada una de las granulometrías realizadas al suelo del lugar.

Tabla 4.12

Resumen de resultados de granulometrías.

CARACTERISTICA	MUESTRA 1	MUESTRA 2
ESTACIÓN	2+660	3+450
% pasa la malla 3"	100.00	100.00
% pasa la malla 2 1/2"	100.00	100.00
% pasa la malla 2"	94.30	95.90
% pasa la malla 2 1/2"	91.00	93.60
% pasa la malla 1"	83.00	86.70
% pasa la malla 3/4"	79.40	84.00
% pasa la malla 1/2"	74.90	80.20
% pasa la malla 3/8"	70.50	76.10
% pasa la malla 4"	60.40	69.90
% pasa la malla N° 10	47.50	58.60
% pasa la malla N° 40	28.60	39.70
% pasa la malla N° 200	16.90	31.10
Fondo	0.00	

Como se puede observar de la tabla anterior en la muestra N° 1 el pasante de la malla N° 4 es igual a 60.40% esto quiere decir que el 60.40% de este suelo es grava, siguiendo con el análisis se puede determinar que el porcentaje de fino de la muestra N° 1 de 16.90% que es el pasante de la malla N° 200. De la diferencia de los porcentajes de grava y fino que se encuentra en la muestra N° 1 se puede determinar que un 43.5% de este suelo es arena.

Se concluye en base a los porcentajes de grava, arena y fino que se observa en cada una de las granulometrías realizadas a la muestra N° 1 se trata de un suelo denominado según el dominio de material: ARENA LIMOSA CON GRAVA con un mínimo porcentaje de finos.

Analizando la muestra N° 2 del suelo que se utilizó para la conformación de la capa base se puede observar que el porcentaje de grava con un 30.10% seguido con arena con un

38.80% obteniendo un porcentaje de fino de 31.10% denominándose así el suelo como ARENALIMOSA CON GRAVA con un porcentaje alto de finos.

Se concluye que el material que se encuentra en el lugar en el tramo 1 ubicado en la estación 2+660 contiene un mínimo porcentaje de finos.

Así también el suelo encontrado para el tramo 2, ubicado en la estación 3+450 su porcentaje de finos es alto.

4.3 Límites de consistencia

Resultados muestreo 1 PCA # 1, EST. 2+660; Límites de consistencia Suelo natural.

Tabla 4.13

Tabulación de datos de ensayo de límites de consistencia suelo natural.

LIMITE LIQUIDO							
CAPSULA #	PESO CAPSULA (g)	CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	CAPSULA + SUELO SECO (g)	AGUA (g)	SUELO SECO (g)	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES
15	15.43	32.61	28.07	4.54	12.64	35.92	15
26	15.14	34.12	29.29	4.83	14..15	34.13	26
68	16.87	37.12	32.15	4.97	15.28	32.53	35
LIMITE PLASTICO							
CAPSULA #	PESO CAPSULA (g)	CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	CAPSULA + SUELO SECO (g)	AGUA (g)	SUELO SECO (g)	CONTENIDO DE AGUA %	PROM.
17	15.17	19.29	18.48	0.81	3.31	24.47	24.72
24	16.58	22.10	21.0	1.1	4.42	24.89	
5	15.50	21.79	20.54	1.25	5.04	24.80	

4.3.1 Valores obtenidos

Los valores que se obtuvieron con los datos del ensayo de límites de consistencia utilizando suelo natural de la primera estación 2+660 fueron los siguientes:

Límite Líquido, (L.L.) = 34.0

Límite Plástico, (L.P.) = 25.0

Índice de Plasticidad (I.P.) = $(34.0 - 25.0) = 9$

Clasificación SUCS = ML = Arena Limosa con gravas

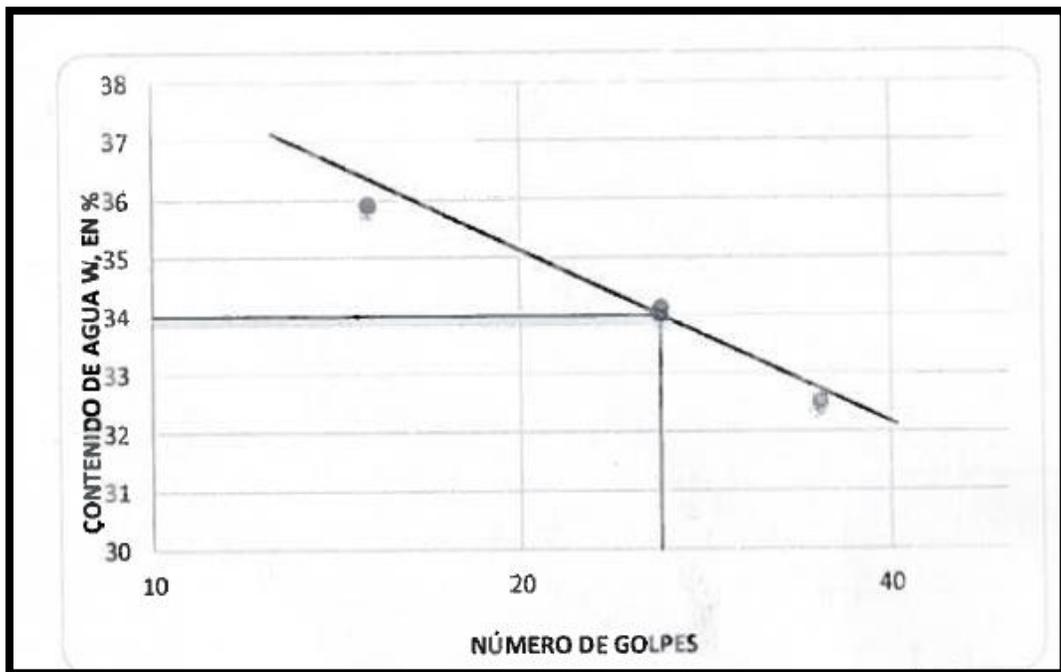


Figura 4.3 Grafica de límite líquido, muestra #1, suelo natural.

Resultados muestreo 2 PCA 2, EST. 3+450, suelo natural

Tabla 4.14

Tabulación de datos de ensayo de límites de consistencia, suelo sin cal.

LIMITE LIQUIDO							
CAPSULA #	PESO CAPSULA (g)	CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	CAPSULA + SUELO SECO (g)	AGUA (g)	SUELO SECO (g)	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES
68	15.42	32.64	27.55	5.09	12.13	41.96	16
4	15.13	34.14	28.73	5.41	13.6	39.78	26
44	16.69	37.02	31.45	5.57	14.76	37.74	33
LIMITE PLASTICO							
CAPSULA #	PESO CAPSULA (g)	CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	CAPSULA + SUELO SECO (g)	AGUA (g)	SUELO SECO (g)	CONTENIDO DE AGUA %	PROM.
58	15.16	19.27	18.42	0.85	3.26	26.07	26.37
3	16.57	22.08	20.93	1.15	4.36	26.38	
9	15.49	21.76	20.44	1.32	4.95	26.67	

4.3.2 Valores obtenidos

Los valores que se obtuvieron con los datos del ensayo Límites de Consistencia utilizando suelo natural de la segunda estación 3+450 fueron los siguientes:

Límite Líquido, (L.L.) = 39.6

Límite Plástico, (L.P.) = 26.0

Índice de Plasticidad (I.P.) = $(39.6 - 26.0) = 14$

Clasificación SUCS = CL = Arena limosa con gravas

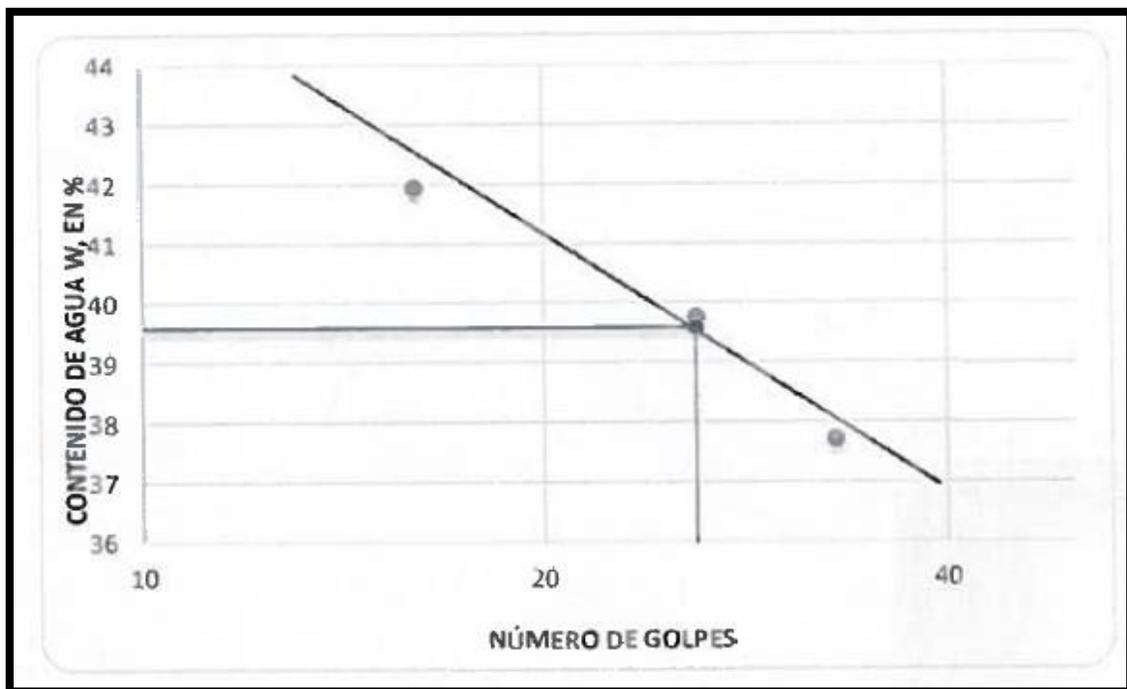


Figura 4.4 Grafica de límite líquido, suelo sin cal.

Dado que el índice de plasticidad para la segunda muestra es mayor que 10, para el caso 14, se procedió a agregar cal para la estabilización y bajar la plasticidad del suelo. Para este nuevo ensayo se obtuvieron los siguientes resultados.

Resultados muestreo 2 Límites de Consistencia, suelo + cemento + cal; PCA 2, EST. 3+450concal

Tabla 4.15

Tabulación de datos de ensayo de límites de consistencia, muestra # 2 con cemento y cal.

LIMITE LIQUIDO							
CAPSULA #	PESO CAPSULA (g)	CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	CAPSULA + SUELO SECO (g)	AGUA (g)	SUELO SECO (g)	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES
27	15.08	36.26	30.48	5.78	15.43	37.46	15
50	16.57	33.18	28.82	4.36	12.25	35.59	26
17	15.37	36.11	30.91	5.2	15.54	33.46	35
LIMITE PLASTICO							
CAPSULA #	PESO CAPSULA (g)	CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	CAPSULA + SUELO SECO (g)	AGUA (g)	SUELO SECO (g)	CONTENIDO DE AGUA %	PROM.
36	15.43	20.56	19.45	1.11	4.02	27.61	27.46
32	15.46	19.8	18.87	0.93	3.41	27.27	
51	15.28	20.66	19.5	1.16	4.22	27.49	

4.3.3 Valores obtenidos

Los valores que se obtuvieron con los datos del ensayo Límites de Consistencia utilizando suelo natural + cal + cemento de la segunda estación 3+450 fueron los siguientes:

Límite Líquido, (L.L.) = 35.3

Límite Plástico, (L.P.) = 27.0

Índice de Plasticidad (I.P.) = $(35.3 - 27.0) = 8$

Clasificación SUCS = ML = Arena limosa con gravas

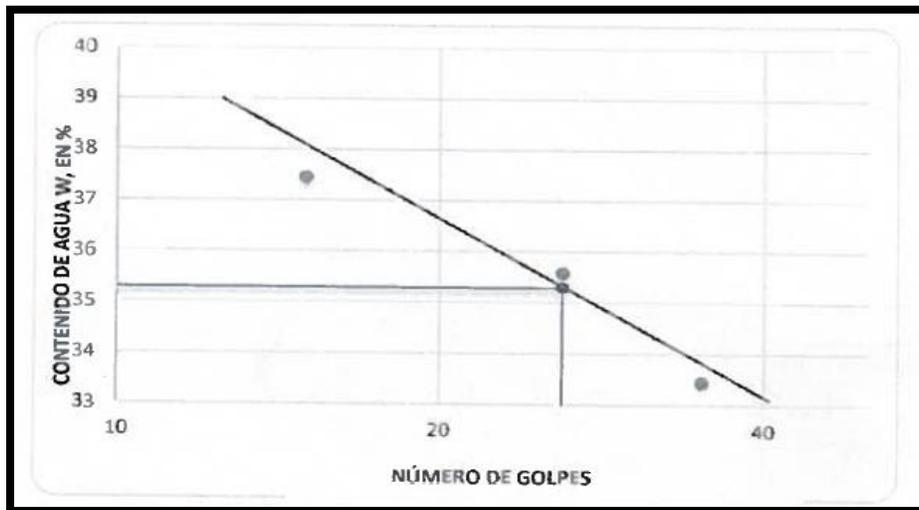


Figura 4.5 Grafica de límite líquido, muestra # 2 con cemento y cal

A continuación se muestran los resultados para el sondeo número uno que corresponde a la estación 2+660 y a la profundidad de 0.4m referente a los límites de consistencia bajo la norma AASHTO T 89 y AASHTO T 90, para la capa base de la muestra N° 1 se encontró un Límite Líquido de 34.00 % y un Límite plástico de 25.00%, por medio de una resta del límite líquido menos el límite plástico se obtuvo el Índice de Plasticidad que resultó ser de 9%. Este índice de plasticidad encontrado se mantiene en el rango establecido para usar cemento como agente estabilizante para una base en la rehabilitación de carreteras pavimentadas.

Para la muestra número dos ubicada a una profundidad de 0.40m en la estación 3+450 se obtuvo un límite líquido de 39.6% y un límite plástico de 26.0% de la diferencia de estos límites se tiene el índice de plasticidad que resulto ser de 13.6% pero se aproxima al entero más cercano 14%.

En la muestra numero dos se encontró un índice de plasticidad alto de 14%, por encima de lo que la norma establece que debe ser menor de 10% para poder trabajarlo con cemento. Con esta plasticidad el suelo no era trabajable ya que necesitaría una gran cantidad de cemento para estabilizarlo o restituir el suelo por uno que tuviese mejor trabajabilidad. Por tal razón fue necesario agregar un porcentaje de cal del 2% para bajar la plasticidad y obtener nuevamente los límites de consistencia, encontrándose ahora con los siguientes resultados: limite liquido 35.3%, límite de plasticidad 27.0% y un índice de plasticidad de 8.3% aproximado a 8%. Con este índice de plasticidad modificado el suelo se vuelve trabajable para usar cemento y darle resistencia a la base. Se puede apreciar que el suelo pierde su carácter pegajoso y toma un aspecto arenoso mejorando enormemente su trabajabilidad y compactibilidad, mejorando también su capacidad portante. La modificación actúa tan rápidamente como se hace la mezcla de cal con el suelo.

4.4 Relación densidad – humedad

A continuación se presentan los datos obtenidos en laboratorio para la prueba de compactación a una humedad óptima.

Próctor Muestra n° 1: PCA 1, EST. 2+660; suelo sin cemento

Tabla 4.16

Datos obtenidos relación densidad- humedad sin cemento.

DENSIDAD				
Ensayo N°	1	2	3	4
% Agua de proyecto	4	6	8	10
Agua de proyecto, cc	240	360	480	600
P. s. húmedo + molde (g)	9515	9760	9805	9750
Peso del molde (g)	5230	5230	5230	5230
Peso de suelo Húmedo, (g)	4285	4530	4575	4520
Volumen del molde, (cm)	2123	2123	2123	2123
P. Vol. Húmedo, (kg/m)	2018	2134	2155	2129
P. Vol. Seco, (kg/m)	1840	1905	1885	1831

Tabla 4.17

Datos obtenidos relación densidad- humedad sin cemento.

HUMEDAD				
	1	2	3	4
N° de Charola	K7	7	1000	K15
Peso T + peso suelo H., g	476.8	452	453	498.3
Peso T + peso suelo seco, g	443.5	411.9	406.2	442.6
Peso tara, g	100	78.2	78.8	100
Peso agua, g	33.3	40.1	46.8	50.1
Peso Suelo Seco, g	343.5	333.7	327.4	342.6
Contenido de agua, (%)	9.7	12	14.3	16.3

Con los datos encontrados se procede a dibujar la gráfica para encontrar la humedad óptima para compactar. Para la elaboración de estas briquetas no se utilizó cemento.

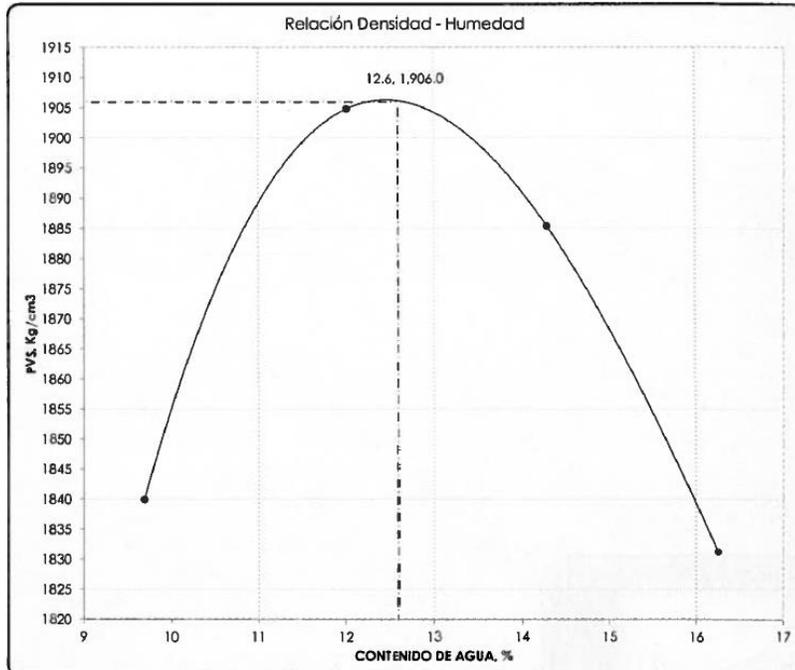


Figura 4.6 Grafica de relación densidad- humedad sin cemento.

De la gráfica anterior se encontró la humedad óptima de compactación. De lo anterior tenemos.

Tabla 4.18

Cuadro resumen de valores densidad humedad sin cemento.

PESO VOL. SECO MAX	1906 kg/cm3
HUMEDAD OPTIMA	12.6%
NORMA	T-180
METODO	D
N° DE CAPAS	5
N° DE GOLPES	56
MOLDE	6"
VOLUMEN DEL MOLDE	2123
PESO MARTILLO LBS	10
ALTURA DE CAIDA	18"
PESO DE LA MUESTRA gr	6000

Muestra 1 PCA 1, EST. 2+660; Próctor, suelo con cemento

Tabla 4.19

Datos obtenidos relación densidad- humedad con cemento.

DENSIDAD				
Ensayo N°	1	2	3	4
% Agua de proyecto	4	6	8	10
Agua de proyecto, cc	240	360	480	600
P. s. húmedo + molde (g)	9485	9730	9775	9720
Peso del molde (g)	5230	5230	5230	5230
Peso de suelo Húmedo, (g)	4255	4500	4545	4490
Volumen del molde, (cm)	2123	2123	2123	2123
P. Vol. Húmedo, (kg/m)	2004	2120	2141	2115
P. Vol. Seco, (kg/m)	1802	1873	1850	1789

Tabla 4.20

Datos obtenidos relación densidad- humedad con cemento.

HUMEDAD				
	1	2	3	4
N° de Charola	14	17	K5	K8
Peso T + peso suelo H., g	475.1	450.3	460.2	496
Peso T + peso suelo seco, g	437.2	409.6	408.4	433.1
Peso tara, g	99.6	100.6	78.8	88
Peso agua, g	37.9	40.7	51.8	50.1
Peso Suelo Seco, g	337.6	309	329.6	345.1
Contenido de agua, (%)	11.2	13.2	15.7	18.2

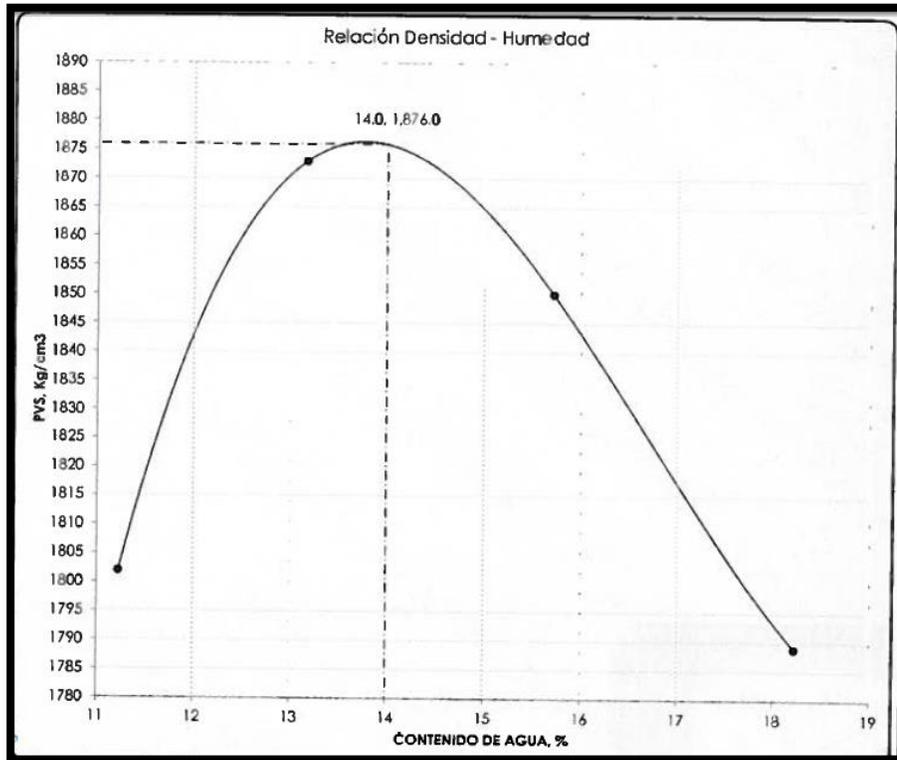


Figura 4.7 Gráfica de relación densidad- humedad con cemento.

Con la gráfica dibujada y de la interpolación de datos tenemos los siguientes resultados:

Tabla 4.21

Cuadro resumen de valores densidad-humedad con cemento.

PESO VOL. SECO MAX	1876 kg/cm ³
HUMEDAD OPTIMA	14%
NORMA	T-180
METODO	D
N° DE CAPAS	5
N° DE GOLPES	56
MOLDE	6"
VOLUMEN DEL MOLDE	2123
PESO MARTILLO LBS	10.0
ALTURA DE CAIDA	18"
PESO DE LA MUESTRA gr	6000

Muestra 2 PCA 2, EST. 3+450Próctor suelo natural

Tabla 4.22

Datos obtenidos relación densidad- humedad suelo natural.

DENSIDAD				
Ensayo N°	1	2	3	4
% Agua de proyecto	4	6	8	10
Agua de proyecto, cc	240	360	480	600
P. s. húmedo + molde (g)	9505	9750	9795	9740
Peso del molde (g)	5230	5230	5230	5230
Peso de suelo Húmedo, (g)	4275	4520	4565	4510
Volumen del molde, (cm)	2123	2123	2123	2123
P. Vol. Húmedo, (kg/m)	2014	2129	2150	2124
P. Vol. Seco, (kg/m)	1799	1864	1853	1788

Tabla 4.23

Datos obtenidos relación densidad- humedad suelo natural.

HUMEDAD				
	1	2	3	4
N° de Charola	15	18	12	105
Peso T + peso suelo H., g	314.4	367.5	335.3	333
Peso T + peso suelo seco, g	289.5	332.5	300.1	293.9
Peso tara, g	81.2	86.3	80.6	86.4
Peso agua, g	24.9	35	35.2	50.1
Peso Suelo Seco, g	208.3	246.2	219.5	207.5
Contenido de agua, (%)	12	14.2	16	18.8

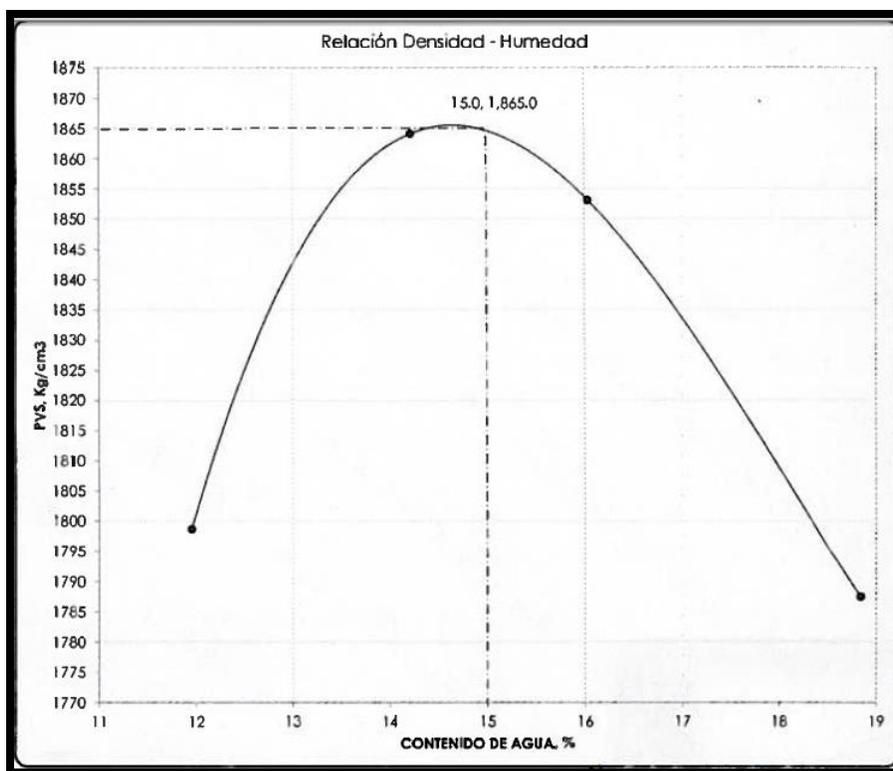


Figura 4.8 Grafica de relación densidad- humedad con cemento.

Tabla 4.24

Cuadro resumen de valores densidad-humedad suelo natural.

PESO VOL. SECO MAX	1865 kg/cm ³
HUMEDAD OPTIMA	15%
NORMA	T-180
METODO	D
Nº DE CAPAS	5
Nº DE GOLPES	56
MOLDE	6"
VOLUMEN DEL MOLDE	2123
PESO MARTILLO LBS	10.0
ALTURA DE CAIDA	18"
PESO DE LA MUESTRA gr	6000

Muestra 2 Próctor, PCA 2, EST. 3+450 suelo + cemento + cal

Tabla 4.25

Datos obtenidos relación densidad- humedad suelo + cemento + cal.

DENSIDAD				
Ensayo N°	1	2	3	4
% Agua de proyecto	6	8	10	12
Agua de proyecto, cc	360	480	600	720
P. s. húmedo + molde (g)	9485	9700	9745	9690
Peso del molde (g)	5230	5230	5230	5230
Peso de suelo Húmedo, (g)	4255	4470	4515	4460
Volumen del molde, (cm)	2123	2123	2123	2123
P. Vol. Húmedo, (kg/m)	2004	2106	2127	2101
P. Vol. Seco, (kg/m)	1759	1811	1800	1751

Tabla 4.26

Datos obtenidos relación densidad- humedad suelo + cemento + cal.

HUMEDAD				
	1	2	3	4
N° de Charola	190	11	97	23
Peso T + peso suelo H., g	314.1	368.1	336.9	336.9
Peso T + peso suelo seco, g	286.1	328.7	297.9	295.4
Peso tara, g	85.2	86.1	82.9	87.9
Peso agua, g	28	39.4	39	50.1
Peso Suelo Seco, g	200.9	242.6	215	207.5
Contenido de agua, (%)	13.9	16.2	18.1	20

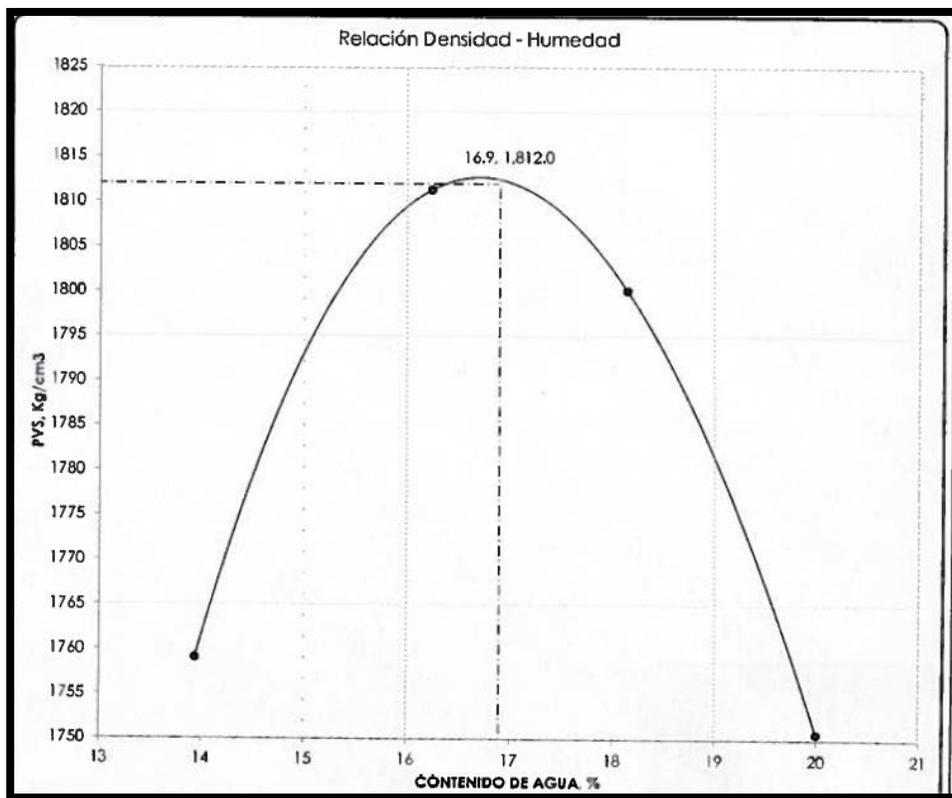


Figura 4.9 Grafica de relación densidad- humedad con suelo + cemento + cal.

Tabla 4.27

Cuadro resumen de valores densidad-humedad suelo + cemento + cal.

PESO VOL. SECO MAX	1812 kg/cm ³
HUMEDAD OPTIMA	16.9%
NORMA	T-180
METODO	D
N° DE CAPAS	5
N° DE GOLPES	56
MOLDE	6"
VOLUMEN DEL MOLDE	2123
PESO MARTILLO LBS	10.0
ALTURA DE CAIDA	18"
PESO DE LA MUESTRA gr	6000

En la determinación de la máxima compactación de un suelo existen varios factores influyentes, algunas variables que se puede mencionar son: tipo de suelo, contenido inicial de agua, energía específica de compactación y otros. Es por esto que para determinar la humedad óptima y peso volumétrico máximo se debe de poseer la información que

corresponde a las muestras de suelo. Las pruebas de densidad – humedad se realizaron bajo la norma **AASHTOT-180 y ASTM D 1557**.

Las muestras ensayadas fueron identificadas como muestra 1; y muestra 2, los resultados obtenidos para las muestras de suelo antes mencionadas son los siguientes:

Para la muestra 1 clasificada como A-2-4 (0). Para el suelo natural se obtuvo un peso volumétrico máximo de 1906 Kg/cm^3 con una humedad óptima de 12.6%. Y para el suelo modificado con un porcentaje del 3.5% de cemento se obtuvieron los siguientes resultados: peso volumétrico máximo de 1876 Kg/cm^3 con una humedad óptima de 14%.

Para la muestra 2 clasificada como A-2-6 (1) se obtuvo un peso volumétrico máximo de 1865 Kg/cm^3 con una humedad óptima de 15% y para el suelo modificado con el 2% de cemento más 2% de cal clasificado como A-2-4 (0), los resultados fueron: peso volumétrico máximo de 1812 Kg/cm^3 con una humedad óptima de 16.9%. Siendo esta última la que se usó en el proyecto

Estos resultados ponen en evidencia la relación que existe entre el peso volumétrico y el contenido de humedad de un suelo es decir: “a mayor peso volumétrico seco corresponde un contenido menor de humedad”.

De los resultados obtenidos, se puede observar que el tipo de suelo influye grandemente en estos parámetros, ya que la muestra 1 por poseer una curva granulométrica más tendida presenta una mayor variedad de tamaños: porcentajes de gravas 39.6%, de arenas 43.5% y un 16.9% de finos lo que contribuye grandemente a un buen acomodo de las partículas para ocupar el vacío al momento de compactación, contrario a la muestra 2 por poseer una curva granulométrica menos tendida y una mayor cantidad de finos (31.1%) presentó el menor valor de peso volumétrico seco máximo.

4.5 Resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión de los cilindros moldeados de suelo + cemento ASTM D – 1633

Resultados muestra 1

PCA # 1, EST. 2+660 Estructura: Material + 4% de cemento; F'_c de diseño: 27 kg/cm² a los 7 días.

Tabla 4.28

Resultados de material + 4% de cemento.

Espécimen N°	SC 1	SC 2	SC 3	
Fecha de elaboración	25/11/2015	25/11/2015	25/11/2015	
Fecha de ensayo	02/12/2015	02/12/2015	02/12/2015	
Edad de cilindro en días	7	7	7	
f'_c de diseño kg/cm ²	27	27	27	
Diámetro en (cm)	10.2	10.1	10.1	
Altura en (cm)	11.7	11.7	11.7	
Peso en (gr)	2110	2113	2141	
Lectura del anillo (x)	602	605	609.6	
Carga en (lb fuerza)	5601.2	5628.9	5671.4	
Carga en (kg fuerza)	2540.2	2552.8	2572.1	
Área en (cm ²)	81.7	80.1	80.1	
volumen (cm ³)	956	937.4	937.4	Promedio
Peso volumétrico en (kg/cm ³)	2.2	2.3	2.3	
Esfuerzo de ruptura en (kg/cm ²)	31.1	31.9	32.1	31.68
Esfuerzo de ruptura en (kPa)	0.3	0.31	0.31	0.31

Resultados muestra 1 Estructura: Material + 3% de cemento; F'_c de diseño: 27 kg/cm² a los 7 días

Tabla 4.29

Resultados de material + 3% de cemento.

Especimen N°	SC 1	SC 2	SC 3	
Fecha de elaboración	25/11/2015	25/11/2015	25/11/2015	
Fecha de ensayo	02/12/2015	02/12/2015	02/12/2015	
Edad de cilindro en días	7	7	7	
f'_c de diseño kg/cm ²	27	27	27	
Diámetro en (cm)	10.1	10.1	10.2	
Altura en (cm)	11.6	11.6	11.6	
Peso en (gr)	2113.5	2103.5	2113.5	
Lectura del anillo (x)	515	518	523	
Carga en (lb fuerza)	4797	4824.8	4871	
Carga en (kg fuerza)	2175.5	2188.1	2209.1	
Área en (cm ²)	80.1	80.1	81.7	
Volumen (cm ³)	929.4	929.4	947.9	Promedio
Peso Volumétrico en (kg/cm ³)	2.3	2.3	2.2	
Esfuerzo de ruptura en (kg/cm ²)	27.2	27.3	27.0	27.17
Esfuerzo de Ruptura en (kPa)	0.27	0.27	0.27	0.27

Resultados muestra 1 Estructura: Material + 2% de cemento; F'_c de diseño: 27 kg/cm² a los 7 días

Tabla 4.30

Resultados de material + 2% de cemento.

Espécimen N°	SC 1	SC 2	SC 3	
Fecha de elaboración	25/11/2015	25/11/2015	25/11/2015	
Fecha de ensayo	02/12/2015	02/12/2015	02/12/2015	
Edad de cilindro en días	7	7	7	
f'_c de diseño kg/cm ²	27	27	27	
Diámetro en (cm)	10.1	10.1	10.1	
Altura en (cm)	11.7	11.7	11.7	
Peso en (gr)	2115	2110	2150	
Lectura del anillo (x)	478	479	475	
Carga en (lb fuerza)	4455.1	4464.3	4427	
Carga en (kg fuerza)	2020.4	2024.6	2007.9	
Área en (cm ²)	80.1	80.1	80.1	
volumen (cm ³)	937.4	937.4	937.4	Promedio
Peso volumétrico en (kg/cm ³)	2.3	2.3	2.3	
Esfuerzo de ruptura en (kg/cm ²)	25.2	25.3	25.1	25.18
Esfuerzo de ruptura en (kPa)	0.25	0.25	0.25	0.25

Para los datos anteriores se graficó % de cemento contra esfuerzos de compresión en kg/cm² como sigue:

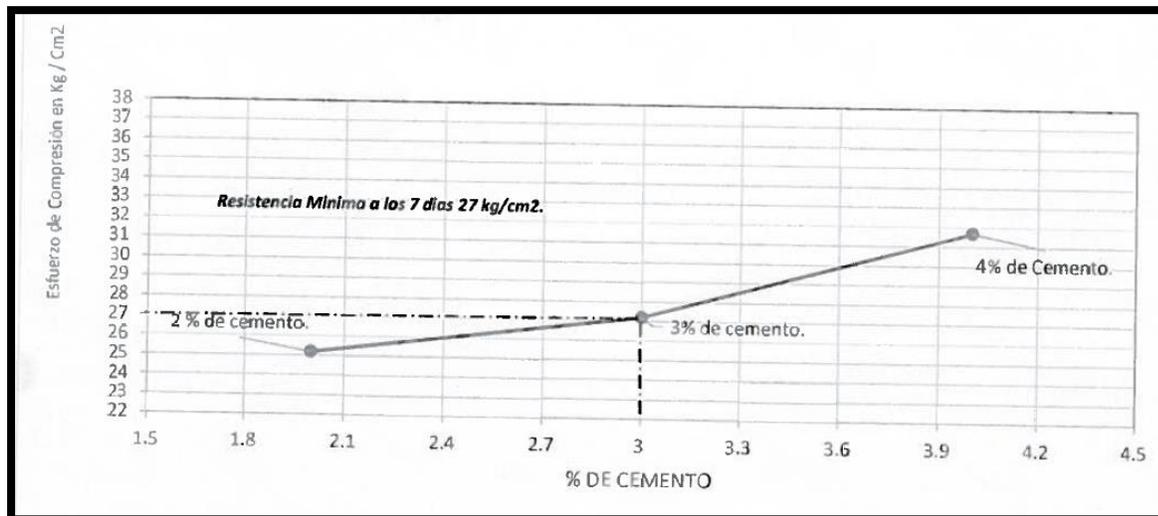


Figura 4.10 Línea de tendencia de % de cemento Vrs Resistencia.

Resultados muestra 2PCA # 2, EST. 3+450; Estructura: Material + 3% de cemento + 2% de cal, f'_c de diseño: 27 kg/cm² a 7 días

Tabla 4.31

Resultados de material + 3% de cemento + 2% de cal.

Espécimen N°	SC 1	SC 2	SC 3	
Fecha de elaboración	25/11/2015	25/11/2015	25/11/2015	
Fecha de ensayo	02/12/2015	02/12/2015	02/12/2015	
Edad de cilindro en días	7	7	7	
f'_c de diseño kg/cm ²	27	27	27	
Diámetro en (cm)	10.2	10.1	10.2	
Altura en (cm)	11.5	11.5	11.5	
Peso en (gr)	2010	2011.6	2025.5	
Lectura del anillo (x)	646	619	628	
Carga en (lb fuerza)	6007.9	5758.3	5841.5	
Carga en (kg fuerza)	2724.7	2611.5	2649.2	
Área en (cm ²)	81.7	80.1	81.7	
volumen (cm ³)	939.7	921.4	939.7	Promedio
Peso volumétrico en (kg/cm ³)	2.1	2.2	2.2	
Esfuerzo de ruptura en (kg/cm ²)	33.3	32.6	32.4	32.79
Esfuerzo de ruptura en (kPa)	0.33	0.32	0.32	0.32

Resultados muestra 2 Estructura: Material + 2% de cemento + 2% de cal; F'_c de diseño: 27 kg/cm² a los 7 días.

Tabla 4.32

Resultados de material + 2% de cemento + 2% de cal.

Espécimen N°	SC 1	SC 2	SC 3	
Fecha de elaboración	30/11/2015	30/11/2015	30/11/2015	
Fecha de ensayo	07/12/2015	07/12/2015	07/12/2015	
Edad de cilindro en días	7	7	7	
f'c de diseño kg/cm ²	27	27	27	
Diámetro en (cm)	10.1	10.2	10.1	
Altura en (cm)	11.6	11.4	11.6	
Peso en (gr)	2041.1	2023.6	2056.5	
Lectura del anillo (x)	586	589	590	
Carga en (lb fuerza)	5453.3	5481	5490.3	
Carga en (kg fuerza)	2473.2	2485.7	2489.9	
Área en (cm ²)	80.1	81.7	80.1	
volumen (cm ³)	929.4	931.5	929.4	Promedio
Peso volumétrico en (kg/cm ³)	2.2	2.2	2.2	
Esfuerzo de ruptura en (kg/cm ²)	30.9	30.4	31.1	30.79
Esfuerzo de ruptura en (kPa)	0.3	0.3	0.3	0.3

Para los datos anteriores se graficó % de cemento contra esfuerzos de compresión en kg/cm² como sigue:

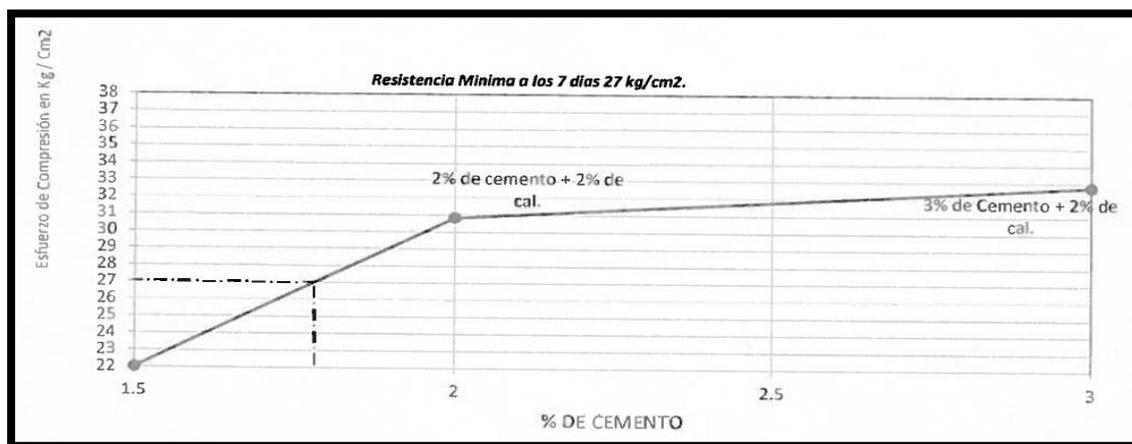


Figura 4.11 Línea de tendencia de % de cemento Vrs Resistencia.

El ensayo de resistencia a la compresión simple se realizó bajo las normas AASHTO T-180 (Moldeo para los especímenes), ASTM D 1633 (Ensayo Estándar de Compresión de Cilindros de Suelo - Cemento).

Los valores de resistencia en inmersión son los siguientes: Para la muestra 1 estación 2+660 con el 4% de cemento se obtuvo una resistencia en inmersión de 31.68 kg/cm^2 ; para el 3% de cemento se obtuvo una resistencia en inmersión de 27.17 kg/cm^2 y finalmente para un 2% de cemento 25.18 kg/cm^2 .

Para la muestra anterior se recomienda trabajar con el 3.5% de cemento ya que con el 3% se pudo obtener 27 kg/cm^2 y con el 3.5% se le estará dando un factor de seguridad al suelo cemento alcanzando una resistencia de 30 kg/cm^2 .

Para la muestra 2, estación 3+450 se obtuvieron los siguientes valores de resistencia en inmersión: para el 3% de cemento + 2% de cal la resistencia en inmersión fue de 32.79 kg/cm^2

Y para el 2% de cemento + 2% de cal la resistencia fue de 30.79 kg/cm^2 .

Para la muestra anterior se recomienda trabajar con el 2% de cemento + 2% de cal, ya que con estos porcentajes se obtuvo una resistencia mayor a la de diseño.

Se puede observar el efecto del cemento en las briquetas, ya que entre mayor es el porcentaje de cemento mayor es el porcentaje de resistencia retenida, y a la vez el efecto producido por la cal al bajar la plasticidad del suelo.

La siguiente tabla contiene un resumen de las condiciones originales del tramo y los resultados obtenidos al aplicar el método de estabilización con 2% de cal y 2% de cemento.

Tabla 4.33

Condiciones originales Vrs condiciones con base estabilizada

Condiciones originales	Condiciones con base estabilizada con cal + cemento
Características del suelo	Características del suelo
Clasificación: A-2-6 (1)	Clasificación: A-2-4 (0)
Índice de plasticidad - IP de 14	Índice de plasticidad - IP de 8
	Densidad máxima: 1812Kg/cm ³
	Humedad Optima:16.90
	Estructura utilizando base estabilizada
	Base estabilizada: 2% de cal + 2% de cemento
	Capa tratada: 30cm

4.6 Comparación de resultados obtenidos con normas usadas

A continuación se presenta una tabla comparativa de las resistencias obtenidas con lo requerido por la norma AASHTO T-180. Mencionados en los objetivos planteados en la investigación, como se puede observar la norma técnica AASHTO usada en nuestro país requiere un resistencia de 27 Kg/cm² a los 7 días. La tabla 4.45 muestra los diseños de mezcla de cemento y cal cemento que cumplen con dicha resistencia.

Tabla 4.34

Comparación de resistencia con norma AASHTO.

Comparación de Resistencia				
Ubicación	Diseño de mezcla	Resistencia obtenida en Kg/cm ²		AASHTO
Muestra 1; Est. 2+660	4% cemento	31.68	28.01	27 Kg/cm ²
	3% cemento	27.17		
	2% cemento	25.18		
Muestra 2; Est 3+450	2% cemento + 2% de cal	30.79	31.79	
	3% cemento + 2% de cal	32.79		

La tabla 4.48 muestra una comparación de la plasticidad obtenida para el tramo en estudio con las normas utilizadas en nuestro país a su vez muestra el tipo de estabilizante recomendado por dichas normas de acuerdo al índice plástico obtenido.

Tabla 4.35

Comparación de plasticidad con norma ASTM

Comparación de plasticidad				
Ubicación	Diseño de mezcla	IP		Estabilizador
Muestra 1; Est. 2+660	suelo natural	9	$\leq 10\%$	Cemento
Muestra 2; Est. 3+450	suelo natural	14	$10\% \leq IP \leq 25\%$	Cal-cemento
	suelo natural + 2% de cal	8		

El reciclado de pavimentos asfálticos supone en primer lugar un aprovechamiento de los recursos disponibles en la obra. Los materiales envejecidos pueden ser reutilizados mediante una técnica adecuada de forma que son nuevamente válidos para la construcción del pavimento. Con este tipo de técnicas, en las operaciones de conservación se puede disminuir mucho la demanda de agregados, se elimina la necesidad de encontrar canteras y sitios de acopio próximos a la obra, se mejoran los rendimientos de construcción, etc. Además, los métodos de reciclaje “in situ” permiten eliminar las operaciones de transporte de los materiales, tanto de los envejecidos hasta un vertedero como de los nuevos desde su punto de suministro hasta la obra. Todas estas mejoras repercuten en importantes ahorros y en un mayor respeto hacia el medio ambiente. En la tabla 4.49 se muestran una comparación de las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de reciclado de pavimento.

Tabla 4.36

Ventajas y desventajas del reciclado con cal-cemento.

Ventajas y desventajas de reciclado con cal-cemento Vrs otras alternativas		
Alternativa	Ventajas	Desventajas
Sobrecarpeta de espesor estructural	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Provee nueva rodadura. ✓ Rápida construcción ✓ Modera la interrupción del tráfico. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambios en elevación generan problemas en obras de drenaje, accesos, etc. ✓ Gran cantidad de material importado. ✓ La capa base y sub-rasante podrían necesitar mejora. ✓ Alternativa de alto costo.
Remover y colocar nueva estructura	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Provee nueva estructura de pavimento. ✓ Los problemas de sub-rasante y base son eliminados. ✓ La rasante existente puede ser conservada. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Construcción tardía e inconvenientes para el tráfico. ✓ La lluvia puede prolongar el periodo de construcción. ✓ Gran cantidad de material importado ✓ No aprovecha materiales existentes
Reciclado con Cal - Cemento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Provee una nueva estructura de pavimento ✓ Rápida construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Puede demandar trabajo adicional para corregir problemas de sub-rasante.

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No interrumpe el tráfico. ✓ Mínimo cambio de elevación de rasante final. ✓ Conserva los recursos, utiliza materiales existentes en la estructura del pavimento. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Podrían aparecer algunas grietas por contracción
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La lluvia no afecta de forma significativa el periodo de construcción. ✓ Disminuye los niveles de plasticidad del suelo ✓ Aporta impermeabilidad al suelo ✓ Alternativa de bajo costo. 	

4.7 Comparación económica

La tabla 4.37 muestra el costo por metro cuadrado para el reciclado de pavimentos con una base de 30 cm estabilizada con 2% de cal más 2% de cemento y carpeta asfáltica de 6 cm, este costo es el usado en el tramo de estudio. Y se tiene que usando el reciclado de pavimento estabilizado con cal y cemento da un costo total de \$32.74 por metro cuadrado. Además se obtuvo el precio por metro cuadrado para un tramo de carretera usando materiales nuevos, con una base granular de 25 cm y carpeta asfáltica de 6 cm, que se realiza en el proyecto “Construcción y equipamiento del Hospital Nacional de La Unión etapa II” la cual da un costo de \$35.88 por metro cuadrado. Dicho costo supera en más del 10% al costo resultante por el reciclaje de pavimentos lo que demuestra que el método es económicamente viable.

Tabla 4.37

Comparación de costos

Comparación Económica	
Reciclaje de pavimento por m ² (Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E- El Sauce)	Pavimento nuevo por m ² (Construcción y equipamiento de Hospital Nacional de La Unión etapa II)
\$32.74	\$ 35.88

En la tabla 4.38 se muestra en detalle los costos obtenidos para el cálculo de valor total para un metro cuadrado de reciclaje de pavimento.

Tabla 4.38

Calculo de costos para el reciclaje de pavimentos.

PROYECTO:	" Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E- El Sauce"			
CANTIDAD ANALIZADA:	1.00			
UNIDAD:	M2			
FECHA:	03/2016			
MATERIALES:				
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	SUBTOTAL
CEMENTO	0.26	BOLSA	\$8.50	\$2.21
CAL	0.45	BOLSA	\$4.75	\$2.14
PROCESO DE RECICLAJE (Incluye equipo, traslado de equipo acarreo de material, mano de obra, compra de material, agua, riego de imprimación, sello con arena para trabajos posteriores)	1.00	M2	\$5.41	\$5.41
CARPETA ASFALTICA DE 6 CM	1.00	M2	\$20	\$20
			SUB TOTAL	\$29.76
			P.U MATE	\$29.76
			GRAN TOTAL:	
			\$29.76	
			COSTO DIRECTO	P.U.\$29.76
			COSTO INDIRECTO 10% =	\$2.98
COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO= P.U. TOTAL:\$32.74				
PRECIO UNITARIO				\$ 32.74 M2

CAPITULO V. GUIA METODOLOGICA PARA EL RECICLAJE DE PAVIMENTOS

5.1 Requerimiento de construcción.

El supervisor debe autorizar, por escrito, el inicio de los trabajos de construcción de la base reciclada estabilizada con cal, luego de constatar que han sido satisfechos los requisitos previos establecidos en las especificaciones, y lo establecido en el contrato de la obra.

Cuando se vaya a construir la capa de base reciclada 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.

El tramo analizado para fines de esta investigación contaba con ciertas irregularidades en su superficie, por lo cual previo a su estabilización con cal, se realizó el acondicionamiento del lugar, a esto se le llama conformación preliminar.

5.2 Conformación preliminar

Muchas veces existen superficies que ya no están uniformes y es necesario corregirlas antes de reciclar, esto se hace para asegurar que la capa terminada sea uniforme (la transversal como longitudinal). Se trabaja con la motoniveladora para mejorar la superficie deteriorada.

La conformación preliminar es fácil de alcanzar por uno o por la combinación de los siguientes métodos:

- Importando y extendiendo material sobre la superficie existente para lograr la forma requerida.
- Removiendo material de la superficie de la vía, normalmente solo cuando hay profundidad suficiente de asfalto para permitir un fresado preliminar.
- Raspando el material de las capas superficiales del pavimento existente, con una motoniveladora.

5.2.1 Fresado preliminar.

El fresado y la remoción del material fresado resultante se ejecutan usualmente para permitir que se mantenga los niveles existentes de la superficie después del reciclaje,

eliminando así el costoso trabajo asociado con el ajuste de las elevaciones del drenaje y de la demás infraestructura existente. Por lo general, esto solo ocurre cuando se trabaja en zonas urbanas.

Normalmente, el fresado preliminar se restringe a pavimentos con múltiples capas de asfalto, colocadas a lo largo de los años.

5.2.3 Formula de trabajo

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.

La dosificación óptima de cal, en el caso de buscar la modificación inmediata, será aquella que logre reducir e incluso, anular, la plasticidad del suelo y el hinchamiento potencial, y aumentar hasta un valor aceptable la capacidad portante del suelo (CBR).

Para ello, la fórmula de trabajo se obtiene a partir del análisis de los parámetros y ensayos anteriores realizados con distintas muestras representativas del terreno mezcladas con distintos porcentajes de cal. De esta forma, se podrá comprobar el efecto de la cal y así determinar el porcentaje necesario para alcanzar los objetivos buscados.

5.3 Determinación de la cantidad de cal a utilizar

Para determinar el número de bolsas de cal con las que contaría el tramo a estabilizar se realizaron los siguientes pasos:

- a) Primero se determina el volumen del tramo a estabilizarse con cal. El tramo que se analizó para fines de esta investigación contaba con las siguientes características:

Ancho: 6.5 mts.

Largo: 250 mts. (De Est. 3+450 a 3+700)

Espesor: 0.30 mts.

Volumen total = $6.5 * 250 * 0.30 = 487.5 \text{ m}^3$

- b) Luego este volumen es multiplicado por el Peso Volumétrico Seco Máximo obtenido en el Próctor (AASHTO T 180) realizado al material (suelo natural), determinando así el peso del mismo.

Nota: el Próctor a utilizar dependerá de las especificaciones y exigencia del proyecto en particular donde se realice la estabilización.

Peso = Volumen * Peso Volumétrico Seco Máximo

Peso = $487.5 \text{ m}^3 * 1865 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 909,187.5 \text{ Kg}$.

- c) Luego se multiplica por el porcentaje de cal optimo, determinado previamente en este trabajo.

Porcentaje de cal optimo = 2%

Peso = $909,187.5 * 0.02 = 18,183.75 \text{ Kg}$.

- d) El número total de bolsas de cal que deberá contener el tramo, vendrá dado de dividir el peso determinado en el literal anterior y el peso por bolsa de cal.

Peso por bolsa de cal = 25Kg.

Numero de bolsas de cal = $18,183.75 \text{ Kg} / 25 \text{ Kg} \approx \mathbf{727.35 \text{ bolsas de cal}}$.

El número de bolsas de cal a utilizar en el tramo es de 728 bolsas, las cuales deberán ser distribuidas de la mejor manera posible por el ingeniero encargado de la estabilización, a fin de garantizar que la mezcla será homogénea a lo largo y ancho del tramo ejecutado.

5.4 Ejecución de la estabilización

La estabilización in situ se realiza siguiendo las siguientes fases:

Escarificación de la vía.

Antes de la colocación del agente estabilizador sobre la vía, se debe pasar la maquina recicladora para escarificar y mezclar la capa asfáltica junto con la base existente, esto con el objetivo de contar con una superficie uniforme mezclando la base con la capa de rodadura de la vía, lo que permitirá una homogeneidad de todos los agregados. Luego de hacer la escarificación del material será necesario pasar la motoniveladora para que

acomode todo el material que ha sido extraído con la recicladora. Después que la motoniveladora ha conformado y nivelado el ancho del carril se procede a colocar los sacos del estabilizante según sea el caso.



Figura 5.1 Escarificación del pavimento viejo y base

El suministro y almacenamiento de la cal debe hacerse teniendo en cuenta los criterios de accesibilidad, distancias, espacio necesario, seguridad e higiene, y ritmo de producción de la obra. El almacenamiento de la cal en obra debe hacerse en contenedores estancos y dotados de sistemas de filtros que eviten el contacto con la humedad y con el aire para garantizar su conservación.

Es muy importante también controlar y regular la Humedad natural del suelo, de tal forma que, si esta es superior a la Humedad óptima del Ensayo Próctor, convendrá aplicar cal viva para reducirla. Por el contrario, si esta fuese inferior a la óptima, habrá que regar las capas en cualquiera de las fases aquí descritas.



Figura 5.2 Escarificado de la vía

5.4.1 Extendido de la cal.

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

1a Etapa: Colocación de las bolsas de cal en el tramo según una distribución adecuada en filas y columnas de las bolsas efectuada con anterioridad con el objeto de cumplir la dosificación establecida.

Es de suma importancia tomar en cuenta en esta etapa del proceso, que la distribución de las bolsas de cal se realizara a criterio del ingeniero encargado del proceso constructivo de la capa reciclada y para lo cual deberá considerar parámetros importantes como: ancho y longitud del tramo de vía que será estabilizado.

2a Etapa: Apertura de las bolsas y extendido de la cal con palas o auxiliándose de equipo como motoniveladora.

Luego de la distribución más adecuada de las bolsas de cal sobre el suelo que será estabilizado, se procede al rompimiento de las mismas, tomado en cuenta las medidas de

seguridad respectiva para evitar la inhalación del producto por el personal ocupadas en esta parte del proceso.

Con la cal expuesta completamente sobre el suelo, se procede al extendido de esta, sobre la totalidad del tramo que será estabilizado. Este proceso se realizó ocupando como equipo una motoniveladora, la cual extendería la cal en un capa de espesor constante a lo largo y ancho del tramo a estabilizar, es importante siempre en esta etapa del proceso constructivo de la base reciclada estabilizada, verificar que el extendido de la cal cubra hasta los laterales de la vía, a fin de generar la mezcla lo más homogénea posible de la base reciclada en el tramo; tal como se muestra en las siguiente fotografía.



Figura 5.3 Extendido de la cal con motoniveladora.

Mezclado de la cal

Se debe mezclar la cal y la base reciclada en todo el espesor de la capa mediante las pasadas necesarias para lograr su homogeneidad. Para ello se pueden utilizar equipos recicladores/estabilizadores de suelos, pulvimezcladores, etc., que aseguren la eficacia necesaria.

Esta fase consiste en mezclar la cal con el material a estabilizar conforme a la finura y homogeneidad requeridas por las especificaciones.

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



Figura 5.4 Mezclado de la capa reciclada.

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

Compactación y terminación:

Compactación mecánica y humectación hasta conseguir las densidades necesarias, nivelación y curado de la capa mezclada mediante las técnicas convencionales de movimiento de tierras.

La compactación de las capas tratadas se realiza tras su nivelación con motoniveladora mediante las técnicas convencionales en el movimiento de tierras. Es importante que el espesor de las capas sea compatible con el rendimiento de los compactadores a utilizar: neumáticos, vibrantes o pata de cabra.



Figura 5.5 Compactación de la capa base.

Eficacia del tratamiento con cal previo al tratamiento con cemento

Este tratamiento está reservado a los materiales arcillosos con vista a su utilización en capas de carreteras ya que:

- La cal flocula las arcillas y seca los materiales húmedos
- El cemento aporta una rigidez rápida.

Un pretratamiento con cal hace ganar tiempo, producción, y rendimiento. Además este tratamiento facilita:

- El mantenimiento del suelo
- Las condiciones de circulación de maquinaria en obra (sobre todo a los extendedores del cemento)
- El mezclado con el cemento, permitiendo alcanzar la finura satisfactoria de los materiales y así, asegurar la homogeneidad del mezclado.
- La conservación de la eficacia del cemento.

De todo ello se deduce que el pretratamiento con cal tiene un efecto beneficioso sobre los resultados mecánicos del suelo tratado. En la práctica el tratamiento con cal se realiza en excavación y así con el material tratado pueden hacerse una de éstas dos cosas:

- Ser trasladado, tratado con cemento y utilizado en relleno o

- Ser dejado en stock, a la espera de un tratamiento posterior con cemento.

En ambos casos, basta una compactación y una nivelación simple a la cota definitiva más un ligero sobre espesor (10% del espesor de la capa como máximo) para conseguir la correcta uniformidad en la distribución del material.

El tratamiento con cemento se hace entonces de manera tradicional teniendo la precaución de verificar previamente que los contenidos de agua sean los correctos.

El margen de tiempo entre el tratamiento con cal y el tratamiento con cemento depende de la organización de la obra y la naturaleza del suelo, (arcillas duras o blandas, tamaño máximo de la granulometría del suelo).

En todo caso, la reactividad y la finura de la cal viva normalizada para carreteras son tales, que pueden encadenarse ambos tratamientos en el mismo día, recomendándose un margen entre dos y cuatro horas entre ambos tratamientos. Para este estudio se le dio un día de maduración antes de aplicar el cemento y seguir un proceso normal a este.

5.5 Extensión del agente estabilizador cemento

Cuando la cal ha realizado su función de flocular los finos de la arcilla se procede a extender el cemento sobre la superficie para dar la resistencia requerida por las especificaciones de la obra.

La dosificación prevista de cemento debe extenderse lo más uniformemente posible sobre la superficie a reciclar, esto con la ayuda de una motoniveladora. Para reducir al mínimo las pérdidas de cemento provocadas por el viento, y sobre todo evitar las molestias que ello origina en la puesta en obra, es conveniente que haya una buena sincronización entre los equipos de extensión del conglomerante y de fresado del firme, de forma que la longitud de cemento por delante de este último sea lo más reducida posible. Dependiendo del sistema de ejecución, el cemento se extenderá antes o después de escarificar y disgregar el firme. Si, como es habitual, la recicladora realiza conjuntamente las operaciones de escarificado y mezclado, el cemento deberá extenderse previamente o incorporarse como lechada en el mismo proceso en la proporción correspondiente.

Una vez realizada la disgregación o escarificación del firme se procede a la colocación de los sacos de cemento sobre la superficie a reciclar a una distancia encontrada

previamente; este proceso se realiza manualmente teniendo cuidado de no dejar residuos de papel sobre la vía.

El proceso para encontrar la cantidad de cemento se efectúa de la misma manera que la cal con el peso volumétrico seco de la mezcla reciclada.



Figura 5.6 Distribución del agente estabilizante cemento.

Distancia de separación entre los sacos de cemento.

No se podrá colocar las bolsas de cemento sino se tiene la distancia de separación entre estas, por eso es importante haber determinado antes de la colocación del cemento la distancia o tramo que será trabajado, tomando en cuenta que para todo el proceso de reciclaje se tienen dos horas una vez se abra la primera bolsa de cemento para escarificar el pavimento, nivelar y compactar.

La forma para determinar la separación de los sacos de cemento y lograr el porcentaje establecido dentro de la mezcla reciclada; es a través del peso volumétrico de la mezcla reciclada obtenido mediante los ensayos de laboratorio y el peso del cemento como se muestra a continuación:

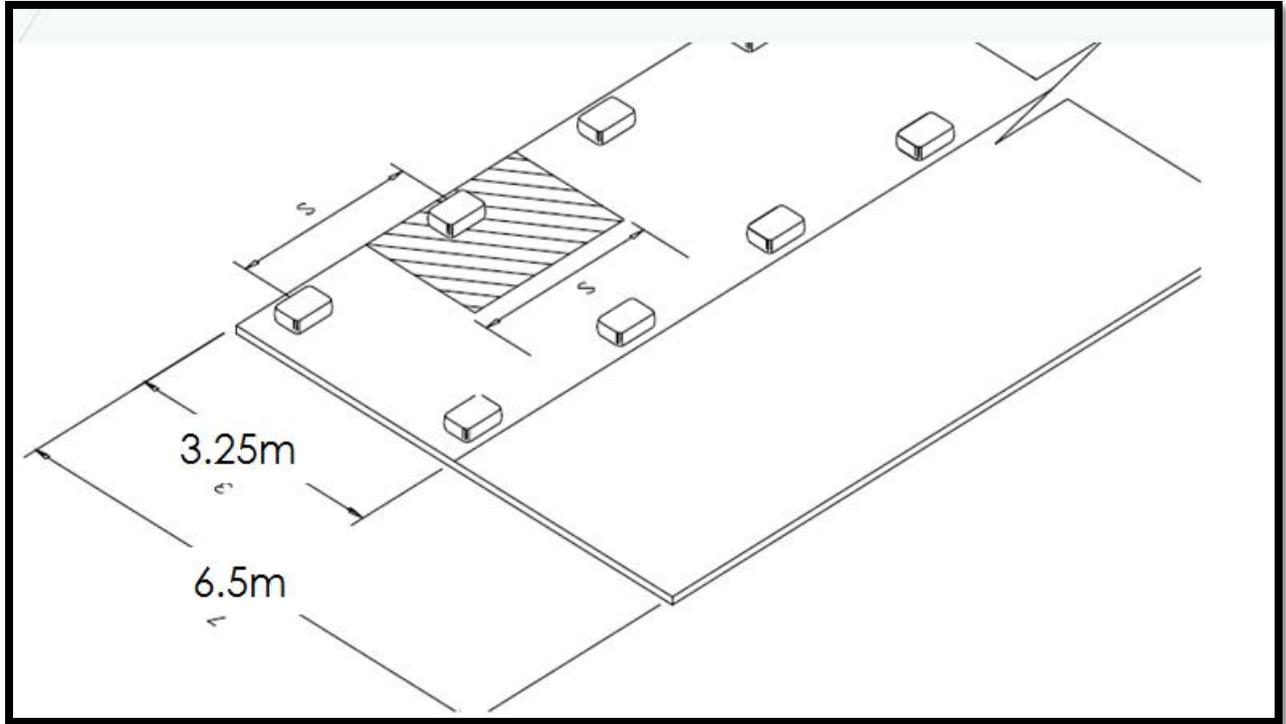


Figura 5.7 Esquema de separación de bolsas de cemento.

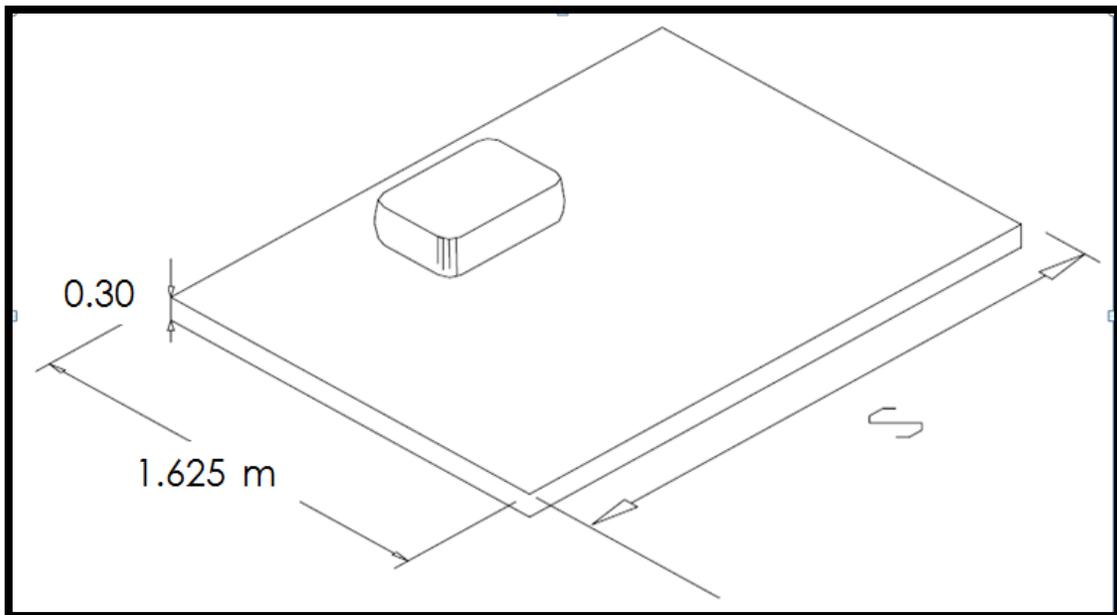


Figura 5.8 Tramo que cubre una bolsa de cemento.

Partiendo de las siguientes condiciones para el tramo en estudio se tiene:

Primer paso: Calcular el volumen del mini tramo

Ancho: 1.625 mts; Longitud: **S**; Espesor: 0.30 mts

$$\text{Volumen total} = 1.625 * \mathbf{S} * 0.30 = \mathbf{0.4875(S) m^3}$$

Segundo paso: Multiplicar el volumen por el peso volumétrico seco máximo (Próctor AASHTO T 180).

Peso = volumen * peso volumétrico seco máximo

$$\text{Peso} = (0.4875(\mathbf{S}) m^3)(1906 \text{ kg/m}^3) = \mathbf{929.175(S) Kg}$$

Tercer paso: se multiplica por el porcentaje de cemento y se iguala al peso de la bolsa de cemento.

$$42.5\text{kg} = 929.175(0.02)(\mathbf{S}) \text{ kg}$$

$$42.5\text{kg} = 18.5835 (\mathbf{S}) \text{ kg}$$

$$\mathbf{S} = 42.5/18.5835$$

$$\mathbf{S} = 2.28 \text{ m}$$

Donde “S” es la distancia entre centro y centro de los sacos de cemento.



Figura 5.9 Distancia entre sacos de cemento.



Figura 5.10 Colocación del cemento para un 3.5%.

Una vez se rompen las bolsas de cemento la dosificación prevista de cemento debe extenderse lo más uniformemente posible sobre la superficie a reciclar, esto se hace con la ayuda de una motoniveladora que pueda esparcir el cemento por toda la superficie. Dependiendo del sistema de ejecución, el cemento se extenderá antes o después de escarificar y disgregar el firme. Si, como es habitual, la recicladora realiza conjuntamente las operaciones de escarificado y mezclado, el cemento deberá extenderse previamente o incorporarse como lechada en el mismo proceso en la proporción correspondiente.

Avance del equipo de reciclaje

Una vez que el equipo de reciclaje esté avanzando, deben hacerse una serie de revisiones continuas por parte de un supervisor experimentado para asegurar que el trabajo está dando los resultados requeridos. Es importante prestar atención a ciertos detalles, especialmente:

- A la profundidad de corte a ambos lados de la recicladora.
- A que la recicladora siga la línea de corte establecida con el ancho de traslapo especificado (20 cm).
- A que el contenido de humedad del material tratado sea suficiente para garantizar una apropiada compactación. Un supervisor experimentado puede determinar esto a simple vista.



Figura 5.11 Determinación de humedad en campo.

Cuando se trabaja con cemento, se deben trabajar secciones más cortas, permitiendo así que se pueda reciclar media calzada, nivelar, compactar y terminar la superficie antes de que el cemento haya tenido tiempo para hidratarse.

Hay que tener en cuenta dos puntos más en cuanto a la adición de agentes estabilizadores:

- ✓ El material fresado tiende a deslizarse por la pendiente cuando la recicladora está trabajando en una sección transversal a desnivel. Esta tendencia empieza a ser apreciable cuando la pendiente es de más del 2% y es más pronunciada cuando se reciclan capas con espesores pequeños (< 150 mm). Es aconsejable utilizar una motoniveladora para regresar el material a su lugar antes de ejecutar el corte adyacente, manteniendo así la forma de la vía y asegurando una junta adecuada. En todo caso, cuando la pendiente transversal excede el 6% la migración se vuelve excesiva.
- ✓ El consumo real del agente estabilizante siempre debe revisarse físicamente, haciendo un reconocimiento de la cantidad de agente estabilizador colocado en el área tratada.

A fin de asegurar una buena homogeneidad del material reciclado y una profundidad uniforme de mezclado, debe utilizarse una recicladora con la potencia adecuada. Por otra parte, cuando el reciclado se realiza por bandas, éstas deben solaparse suficientemente (del orden de unos 20 cm), para no dejar materiales sin mezclar en los bordes de las mismas.

El ritmo de avance de la recicladora está muy condicionado, como es lógico, por la profundidad del tratamiento y la dureza de los materiales existentes.

Se hace énfasis en que al referirse a que el ritmo de la recicladora está condicionado, esto también implica que todo el equipo de reciclaje lo está, principalmente el camión cisterna y la recicladora que deben de ir a una misma velocidad, para el caso la velocidad de avance fue de 5.0 m/min. Considerando así los dos aspectos siguientes:

1. El camión cisterna debe descargar la cantidad de agua necesaria para producir en la mezcla el porcentaje óptimo de humedad.
2. Se reciclaron anchos de carriles de 3.25 m haciendo traslapes de 20 cm para reciclar el ancho de la vía.

Una vez inicia el avance del equipo de reciclaje, se va realizando el proceso de escarificado y mezclado del firme existente con el cemento.

La primera sección reciclada de cada sitio debe asumirse como una práctica para determinar cómo se comportará el material del pavimento existente. Por lo general una sección inicial debe ser de aproximadamente 100 m y cubrir el ancho completo de carril o media calzada de la vía. Este trabajo les dará una idea a los operadores y a los supervisores de los tres aspectos más importantes en la operación de reciclado, a saber:

La gradación del material reciclado. Debe revisarse el material producido por la recicladora para determinar si es similar al de las muestras que se utilizaron para el diseño de la mezcla en el laboratorio. Con un tamizado rápido puede determinarse si el diseño de mezcla es aplicable o no para la sección.

La velocidad de rotación del tambor reciclador y la velocidad de avance de la máquina influirán sobre la gradación del material reciclado. Además, las recicladoras deben ajustarse para lograr el tamaño máximo de las partículas.



Figura 5.12 Verificado de espesor de las partículas.

En muchos casos las capas asfálticas en pavimentos viejos ya fallados tienden a tener bajos contenidos de vacíos, y los materiales naturales (granulares) están, por lo regular, bastante densificados. El reciclaje de estos materiales produce normalmente un aumento en el volumen, que afecta los niveles finales de la capa terminada. Por lo dicho anteriormente se procede a la nivelación de la superficie.

Nivelación de la superficie

Cuando la recicladora ha hecho su proceso de escarificar y mezclar la capa a reciclar entonces se es necesario conformar de nuevo la superficie. El trabajo requerido por la motoniveladora después del extendido del material está determinado por el tipo de cubrimiento que se pondrá sobre la capa terminada. Si es una capa asfáltica de espesor significativo, entonces las tolerancias serán invariablemente más generosas que en el caso de que sólo se aplique un sello. Donde las tolerancias son relativamente bajas, el ancho completo tratado debe enrasarse con una motoniveladora para remover las inconsistencias, que normalmente se forman a lo largo de las Juntas longitudinales. Además, una motoniveladora es útil para corregir el intercambio de material que algunas veces ocurre en las juntas transversales.



Figura 5.13 Uso de una motoniveladora para conformar la superficie.

5.6 Compactación de base.

Compactar el material reciclado para obtener la densidad especificada es uno de los factores más importantes en el desempeño futuro del pavimento rehabilitado. Un material mal compactado se densificará bajo la acción del tráfico, causando Ahuellamiento prematuro. De cualquier manera, cuando el material estabilizado no se compacta apropiadamente, el problema se intensifica, pues además del ahuellamiento temprano, no se alcanzará la resistencia requerida de la capa y el pavimento presentará fallas prematuras.

Debido a que el espesor de la base es de 30 cm se optó por hacerlo en dos etapas por medio de un rodo patas de cabra y un rodo liso, en capas de 15 cm cada una. Se realizó un tramo de prueba para establecer el número de pasadas de los rodos a fin de obtener el grado de compactación deseado.

Conformada la base se realizaron muestreos de densidad de campo según la norma AASHTO.

Se compacto la base hasta alcanzar una densidad de compactación del 95% de la densidad máxima el cual se obtuvo en el ensayo Próctor.



Figura 5.14 Utilización de compactadores vibratorios.(Fuente Manual WIRTGEN)

5.7 Protección de la base

Inmediatamente después de finalizar la construcción de dicha capa, y antes de dar apertura al tráfico, deberá aplicarse un riego asfáltico a la superficie, para curado y protección de la capa. El riego asfáltico deberá cumplir con MR0307 riego de imprimación asfáltica.

Mientras el riego asfáltico no sea aplicado, el Contratista deberá aplicar riegos de agua continuos, las veces que sea necesario, para lograr mantener la superficie compactada con la humedad adecuada para su curado. La aplicación del riego asfáltico no deberá ser retrasada por más de 48 horas después de finalizada la compactación.

5.8 Colocación de la mezcla en campo

1. Preparación de la superficie

Toda el área de superficie prevista para cubrir deberá ser limpiada de toda la vegetación, material suelto, manchas de fango o barro y cualquier otra materia indeseable. Este procedimiento se realiza por medio de sopletes manuales. El uso de camiones barredoras puede ser una buena opción, pero se puede encarecer el proyecto.

2. Pautas de la temperatura

Se debe controlar la temperatura para la aplicación de la emulsión asfáltica, se recomienda que no se aplique cuando las temperaturas descienden a 10 °C, pero es de mencionar que estas condiciones resultan muy difíciles en climas tropicales como en El Salvador, pero se debe procurar aplicarlo en periodos de humedad secos ya que el curado de este tipo es por medio de la evaporación. Ningún Microsurfacing debe colocarse si el tiempo está nublado o lluvioso dentro de 24 horas en el tiempo de colocación de la mezcla.

3. Colocación de la mezcla en el sitio

Tanto la fabricación como la colocación se hacen por medio de un equipo autopropulsado, que trabaja en continuo, con una autonomía dependiente del volumen de agregados que pueda almacenarse en su tolva o tolvas de almacenamiento (5 a 15 m³). La máquina es cargada con todos los materiales en el sitio de acopio, para luego conducirse a la zona de colocación y realiza el mezclado y coloca el producto en la calle designada; después vuelve al sitio de reserva y recarga todos los materiales, entonces vuelve a la calle y comienza el nuevo ciclo. La carga de todos sus componentes se efectúa de manera discontinua. El tipo de emulsión usada para el proyecto fue “emulsión asfáltica de rompimiento lento conocida como CSS-1h”.



Figura 5.15 Colocación de la mezcla en el sitio.

Terminado de la carpeta

El terminado de una capa reciclada requiere dejar una textura superficial cerrada que evacue el agua. Esto se logra normalmente humectando y utilizando un compactador de ruedas neumáticas, para darle suficientes finos a la superficie y llenar así los vacíos entre las partículas más gruesas. Estos procedimientos se incluyen al final del proceso de compactación.

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- 1- De acuerdo a los resultados obtenidos con el cálculo del PCI, el cual fue de 24.86 que corresponde a un pavimento en estado “muy malo”, según la clasificación ASTM D6433, se concluye que la vía requiere ser reconstruida completamente considerando que es el punto de acceso para dos municipios de la zona norte de La Unión.
- 2- Para que la estabilización con cal sea eficaz, los suelos deben ser plásticos, y en este sentido se considera que a partir de un índice de plasticidad (IP) igual o mayor a 10, el suelo es adecuado para reaccionar satisfactoriamente con este agente estabilizante.
- 3- La técnica del reciclado de pavimento para la conformación de bases es amigable con el medio ambiente, debido a que no genera un mayor impacto ambiental, pues no es necesaria la explotación de canteras ni el acarreo de materiales ya que se utilizan los elementos existentes en la estructura del pavimento envejecido.
- 4- El reciclado de pavimento es una técnica más económica que la construcción de una estructura de pavimento con material virgen. Los costos obtenidos por metro cuadrado para esta comparación fueron los siguientes: para reciclado el costo es \$32.74 y para pavimento nuevo se obtuvo un costo de \$35.88, esto equivale a más del 10% en costo.
- 5- En el estudio realizado se pudo comprobar que el cemento no se puede mezclar exitosamente con finos muy plásticos. Al realizar un tratamiento mixto de cal, entre 1% y 3% que se agrega primero, floculan los finos con una reacción rápida de intercambio iónico, disminuyendo la plasticidad del suelo y mejorando la trabajabilidad y el mezclado. Así mismo, reduce la humedad y luego la cantidad

requerida de cemento que produce un rápido incremento de resistencia mecánica en el suelo.

- 6- Los suelos arcillosos suelen tener una capacidad de soporte baja. Por el contrario una vez estabilizados con cal y en función del porcentaje de esta última, los valores obtenidos pueden llegar a ser con frecuencia superiores a muchos suelos naturales (mayores a 27 kg/cm²). Los suelos tratados con cal disminuyen su susceptibilidad al agua gracias tanto a los efectos de acción inmediata como a los de estabilización a largo plazo.
- 7- Los diseños de mezcla suelo-cal, dependerán de los resultados de la campaña geotécnica realizada y de la identificación de los tramos homogéneos a lo largo de toda una ruta del proyecto.

6.2 Recomendaciones

1. Hacer un estudio comparativo de desempeño estructural y funcional post construcción de pavimentos flexibles reciclados con cal-cemento en El Salvador.
2. Crear más estudios de la técnica de estabilización en nuestro país, donde se involucren distintos suelos con diferentes propiedades plásticas y un índice plástico mayor de 25.
3. Realizar un estudio de impacto ambiental de esta técnica de rehabilitación de carreteras cuando se esté ejecutando este tipo de proyectos para verificar que el impacto ambiental será mínimo comparado con otra técnica.
4. Investigar más acerca de los agentes de estabilización y comparar con la técnica presentada en este estudio o con pavimentos nuevos.
5. Complementar a este estudio con temas relacionados a procesos constructivos de la capa de rodadura del pavimento.

BILIOGRAFIA

LIBROS

- ✓ Carlos Crespo Villalaz. (2007) Mecánica de suelos y cimentaciones, sexta edición, Editorial LIMUSA, México.

TESIS

- ✓ Bonilla Rosa, L.E y otros (2011), “Estudio comparativo del desempeño estructural y funcional post-construcción de pavimentos flexibles reciclados con cemento en El Salvador”. Trabajo de graduación para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Politécnica de El Salvador (UES) El Salvador.
- ✓ González Escobar, W. y otros (2007). “Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en El Salvador”. Trabajo de graduación para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador (UES), El Salvador.

- ✓ Huevo Maldonado, H.M. y otro (2009), “Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador”. Trabajo de graduación para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador (UES) El Salvador.

- ✓ Mata Montenegro, M.T. (2010), “Guía Básica para la conformación de bases y sub-bases para carreteras en El Salvador”. Trabajo de graduación para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador (UES) El Salvador.

- ✓ Rodríguez Mineros, C.E. y otro (2004), “Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje”. Trabajo de graduación para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador (UES) El Salvador.

- ✓ Rodríguez Velásquez E. D. (2009) Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla. Trabajo de graduación para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad de Piura.

- ✓ Rosales Castañeda V.A.(2011) Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado reciclando el pavimento asfáltico existente. Trabajo de graduación para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos Guatemala.

MANUALES

- ✓ Condiciones técnicas de contratistas y supervisor de mantenimientos rutinarios de vías pavimentadas y no pavimentadas. Tomado de Fondo de conservación Vial (FOVIAL), 2014.

- ✓ Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos, tomado de la Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA) año 2002.

- ✓ Manual Centroamericano para Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales, tomado de la Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA) año 2004.

- ✓ Manual de estabilización del suelo tratado con cal, tomado de la Publicación Nacional Lime Association. (LIME) año 2004.

- ✓ Manual Pavement Condition Index PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, 2002.

- ✓ Manuel de estabilización de suelos con cemento o cal Tomado de la Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España. (ANCADE) año desconocido.

- ✓ Reciclado con cemento de pavimentos flexibles en El Salvador tomado de Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), El Salvador.

- ✓ Reciclado de firmes In Situ con cemento tomado de Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA)

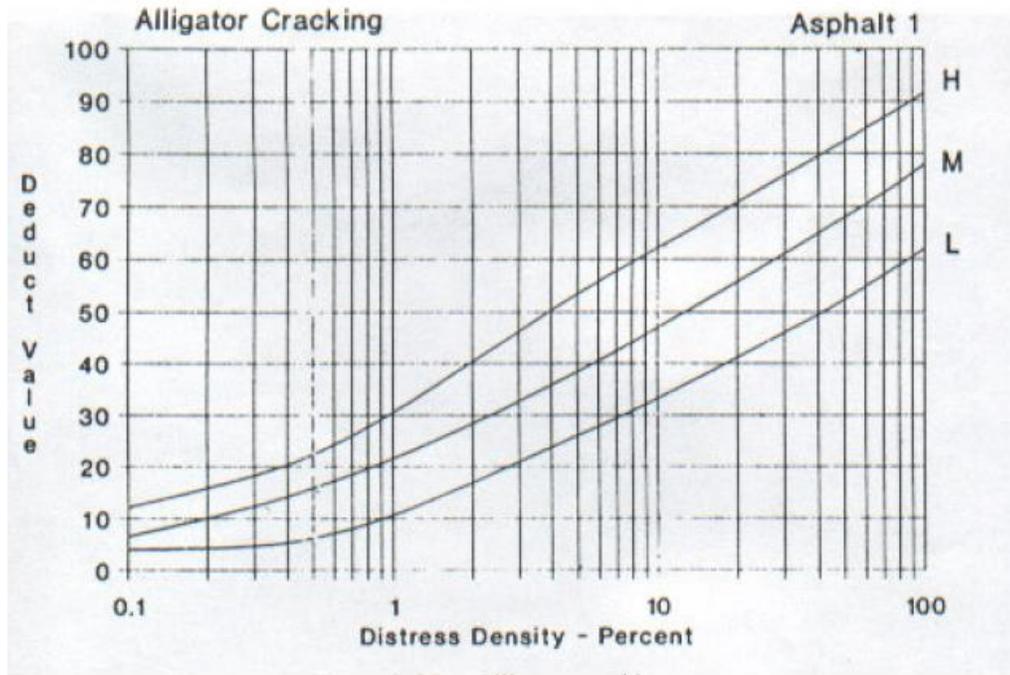
- ✓ Reciclado de pavimentos asfálticos en frío. Una forma de utilizar totalmente el RAP para el mantenimiento y rehabilitación de la red caminera. Tomado de Centro de investigaciones viales LEMaC,

- ✓ Tratamiento de suelos con Cal, Tomado de la Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España. (ANCADE) año 2005.

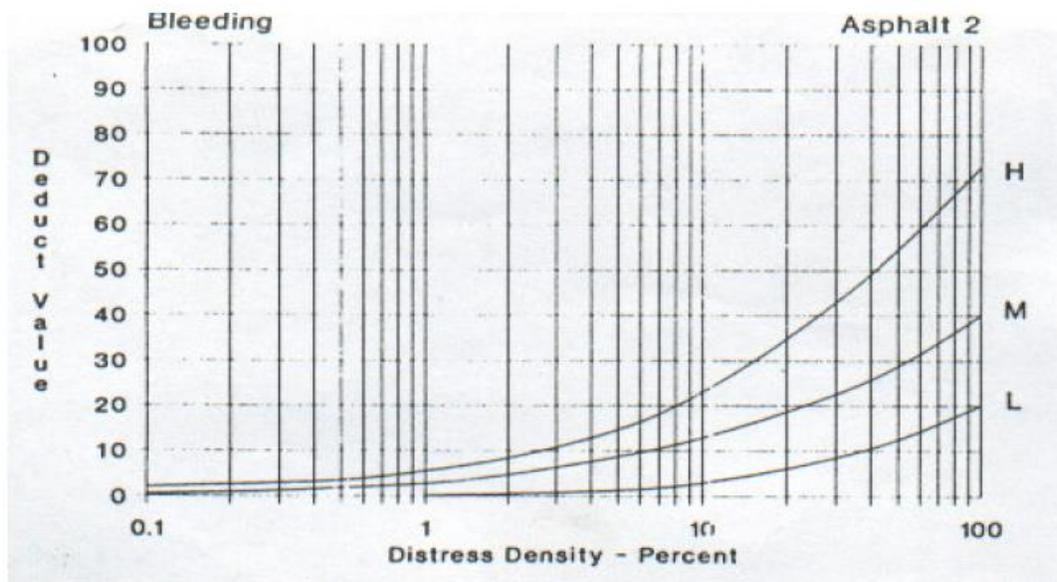
ANEXOS

Curvas para determinar el “Valor Deducido del Daño” en carreteras de asfalto.

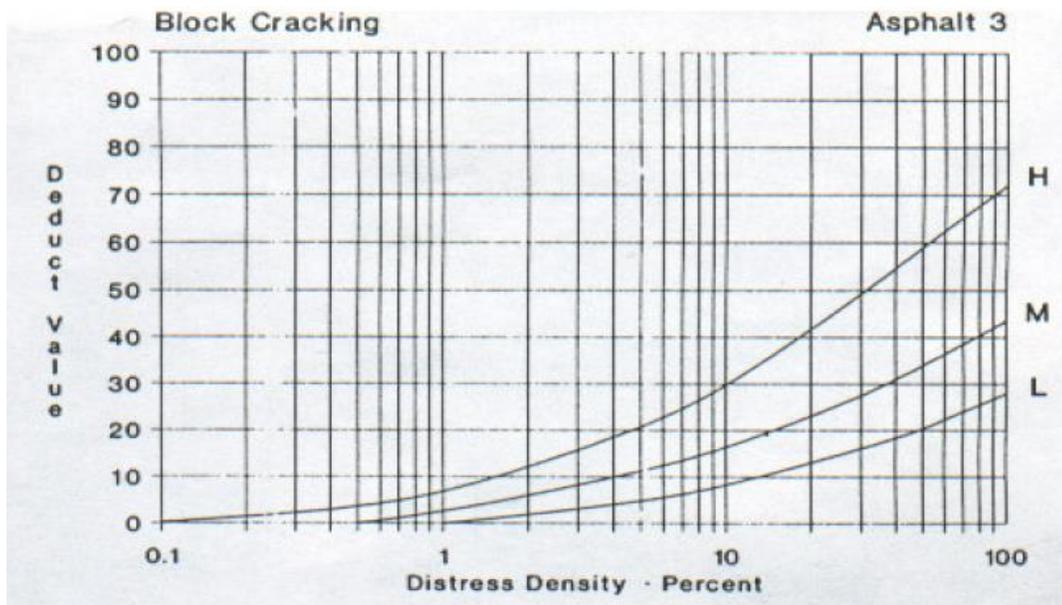
Anexo 1 curvas para determinar el valor deducido para el daño Piel de cocodrilo.



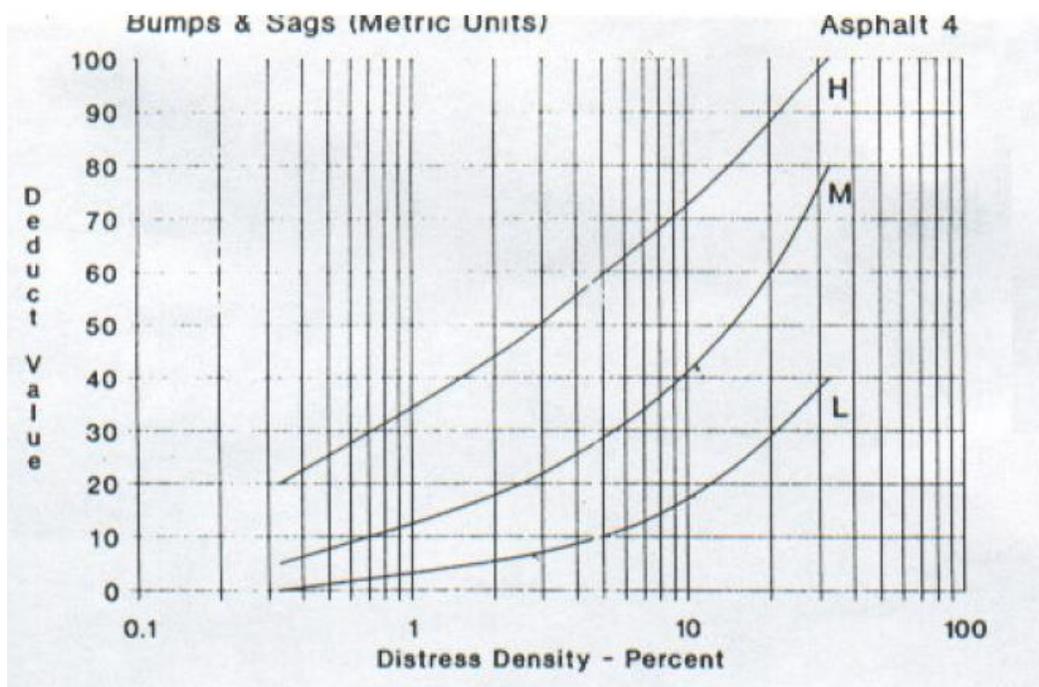
Anexo 2 curvas para determinar el valor deducido para el daño Exudación.



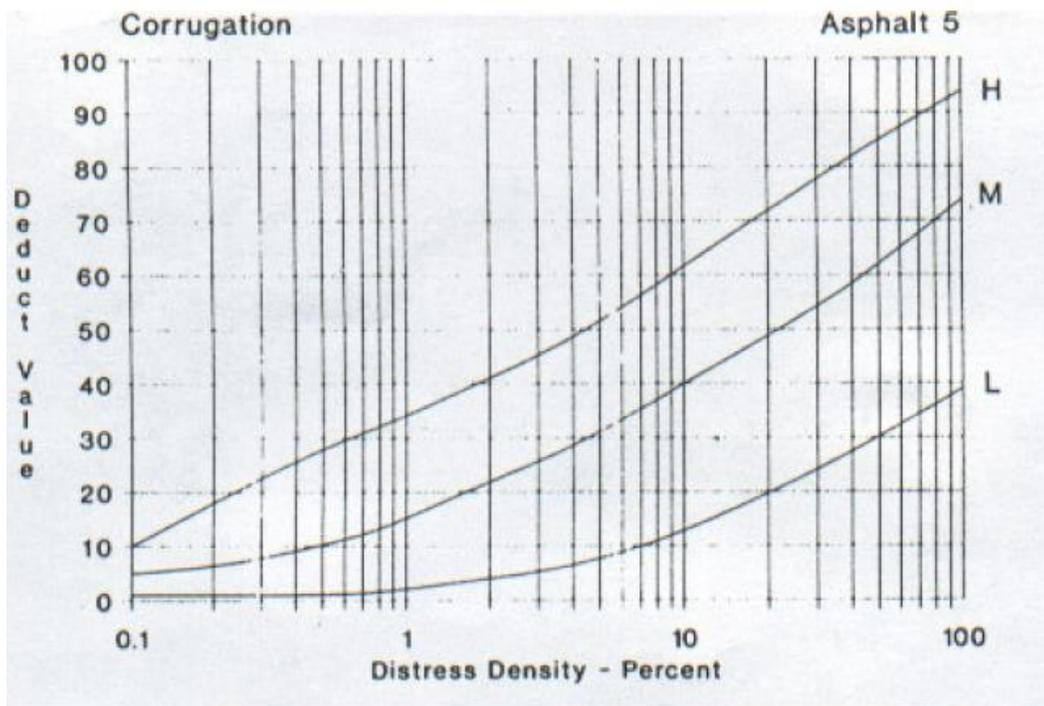
Anexo 3 curvas para determinar el valor deducido para el daño Agrietamiento en bloque



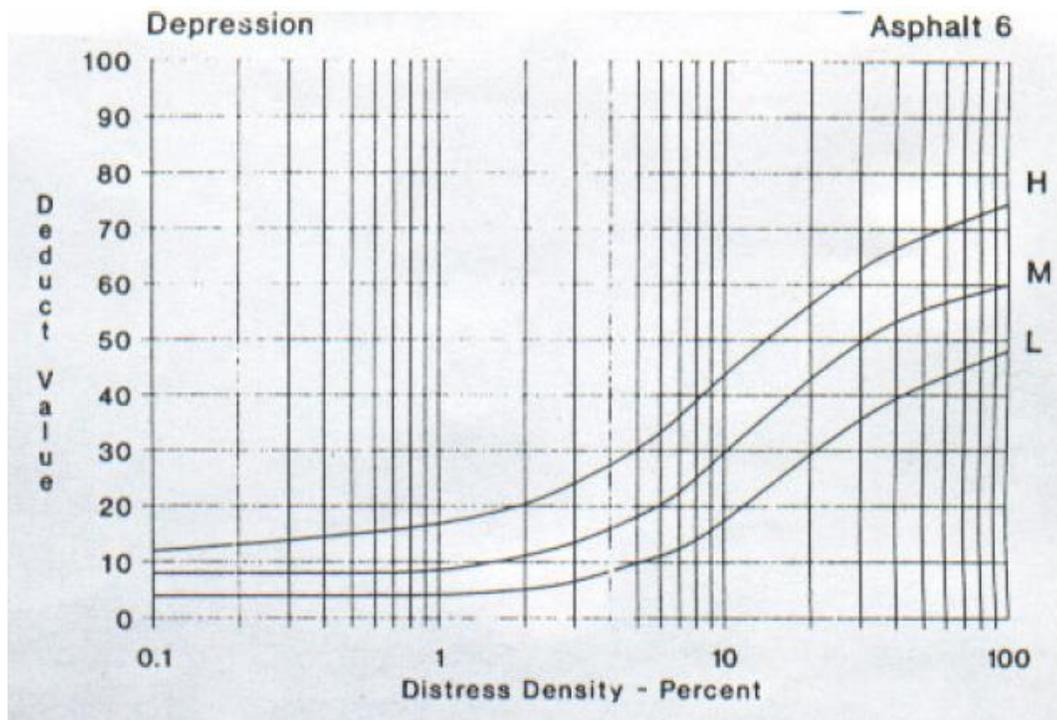
Anexo 4 curvas para determinar el valor deducido para el daño Abultamiento y Hundimiento.



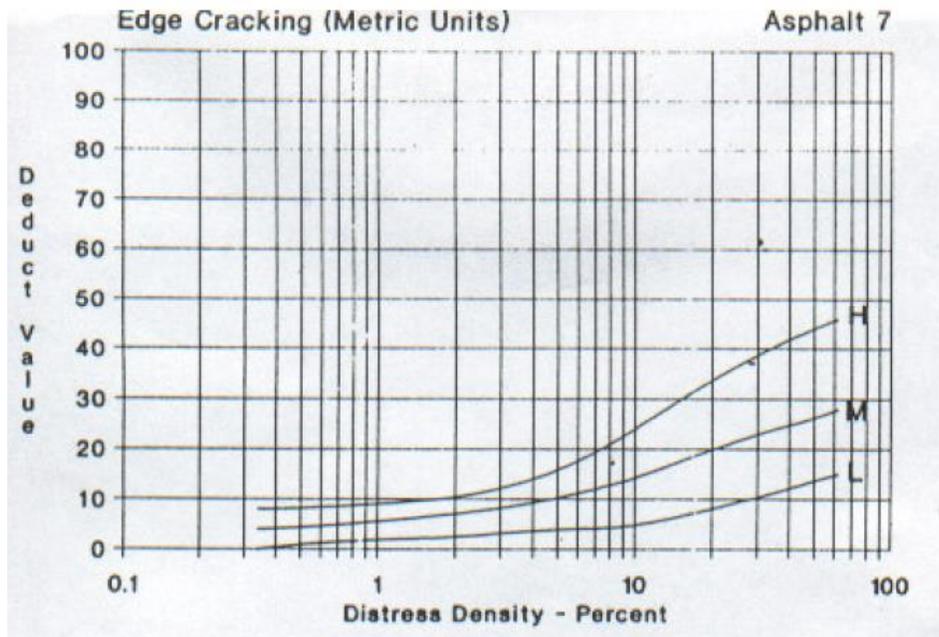
Anexo 5 curvas para determinar el valor deducido para el daño Corrugación



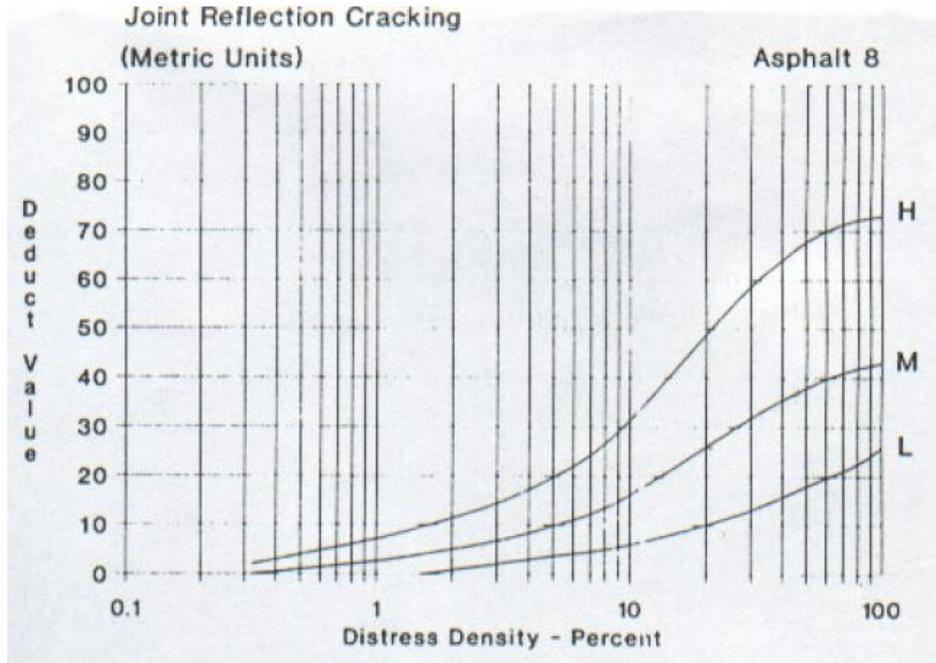
Anexo 6 curvas para determinar el valor deducido para el daño Depresión



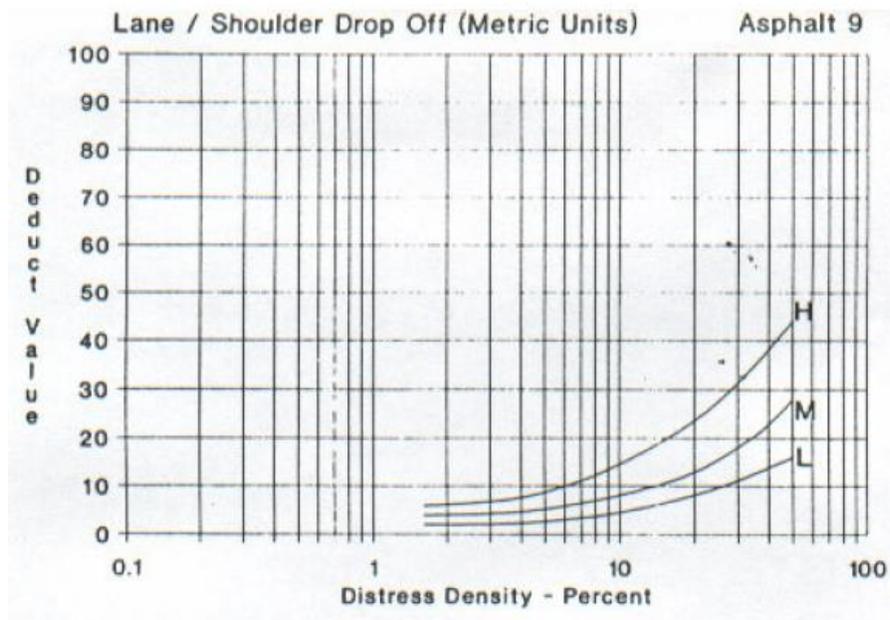
Anexo 7 curvas para determinar el valor deducido para el daño Grieta de borde.



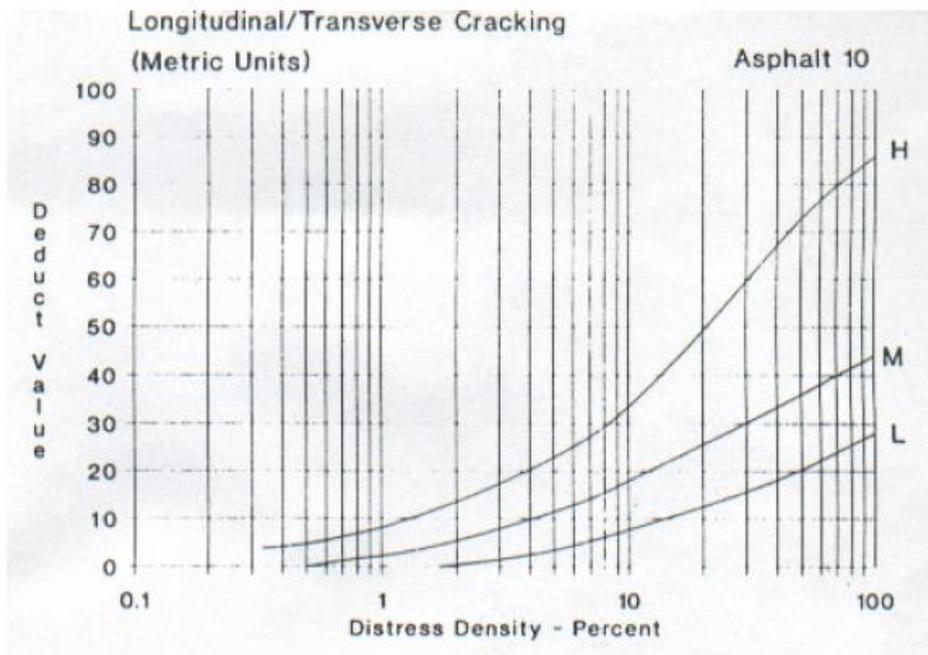
Anexo 8 curvas para determinar el valor deducido para el daño Grieta de reflexión de junta.



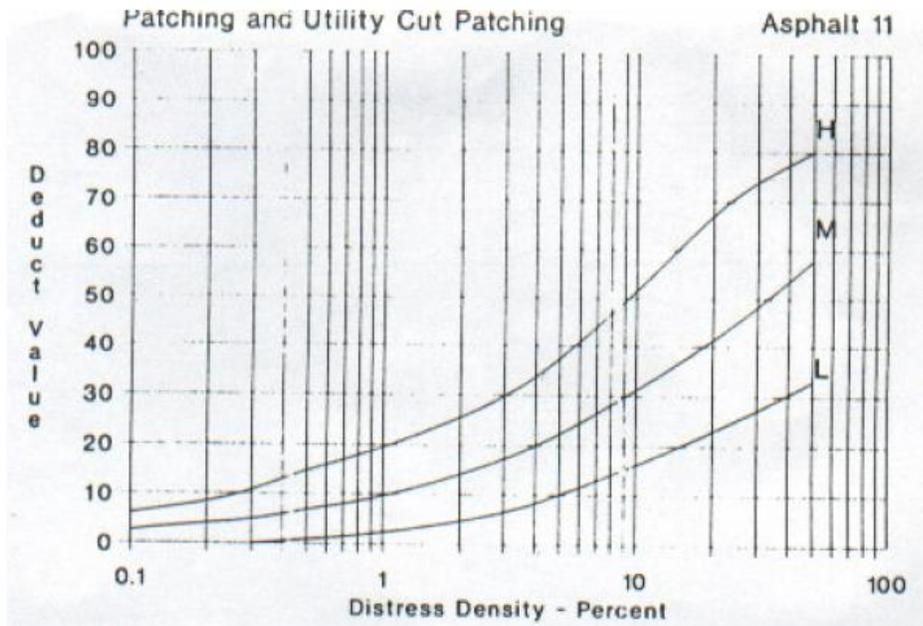
Anexo 9 curvas para determinar el valor deducido para el daño desnivel de carril berma.



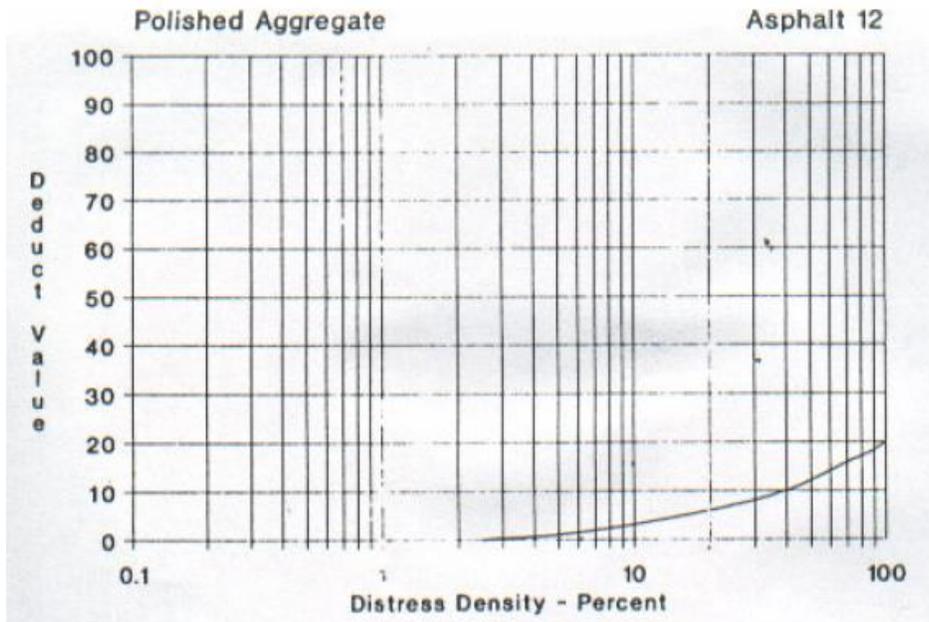
Anexo 10 curvas para determinar el valor deducido para el daño Grietas longitudinales y transversales.



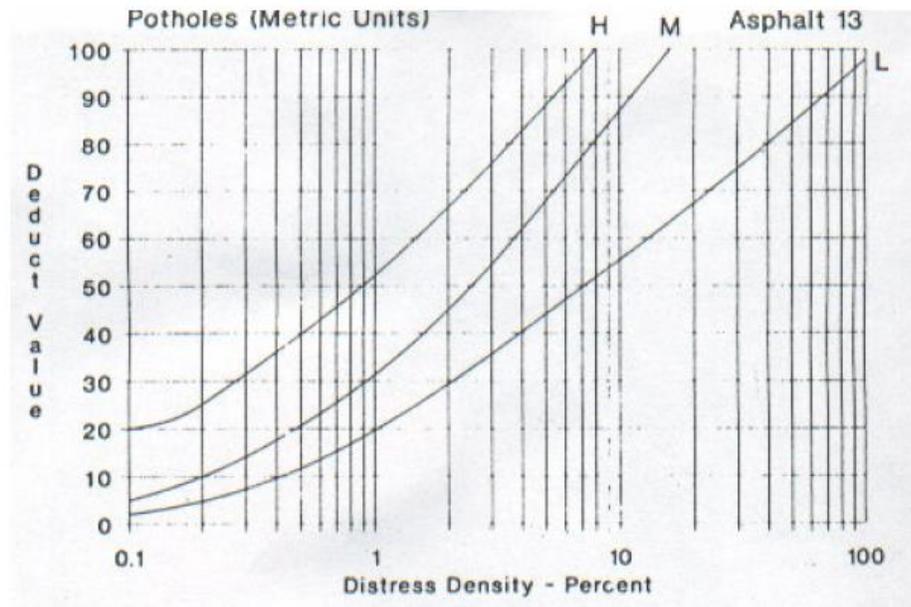
Anexo 11 curvas para determinar el valor deducido para el daño Parcheo.



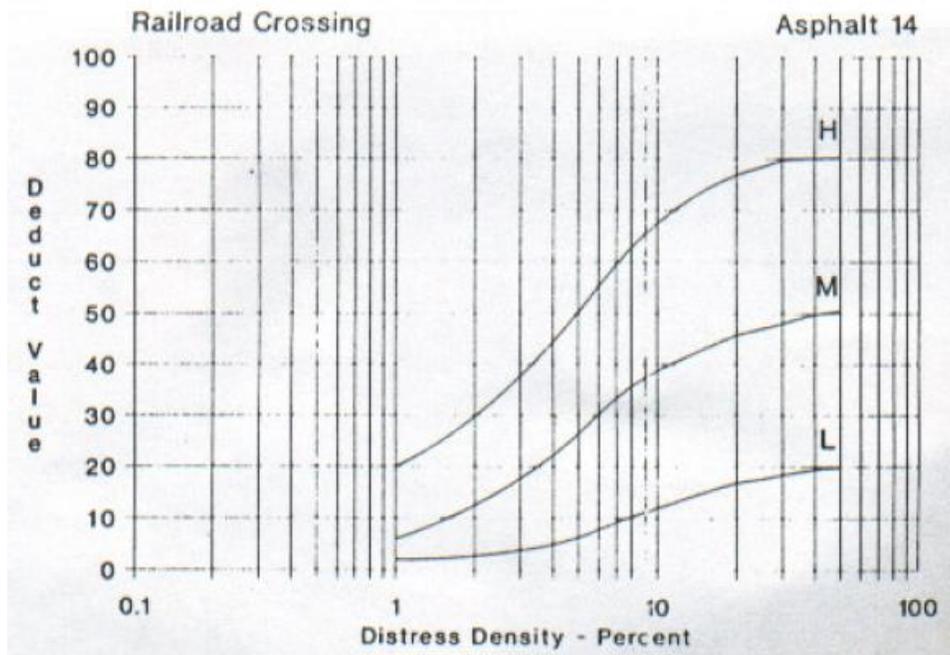
Anexo 12 curvas para determinar el valor deducido para el daño Pulimento de agregados.



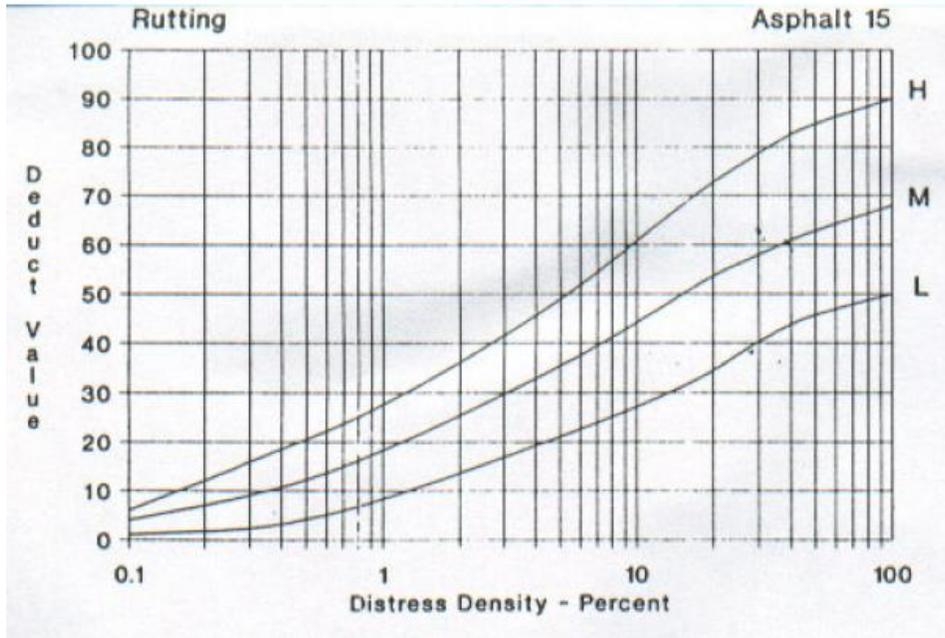
Anexo 13 curvas para determinar el valor deducido para el daño Huecos.



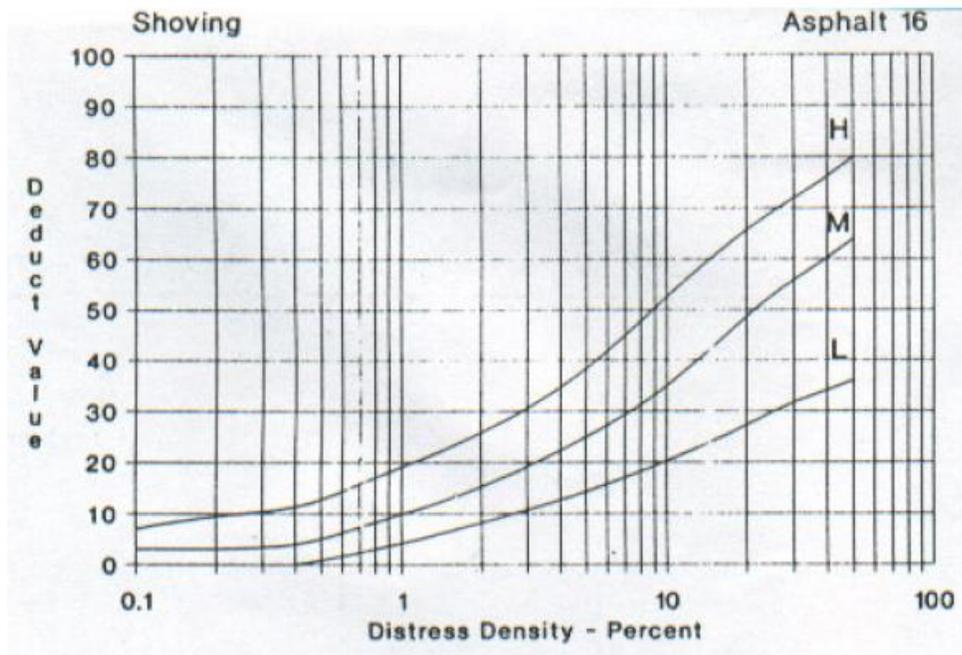
Anexo 14 curvas para determinar el valor deducido para el daño cruce de vía férrea.



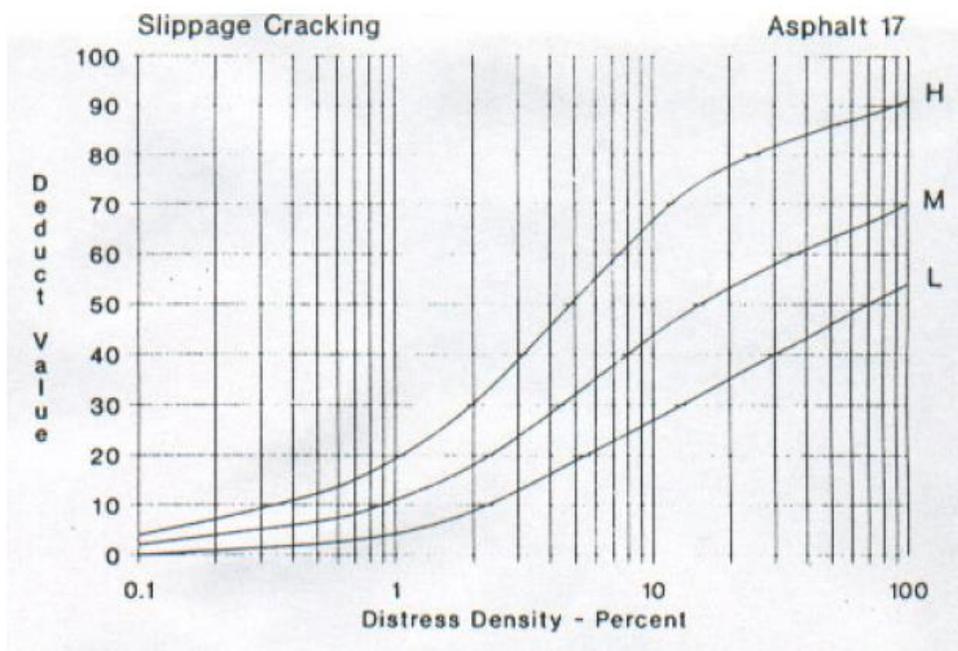
Anexo 15 curvas para determinar el valor deducido para el daño ahuellamiento.



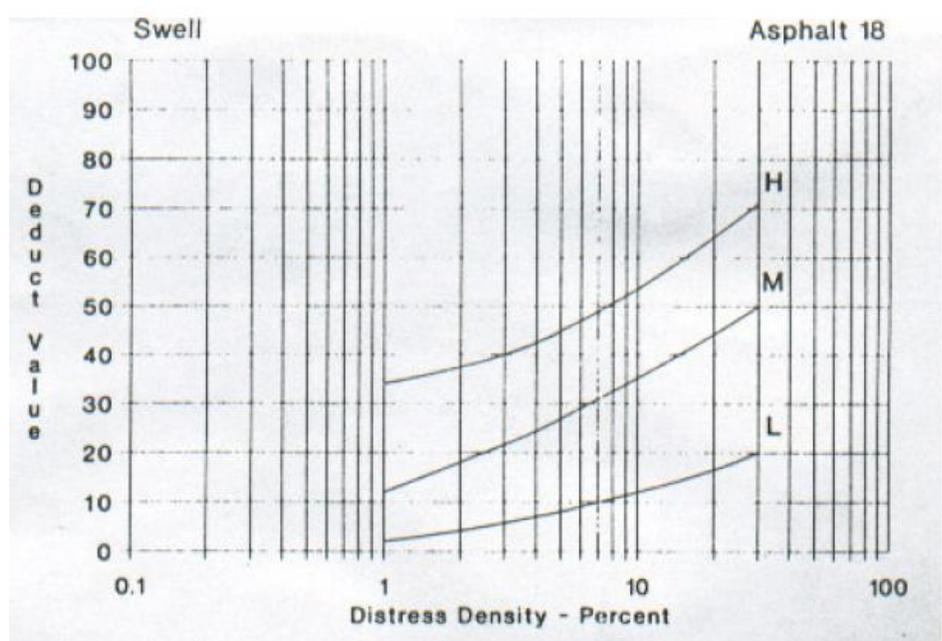
Anexo 16 curvas para determinar el valor deducido para el daño Desplazamiento.



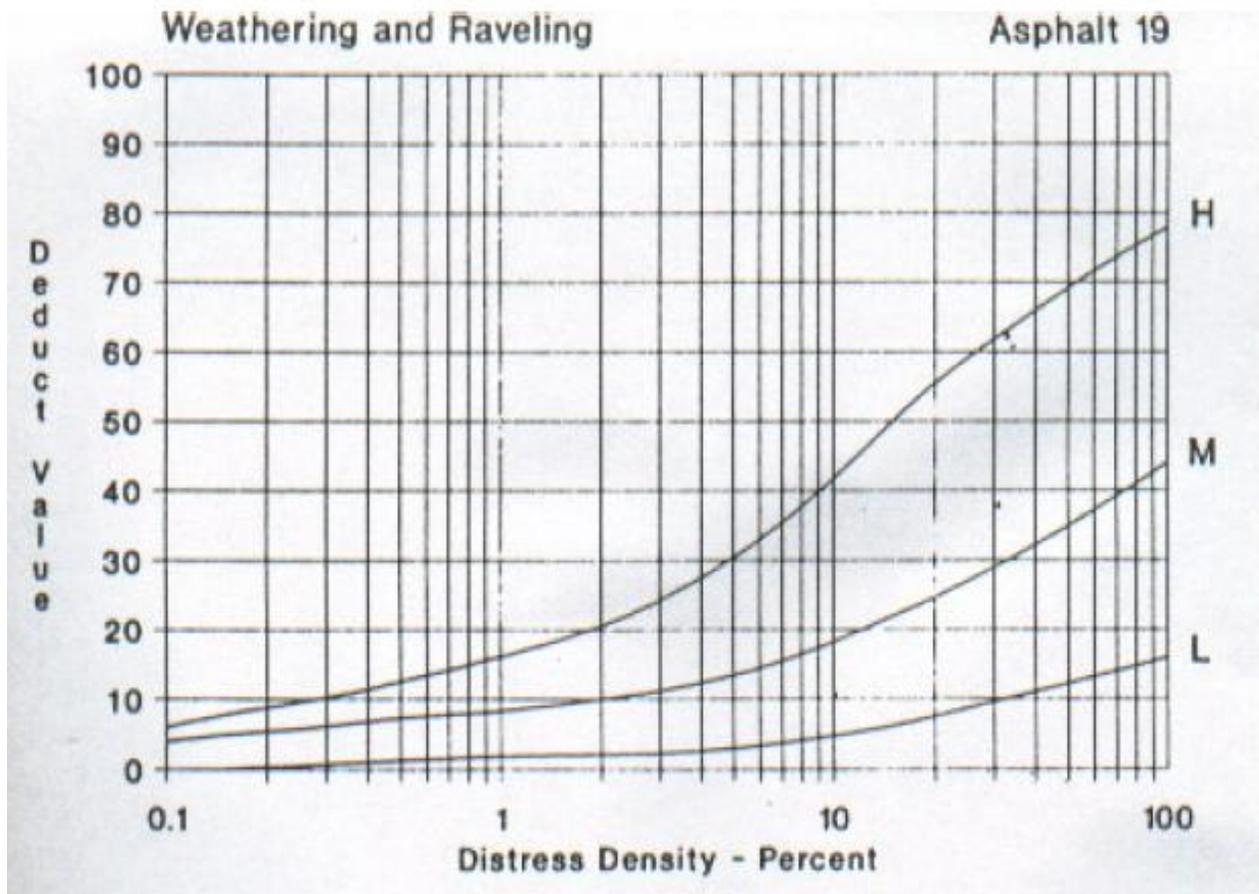
Anexo 17 curvas para determinar el valor deducido para el daño Grietas parabólicas o por deslizamiento.



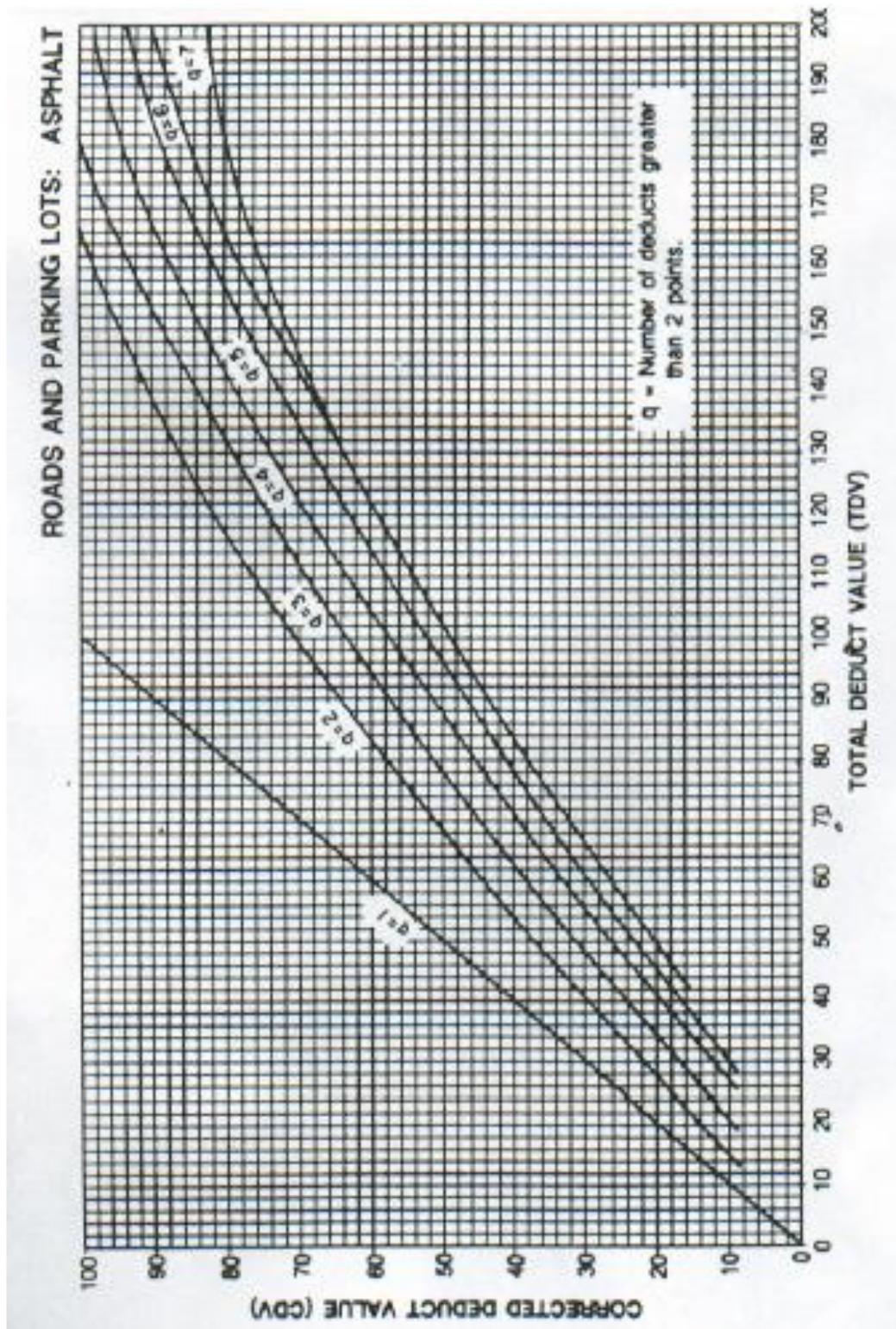
Anexo 18 curvas para determinar el valor deducido para el daño Hinchamiento.



Anexo 19 curvas para determinar el valor deducido para el daño Meteorización o Desprendimiento de agregados.



Anexo 20 curvas para determinar el valor de q.



Anexo 21 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número dos.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL				UNIDAD DE MUESTREO						
2		0+774				22						
FECHA		ABSCISA FINAL				AREA DE MUESTREO (m ²)						
SEP-2015		0+779				230.1						
No	Daño		No	Daño		No	Daño		No	Daño		
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea		15	Ahuellamiento		
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		16	Desplazamiento		17	Grieta parabólica		
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		18	Hinchamiento		19	Desprendimiento de agregados		
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo								
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados								
6	Depresión		13	Huecos								
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
		L	A	L	A	L	A	L	A			
1	M	10.00	2.00							20.00	8.69	44.00
3	M	10.00	2.00							20.00	8.69	16.00
10	M	13.60	3.00							40.80	17.73	28.00
19	M	5.00	2.00							10.00	4.35	13.00

Anexo 22 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número tres.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL				UNIDAD DE MUESTREO						
3		1+133				33						
FECHA		ABSCISA FINAL				AREA DE MUESTREO (m ²)						
SEP-2015		1+168				230.1						
No	Daño			No	Daño			No	Daño			
1	Piel de cocodrilo			8	Grieta de reflexión de junta			14	Cruce de vía férrea			
2	Exudación			9	Desnivel carril / berma			15	Ahuellamiento			
3	Agrietamiento en bloque			10	Grietas long y transversales			16	Desplazamiento			
4	Abultamiento y hundimiento			11	Parcheo			17	Grieta parabólica			
5	Corrugación			12	Pulimento de agregados			18	Hinchamiento			
6	Depresión			13	Huecos			19	Desprendimiento de agregados			
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
		L	A	L	A	L	A	L	A			
1	M	7.00	3.00							21.00	9.13	45.00
3	M	20.00	6.00							120.00	52.15	35.00
11	M	5.00	2.00							10.00	4.35	21.00
19	M	6.50	2.50							16.25	7.06	16.00

Anexo 23 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número cuatro.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS															
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO															
MUESTRA		ABSCISA INICIAL				UNIDAD DE MUESTREO									
4		1+523				44									
FECHA		ABSCISA FINAL				AREA DE MUESTREO (m²)									
SEP-2015		1+558				230.1									
No		Daño				No		Daño				No		Daño	
1		Piel de cocodrilo				8		Grieta de reflexión de junta				14		Cruce de vía férrea	
2		Exudación				9		Desnivel carril / berma				15		Ahuellamiento	
3		Agrietamiento en bloque				10		Grietas long y transversales				16		Desplazamiento	
4		Abultamiento y hundimiento				11		Parcheo				17		Grieta parabólica	
5		Corrugación				12		Pulimento de agregados				18		Hinchamiento	
6		Depresión				13		Huecos				19		Desprendimiento de agregados	
7		Grieta de borde													
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m²)	Densidad (%)	Valor deducido			
		L	A	L	A	L	A	L	A						
1	H	1.50	2.40							3.60	1.56	35.00			
1	M	4.00	2.00							8.00	3.48	37.00			
3	L	4.00	2.80							11.20	4.87	6.00			
4	H	12.00	1.50							18.00	7.82	68.00			
11	M	3.00	3.50							10.50	4.56	22.00			
19	L	6.00	4.00							24.00	10.43	5.00			

Anexo 24 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número cinco.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL				UNIDAD DE MUESTREO						
5		1+912				55						
FECHA		ABSCISA FINAL				AREA DE MUESTREO (m ²)						
SEP-2015		1+947				230.1						
No	Daño		No	Daño		No	Daño		No	Daño		
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea		15	Ahuellamiento		
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		16	Desplazamiento		17	Grieta parabólica		
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		18	Hinchamiento		19	Desprendimiento de agregados		
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo								
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados								
6	Depresión		13	Huecos								
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
7	L	10.00								10.00	4.35	3.00
11	H	0.80	1.80							1.44	0.63	17.00
19	M	25.00	6.50							162.50	70.62	15.00

Anexo 25 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número seis.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL					UNIDAD DE MUESTREO					
6		2+301					66					
FECHA		ABSCISA FINAL					AREA DE MUESTREO (m ²)					
SEP-2015		2+336					230.1					
No	Daño		No	Daño		No	Daño		No	Daño		
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea		15	Ahuellamiento		
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		16	Desplazamiento		17	Grieta parabólica		
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		18	Hinchamiento		19	Desprendimiento de agregados		
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo								
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados								
6	Depresión		13	Huecos								
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
13	H	0.50	0.70	0.50	0.60					1.38	0.60	44.00
13	M	0.40	0.45	0.40	0.25	0.25	0.40	0.60	1.00	2.09	0.91	19.00
11	M	3.00	2.50							7.50	3.26	32.00
19	M	3.00	2.50							7.50	3.26	11.00

Anexo 26 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número siete.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS													
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO													
MUESTRA		ABSCISA INICIAL				UNIDAD DE MUESTREO							
7		2+695				77							
FECHA		ABSCISA FINAL				AREA DE MUESTREO (m ²)							
SEP-2015		2+730				230.1							
No	Daño				No	Daño				No	Daño		
1	Piel de cocodrilo				8	Grieta de reflexión de junta				14	Cruce de vía férrea		
2	Exudación				9	Desnivel carril / berma				15	Ahuellamiento		
3	Agrietamiento en bloque				10	Grietas long y transversales				16	Desplazamiento		
4	Abultamiento y hundimiento				11	Parcheo				17	Grieta parabólica		
5	Corrugación				12	Pulimento de agregados				18	Hinchamiento		
6	Depresión				13	Huecos				19	Desprendimiento de agregados		
7	Grieta de borde												
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido	
1	H	1.60	3.60	0.50	1.50					6.51	2.83	47.00	
4	H	3.40	1.00							3.40	1.48	47.00	
13	M	0.40	0.40							0.34	0.15	8.00	
19	H	1.60	7.50	3.00	10.0					42.00	18.25	55.00	

Anexo 27 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número ocho.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL				UNIDAD DE MUESTREO						
8		3+085				88						
FECHA		ABSCISA FINAL				AREA DE MUESTREO (m ²)						
SEP-2015		3+120				230.1						
No	Daño		No	Daño		No	Daño					
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea					
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		15	Ahuellamiento					
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		16	Desplazamiento					
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo		17	Grieta parabólica					
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados		18	Hinchamiento					
6	Depresión		13	Huecos		19	Desprendimiento de agregados					
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
1	H	1.10	1.20							1.32	0.57	24.00
4	M	10.00	1.00							10.00	4.35	29.00
7	H	2.50								2.50	1.09	9.00
13	H	0.60	0.50	1.00	1.50					3.83	1.66	5.00
19	M	7.00	2.00	11.00	3.00					47.00	20.43	26.00

Anexo 28 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número nueve.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL						UNIDAD DE MUESTREO				
9		3+474						99				
FECHA		ABSCISA FINAL						AREA DE MUESTREO (m ²)				
SEP-2015		3+509						230.1				
No	Daño		No	Daño		No	Daño					
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea					
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		15	Ahuellamiento					
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		16	Desplazamiento					
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo		17	Grieta parabólica					
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados		18	Hinchamiento					
6	Depresión		13	Huecos		19	Desprendimiento de agregados					
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
7	H	3.70	3.00							11.10	4.82	15.00
10	M	3.70	0.04							0.13	0.06	3.00
19	H	30.00	6.00							180.00	78.23	74.00

Anexo 29 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número diez.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL					UNIDAD DE MUESTREO					
10		3+864					110					
FECHA		ABSCISA FINAL					AREA DE MUESTREO (m ²)					
SEP-2015		3+899					230.1					
No	Daño		No	Daño		No	Daño		No	Daño		
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea					
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		15	Ahuellamiento					
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		16	Desplazamiento					
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo		17	Grieta parabólica					
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados		18	Hinchamiento					
6	Depresión		13	Huecos		19	Desprendimiento de agregados					
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
1	H	6.00	1.00							6.00	2.61	45.00
4	H	10.20	2.10							21.42	9.31	72.00
11	H	4.50	2.70	6.70	3.00					32.25	14.02	54.00
11	L	2.20	2.60							5.72	2.49	9.00

Anexo 30 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número once.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL						UNIDAD DE MUESTREO				
11		4+253						121				
FECHA		ABSCISA FINAL						AREA DE MUESTREO (m ²)				
SEP-2015		4+288						230.1				
No	Daño		No	Daño		No	Daño		Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido	
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea					
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		15	Ahuellamiento					
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		16	Desplazamiento					
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo		17	Grieta parabólica					
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados		18	Hinchamiento					
6	Depresión		13	Huecos		19	Desprendimiento de agregados					
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
1	H	10.00	1.00							10.00	4.35	53.00
1	M	8.00	4.00							32.00	13.91	50.00
13	M	0.30	1.00	0.40	0.40					0.98	0.43	20.00
19	M	20.00	3.00							60.00	26.08	28.00

Anexo 31 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número doce.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL					UNIDAD DE MUESTREO					
12		4+642					132					
FECHA		ABSCISA FINAL					AREA DE MUESTREO (m ²)					
SEP-2015		4+677					230.1					
No	Daño		No	Daño		No	Daño		No	Daño		
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea					
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		15	Ahuellamiento					
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		16	Desplazamiento					
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo		17	Grieta parabólica					
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados		18	Hinchamiento					
6	Depresión		13	Huecos		19	Desprendimiento de agregados					
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
1	H	3.70	7.70							28.49	12.38	65.00
11	H	15.50	2.40	6.00	1.85	4.00	1.80			55.50	24.12	70.00
19	M	10.0	6.00							60.00	26.08	28.00

Anexo 32 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número trece.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL				UNIDAD DE MUESTREO						
13		5+032				143						
FECHA		ABSCISA FINAL				AREA DE MUESTREO (m ²)						
SEP-2015		5+067				230.1						
No	Daño		No	Daño		No	Daño		No	Daño		
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea					
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		15	Ahuellamiento					
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		16	Desplazamiento					
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo		17	Grieta parabólica					
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados		18	Hinchamiento					
6	Depresión		13	Huecos		19	Desprendimiento de agregados					
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
3	M	6.50	10.80							70.20	30.51	28.00
11	M	10.00	3.20	18.50	3.30					93.05	40.44	78.00

Anexo 33 Resultados obtenidos para la unidad de muestreo número catorce.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS												
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO												
MUESTRA		ABSCISA INICIAL						UNIDAD DE MUESTREO				
14		5+460						154				
FECHA		ABSCISA FINAL						AREA DE MUESTREO (m ²)				
SEP-2015		5+495						230.1				
No	Daño		No	Daño		No	Daño		No	Daño		
1	Piel de cocodrilo		8	Grieta de reflexión de junta		14	Cruce de vía férrea		15	Ahuellamiento		
2	Exudación		9	Desnivel carril / berma		16	Desplazamiento		17	Grieta parabólica		
3	Agrietamiento en bloque		10	Grietas long y transversales		18	Hinchamiento		19	Desprendimiento de agregados		
4	Abultamiento y hundimiento		11	Parcheo								
5	Corrugación		12	Pulimento de agregados								
6	Depresión		13	Huecos								
7	Grieta de borde											
Daño	Severidad	Cantidades parciales								Total (m ²)	Densidad (%)	Valor deducido
1	H	9.00	3.50							31.50	13.69	61.00
3	M	3.00	5.00							15.00	6.52	13.00
4	M	10.00	3.00							30.00	13.04	43.00
13	M	0.90	0.40							0.77	0.33	18.00
19	H	20.00	6.00							120.00	52.15	70.00

Anexo 34 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número dos.

Muestra 2										
#	Valor deducido					Total	q	m	CDV	
1	44.00	28.00	16.00	13.00		101.00	4	6.143	56.00	
2	44.00	28.00	16.00	2.00		90.00	3		58.00	
3	44.00	28.00	2.00	2.00		76.00	2		56.00	
4	44.00	2.00	2.00	2.00		50.00	1		50.00	

Anexo 35 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número tres.

Muestra 3										
#	Valor deducido					Total	q	m	CDV	
1	45.00	35.00	21.00	16.00		117.00	4	6.051	66.00	
2	45.00	35.00	21.00	2.00		103.00	3		63.00	
3	45.00	35.00	2.00	2.00		84.00	2		60.00	
4	45.00	2.00	2.00	2.00		51.00	1		51.00	

Anexo 36 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número cuatro.

Muestra 4										
#	Valor deducido						Total	q	m	CDV
1	68.00	37.00	35.00	22.00	6.00	5.00	162.00	6	3.939	
2	68.00	37.00	35.00	22.00	6.00	2.00	162.00	5		
3	68.00	37.00	35.00	22.00	2.00	2.00	162.00	4		
4	68.00	37.00	35.00	2.00	2.00	2.00	142.00	3		86.00
5	68.00	37.00	2.00	2.00	2.00	2.00	109.00	2		76.00
6	68.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	74.00	1		74.00

Anexo 37 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número cinco.

Muestra 5										
#	Valor deducido						Total	q	m	CDV
1	17.00	15.00	3.00				35.00	3	8.622	22.00
2	17.00	15.00	2.00				34.00	2		26.00
3	17.00	2.00	2.00				21.00	1		21.00

Anexo 38 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número seis.

Muestra 6										
#	Valor deducido					Total	q	m	CDV	
1	44.00	32.00	19.00	11.00		106.00	4	6.143	60.00	
2	44.00	32.00	19.00	2.00		97.00	3		62.00	
3	44.00	32.00	2.00	2.00		80.00	2		58.00	
4	44.00	2.00	2.00	2.00		50.00	1		50.00	

Anexo 39 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número siete.

Muestra 7										
#	Valor deducido					Total	q	m	CDV	
1	55.00	47.00	47.00	8.00		157.00	4	5.133	86.00	
2	55.00	47.00	47.00	2.00		151.00	3		90.00	
3	55.00	47.00	2.00	2.00		106.00	2		74.00	
4	55.00	2.00	2.00	2.00		61.00	1		61.00	

Anexo 40 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número ocho.

Muestra 8										
#	Valor deducido					Total	q	m	CDV	
1	29.00	26.00	24.00	9.00	5.00	93.00	5	7.52	48.00	
2	29.00	26.00	24.00	9.00	2.00	90.00	4		52.00	
3	29.00	26.00	24.00	2.00	2.00	83.00	3		52.00	
4	29.00	26.00	2.00	2.00	2.00	61.00	2		45.00	
5	29.00	2.00	2.00	2.00	2.00	37.00	1		37.00	

Anexo 41 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número nueve.

Muestra 9										
#	Valor deducido					Total	q	m	CDV	
1	74.00	15.00	3.00			92.00	3	3.388	58.00	
2	74.00	15.00	2.00			91.00	2		65.00	
3	74.00	2.00	2.00			78.00	1		78.00	

Anexo 42 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número diez.

Muestra 10										
#	Valor deducido						Total	q	m	CDV
1	72.00	54.00	45.00	9.00			180.00	4	3.571	
2	72.00	54.00	45.00	2.00			173.00	3		98.00
3	72.00	54.00	2.00	2.00			130.00	2		86.00
4	72.00	2.00	2.00	2.00			78.00	1		78.00

Anexo 43 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número once.

Muestra 11										
#	Valor deducido						Total	q	m	CDV
1	53.00	50.00	28.00	20.00			151.00	4	5.316	84.00
2	53.00	50.00	28.00	2.00			133.00	3		80.00
3	53.00	50.00	2.00	2.00			107.00	2		76.00
4	53.00	2.00	2.00	2.00			59.00	1		59.00

Anexo 44 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número doce.

Muestra 12									
#	Valor deducido					Total	q	m	CDV
1	70.00	65.00	28.00			163.00	3	3.755	92.00
2	70.00	65.00	2.00			137.00	2		90.00
3	70.00	2.00	2.00			74.00	1		74.00

Anexo 45 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número trece.

Muestra 13									
#	Valor deducido					Total	q	m	CDV
1	78.00	28.00				106.00	2	3.02	-
2	78.00	2.00				80.00	1		80.00

Anexo 46 Valores deducidos corregidos para la unidad de muestreo número catorce.

Muestra 14									
#	Valor deducido					Total	q		CDV
1	70.00	61.00	43.00	18.00	13.00	205.00	5	3.755	
2	70.00	61.00	43.00	18.00	2.00	194.00	4		
3	70.00	61.00	43.00	2.00	2.00	178.00	3		98.00
4	70.00	61.00	2.00	2.00	2.00	137.00	2		90.00
5	70.00	2.00	2.00	2.00	2.00	78.00	1		78.00

Anexo 47 Resultados para muestras en estación 2+660.

PCA #1, EST. 2+660



Anexo 48 Resultados para Diseño de suelo más cemento sondeo 1.



DISEÑO DE SUELO + CEMENTO.
METODO ACI 230.1 R

PROYECTO : Ruta UN119E, Tramo A: UN104E - El Sauce.

SOLICITANTE: Erenia Pereira.

TRAMO Y ESTACIONAMIENTO: Tramo 1 Est: 2+660 **f_c (kg/cm²) :** 27

CEMENTO TIPO : C 1157, GU **A los 7 Dias**

Procedencia : Material del lugar tipo SM.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS MATERIALES

Granulometría: Arena Limosa con Gravas SM

Limites de Consistencia (IP): 9

Peso Vol. Seco Max (kg/cm³): 1876 **Humedad Optima (%):** 14

Línea de tendencia de % de cemento Vrs Resistencia

% DE CEMENTO	Esfuerzo de Compresión (kg/cm ²)
2%	~25.5
3%	~27.0
4%	~31.0

Ing. Libní Ariel Saravía.
Control de Calidad de Materiales

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 49 Resultados para Resistencia a la compresión de los cilindros suelo más cemento material más 4% de cemento sondeo 1.



METODO DE PRUEBA ESTADAR
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CILINDROS MOLDEADOS DE SUELO + CEMENTO
ASTM D - 1633

Versión No.: "1.1"	SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD	Página: 1 de 1
Emisión: 22/11/13	Ref.: SGC-1.1	Control de Doc.: 1.1 FT S-A - 035
Solicitante: Erenia Pereira.		
Proyecto: Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.		
Estructura: Material + 4.0 % de Cemento.		
Estacionamiento: 2 + 600	Lateral:	
Fecha Mues. 25 de noviembre de 2015	Fecha de Ensayo: 2 de diciembre de 2015	
f'c de Diseño: 27 kg/cm ² a los 7 días		

Espécimen No.	SC 1	SC 2	SC 3	
Fecha de Elaboración	25-11-15	25-11-15	25-11-15	
Fecha de Ensayo	2-12-15	2-12-15	2-12-15	
Edad de Cilindro en Días	7	7	7	
f'c de Diseño kg/cm ² :	27.0	27.0	27.0	
Diámetro en (cm)	10.2	10.1	10.1	
Altura en (cm)	11.7	11.7	11.7	
Peso en (gr)	2110.0	2113.0	2141.0	
Lectura del anillo (x)	602.0	605.0	609.6	
Carga en (lb fuerza)	5601.2	5628.9	5671.4	
Carga en (kg fuerza)	2540.2	2552.8	2572.1	
Área (cm ²)	81.7	80.1	80.1	
volumen (cm ³)	956.0	937.4	937.4	Promedio:
Peso Volumétrico en (kg/cm ³)	2.2	2.3	2.3	
Esfuerzo de Ruptura en (kg/cm ²)	31.1	31.9	32.1	31.68
Esfuerzo de Ruptura en (kPa)	0.30	0.31	0.31	0.31
% de Ganancia según diseño				

ESTRUCTURA U OBRA REALIZADA			
Espécimen N°	Material + 4.0 % de Cemento.		
	Estacionamiento: 2 + 600 Lateral:		
SC 1 SC 2 SC 3	Especímenes elaborados por laboratorio.		
	UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.		

OBSERVACIONES:

Ecuación del anillo: $y = (0.00000093510 \times x^2) + (9.242801544310x) + (36.982016025686)$
 Siendo "x" la lectura del anillo.

Ensayado Por:
 Melvin Membreño.
 Laboratorista



Autorizado Por:
 Libni Ariel Saravia.
 Ing. Control de C. de Mat.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PBX: 2667-0347
 Web: www.construequiposelsalvador.com
 Correo: construequiposlaboratorio@gmail.com
 Carretera al Litoral Km 188, (Pol. A, Colonia Jardines de San Miguel, San Miguel, El Salvador)

Anexo 50 Resultados para Resistencia a la compresión de los cilindros suelo más cemento material más 3% de cemento sondeo 1.



METODO DE PRUEBA ESTADAR
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CILINDROS MOLDEADOS DE SUELO + CEMENTO
ASTM D - 1633

Versión No.: "1.1"	SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD	Página: 1 de 1
Emisión: 22/11/13	Ref.: SGC-1.1	Control de Doc.: 1.1 FT S-A - 035
Solicitante: Erenia Pereira.		
Proyecto: Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.		
Estructura: Material + 3.0 % de Cemento.		
Estacionamiento: 2 + 600	Lateral:	
Fecha Mues. 25 de noviembre de 2015	Fecha de Ensayo: 2 de diciembre de 2015	
f'c de Diseño: 27 kg/cm ² a los 7 días		

Espécimen No.	SC 1	SC 2	SC 3		
Fecha de Elaboración	25-11-15	25-11-15	25-11-15		
Fecha de Ensayo	2-12-15	2-12-15	2-12-15		
Edad de Cilindro en Días	7	7	7		
f'c de Diseño kg/cm ² :	27.0	27.0	27.0		
Diámetro en (cm)	10.1	10.1	10.2		
Altura en (cm)	11.6	11.6	11.6		
Peso en (gr)	2113.5	2103.5	2113.5		
Lectura del anillo (x)	515.0	518.0	523.0		
Carga en (lb fuerza)	4797.0	4824.8	4871.0		
Carga en (kg fuerza)	2175.5	2188.1	2209.1		
Área (cm ²)	80.1	80.1	81.7		
volumen (cm ³)	929.4	929.4	947.9	Promedio:	
Peso Volumétrico en (kg/cm ³)	2.3	2.3	2.2		
Esfuerzo de Ruptura en (kg/cm ²)	27.2	27.3	27.0	27.17	
Esfuerzo de Ruptura en (kPa)	0.27	0.27	0.27	0.27	
% de Ganancia según diseño					

ESTRUCTURA U OBRA REALIZADA			
Espécimen N°	Material + 3.0 % de Cemento.		
	Estacionamiento: 2 + 600 Lateral:		
SC 1 SC 2 SC 3	Especímenes elaborados por laboratorio.		
	UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.		

OBSERVACIONES:

Ecuación del anillo: $y = (0.000000093510x^2) + (9.242801544310x) + (36.982016025686)$
 Siendo "x" la lectura del anillo.

Ensayado Por:
Melvin Membreño.
 Laboratorista



Autorizado Por:
Libni Ariel Saravia.
 Ing. Control de C. de Mat.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 51 Resultados para Resistencia a la compresión de los cilindros suelo más cemento material más 2% de cemento sondeo 1.



METODO DE PRUEBA ESTADAR
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CILINDROS MOLDEADOS DE SUELO + CEMENTO
ASTM D - 1633

Versión No.: "1.1"	SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD	Página: 1 de 1
Emisión: 22/11/13	Ref.: SGC-1.1	Control de Doc.: 1.1 FT S-A - 035
Solicitante: Erenia Pereira.	Proyecto: Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.	
Estructura: Material + 2.0 % de Cemento.	Estacionamiento: 2 + 600 Lateral:	
Fecha Mues. 25 de noviembre de 2015	Fecha de Ensayo: 2 de diciembre de 2015	
f'c de Diseño: 27 kg/cm ² a los 7 días		

Espécimen No.	SC 1	SC 2	SC 3		
Fecha de Elaboración	25-11-15	25-11-15	25-11-15		
Fecha de Ensayo	2-12-15	2-12-15	2-12-15		
Edad de Cilindro en Días	7	7	7		
f'c de Diseño kg/cm ² :	27.0	27.0	27.0		
Diámetro en (cm)	10.1	10.1	10.1		
Altura en (cm)	11.7	11.7	11.7		
Peso en (gr)	2115.0	2110.0	2150.0		
Lectura del anillo (x)	478.0	479.0	475.0		
Carga en (lb fuerza)	4455.1	4464.3	4427.3		
Carga en (kg fuerza)	2020.4	2024.6	2007.9		
Área (cm ²)	80.1	80.1	80.1		
volumen (cm ³)	937.4	937.4	937.4	Promedio:	
Peso Volumétrico en (kg/cm ³)	2.3	2.3	2.3		
Esfuerzo de Ruptura en (kg/cm ²)	25.2	25.3	25.1	25.18	
Esfuerzo de Ruptura en (kPa)	0.25	0.25	0.25	0.25	
% de Ganancia según diseño					

ESTRUCTURA U OBRA REALIZADA	
Espécimen N°	Material + 2.0 % de Cemento.
	Estacionamiento: 2 + 600 Lateral:
SC 1 SC 2 SC 3	Especímenes elaborados por laboratorio.
	UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.

OBSERVACIONES:

Ecuación del anillo: $y = (0.000000093510x^2) + (9.242801544310x) + (36.982016025686)$
 Señalo "x" la lectura del anillo.

Ensayado Por:
 Melvin Membreño.
 Laboratorista



Autorizado Por:
 Libni Ariel Saravia.
 Ing. Control de C. de Mat.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



Anexo 52 Resultados para Análisis granulométrico sondeo 1.



**METODO DE PRUEBA ESTANDAR ANALISIS
GRANULOMETRICO AGREGADOS (AASHTO T 11 Y T 27 , ASTM C - 136)**

Versión No.: " 1 "	Elaboró:	Revisó:	Autorizó:	Página 1 de 1
Emisión: 01/01/14		Ref.: DGC-9.1	Control de Doc.:	9.1-FTS-008
Solicitante:	Erenia Pereira.			
Proyecto:	Ruta UN19E, Trama A: UN104E - El Sauce.			
Ruía:	Muestreo # 1.			
Estacionamiento:	2+660	Lateral:		
Fecha del Muestreo :	martes, 03 de noviembre de 2015		Fecha de Ensayo : viernes, 06 de noviembre de 2015	

	AASHTO T - 27		AASHTO T - 11
PESO BRUTO (g):	5430	PESO BRUTO (g):	1690
TARA (g):	430	TARA (g):	190
PESO NETO (g):	5000	PESO NETO (g):	1500
HUMEDA (%):	0.00	HUMEDA (%):	9.8
PESO SECO (g):	5000	PESO SECO (g):	1366

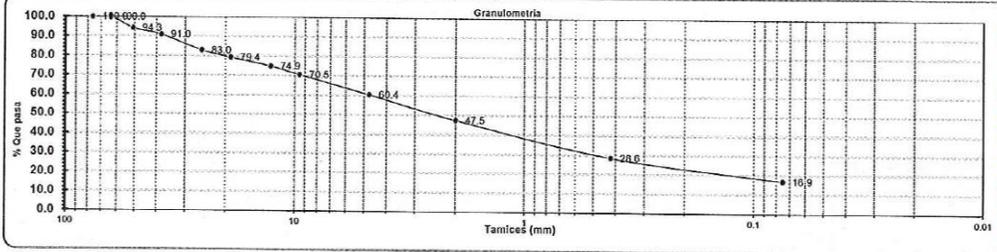
TAMICES	PESO RETENIDO PARCIAL GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA	ESPECIFICACION
3	0.0	0.00	0	100.0	
2 1/2	0.0	0.00	0	100.0	
2	285.0	5.7	5.7	94.3	
1 1/2	165.0	3.3	9.0	91.0	
1	402.0	8.0	17.0	83.0	
3/4	180.0	3.6	20.6	79.4	
1/2	224.0	4.5	25.1	74.9	
3/8	217.0	4.3	29.5	70.5	
No 4	506.0	10.1	39.6	60.4	
No 10	292.4	12.9	52.5	47.5	
No 40	427.0	18.9	71.4	28.6	
No 200	265.0	11.7	83.1	16.9	
Fondo	381	16.9	100.0	0.0	

% de Error
0.45

HUMEDAD

Capsula N°	21
W cap + Ww	400.0
W cap + Ws	371.8
W	28.2
Tara	85.4
Ws	288.4
%W	9.8

GRAVAS (%): 39.6 ARENAS (%): 43.5 FINOS (%): 16.9



Clasificación: Arena Límica con Gravas. Clasificación ASTM: SM
Clasificación AASTHO: A-2.4(0)

Roberto Argón
Roberto Argón
Laboratorista



Lizbeth
Ing. Lizbeth Saravia
Ing. Control de Calidad

PBX: 2667-0347
Web: www.construequiposelsalvador.com
Correo: construequiposlaboratorio@gmail.com
Carretera al Litoral Km 188, Pol. A, Colonia Jardines de San Miguel, San Miguel, El Salvador

WORLD CONFEDERATION OF BUSINESS

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 53 Resultados para Límites de consistencia sondeo 1.



**METODO DE PRUEBA ESTANDAR
PARA LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
ASTM D 4318 / 07 - AASTHO T 89-90**

Versión No.: " 1 "	Elaboró:	Revisó:	Autorizó:	Página 1 de 1
Emisión: 01/01/14.	Ref.: DGC-9.1	Control de Doc.:	9.1-FTS-021	

SOLICITANTE: Erenia Pereira.

PROYECTO: Ruta UNI19E, Tramo A: UNID4E - El Sauce.

ESTACION: 2+660 FECHA DE INGRESO: martes, 03 de noviembre de 2015

PROCEDENCIA: Muestreo # 1 , a una profundidad de 0.00 a - 0.40m. FECHA DE ENSAYO: lunes, 16 de noviembre de 2015

LÍMITE LIQUIDO							
CAPSULA #	PESO CAPSULA (g)	CÁPSULA + SUELO HUMEDO (g)	CÁPSULA + SUELO SECO (g)	AGUA (g)	SUELO SECO (g)	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES
15	15.43	32.61	28.07	4.54	12.64	35.92	15
26	15.14	34.12	29.29	4.83	14.15	34.13	26
68	16.87	37.12	32.15	4.97	15.28	32.53	35

LÍMITE PLÁSTICO							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA, W %	PROM.
17	15.17	19.29	18.48	0.81	3.31	24.47	24.72
24	16.58	22.10	21.00	1.10	4.42	24.89	
5	15.50	21.79	20.54	1.25	5.04	24.80	

CONTRACCIÓN LINEAL

BARRA No. : _____

L. INICIAL, cm: _____

L. FINAL, cm: _____

C. SECADO, cm: _____

C. LINEAL, %: _____

VALORES OBTENIDOS, %

L. LÍQUIDO L.L. = 34.0

L. PLÁSTICO L.P. = 25.0

Í. PLÁSTICO I.P. = 9

C. LINEAL C. L. = _____

CLASIFICACIÓN SUCS: ML

REFERENCIAS: AASHTO T-89 AASHTO T-90	LUGAR LABORATORIO CENTRAL ELABORÓ <i>Roberto Aragón</i>	FECHA DE EMISIÓN CONSTRUEQUIPOS, S.A. DE C.V. DEPTO. DE SUELOS Y MATERIALES TELÉFONO: 2667-0347 SAN MIGUEL, EL SALVADOR, C.A.	FOLIO CONSECUTIVO No. Vo.Bo. Ing. C.C. Materiales. <i>Roberto Aragón</i> Ing. Libni Ariel Saravia.
--	--	--	---

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Límites muestra #7

Anexo 54 Resultados para Método de prueba estándar para la compactación de laboratorio, esfuerzo modificado, suelo natural, sondeo 1.



**METODO DE PRUEBA ESTANDAR
PARA LA COMPACTACION DE LABORATORIO, ESFUERZO MODIFICADO
(56000 ft-lb/ft³ - (2700 kN-n / m³))
RELACION DENSIDAD - HUMEDAD, AASHTO T 180 , ASTM D 1557**

Solicitante: Erenia Pereira.
 Proyecto: Ruta UN119E, Tramo A: UN104E - El Sauce.
 Tramo: Muestreo N° 1
 Estación: 2+660
 Fecha Mues. martes, 03 de noviembre de 2015 Fecha de Ensayo: lunes, 16 de noviembre de 2015

Ensayo No.	DENSIDAD				HUMEDAD				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
% Agua de proyecto	4.0	6.0	8.0	10.0	No de Charola	k7	7	1000	k15
Agua de proyecto, cc	240	360	480	600	Peso T + peso Suelo H., g	476.8	452	453.0	408.30
P. s. húmedo + molde (g)	9515	9760	9805	9750	Peso T + peso Suelo Seco, g	443.5	411.9	406.2	442.60
Peso del molde, (g)	5230	5230	5230	5230	Peso Tara, g	100.0	78.2	78.8	100.00
Peso de suelo húmedo, (g)	4285	4530	4575	4520	Peso agua, g	33.3	40.1	46.8	50.1
Volumen del molde, (cm ³)	2123	2123	2123	2123	Peso Suelo Seco	343.5	333.7	327.4	342.6
P. Vol. Húmedo, (Kg/m ³)	2018	2134	2155	2129	Contenido de agua, (%)	9.7	12.0	14.3	16.3
P. Vol. Seco, (Kg/m ³)	1840	1905	1885	1831					

PESO VOLSECO MAX: 1906 Kg/cm³
 HUMEDAD OPTIMA: 12.6 %
 NORMA: T-180
 Método: D
 No. CAPAS: 5
 No. GOLPES: 56
 MOLDE: 6"
 VOLUMEN DEL MOLDE: 2123
 PESO MARTILLO LBS.: 10.0 lbs.
 ALTURA DE CAIDA: 18"
 PESO DE LA MUESTRA gr.: 6000

PESO VOLSECO MAX. CORREG: _____ Kg/m³
 HUMEDAD OPTIMA CORREG: _____ %
 % MATERIAL RETENIDO EN 3/4"
 GRAVEDAD ESPECIFICA:

OBSERVACIONES: Natural.

Melvin Membreño
Melvin Membreño
Laboratorista

Lizbeth
Ing. Lizbeth Ariel Saravia
Inq. Control de Calidad de Materiales

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 55 Resultados para Método de prueba estándar para la compactación de laboratorio, esfuerzo modificado, con el 3.5% de cemento, sondeo 1.



**METODO DE PRUEBA ESTANDAR
PARA LA COMPACTACION DE LABORATORIO, ESFUERZO MODIFICADO
(56000 ft-lb/ft³ - (2700 kN-n / m³))
RELACION DENSIDAD - HUMEDAD, AASHTO T 180 , ASTM D 1557**

Solicitante: Erenio Pereira.
 Proyecto: Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.
 Tramo: Muestreo N° 1
 Estación: 2+660
 Fecha Mues. martes, 03 de noviembre de 2015 Fecha de Ensayo: lunes, 16 de noviembre de 2015

Ensayo No.	DENSIDAD				HUMEDAD				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
% Agua de proyecto	4.0	6.0	8.0	10.0	No de Charola	14	17	15	18
Agua de proyecto, cc	240	360	480	600	Peso T + peso Suelo H., g	475.1	450.3	460.2	496.00
P. s. húmedo + molde (g)	9485	9730	9775	9720	Peso T + peso Suelo Seco, g	437.2	409.6	408.4	433.10
Peso del molde, (g)	5230	5230	5230	5230	Peso Tara, g	99.6	100.6	78.8	88.00
Peso de suelo húmedo, (g)	4255	4500	4545	4490	Peso agua, g	37.9	40.7	51.8	50.1
Volumen del molde, (cm ³)	2123	2123	2123	2123	Peso Suelo Seco	337.6	309.0	329.6	345.1
P. Vol. Húmedo, (Kg/m ³)	2004	2120	2141	2115	Contenido de agua, (%)	11.2	13.2	15.7	18.2
P. Vol. Seco, (Kg/m ³)	1802	1873	1850	1789					

PESO VOLSECO MAX: 1876 Kg/cm³
HUMEDAD OPTIMA: 14 %
NORMA: T-180
Método: D
No. CAPAS: 5
No. GOLPES: 56
MOLDE: 6"
VOLUMEN DEL MOLDE: 2123
PESO MARTILLO LBS. 10.0
ALTURA DE CAIDA: 18"
PESO DE LA MUESTRA gr. 6000

PESO VOLSECO MAX. CORREG: _____ Kg/m³
HUMEDAD OPTIMA CORREG: _____ %
% MATERIAL RETENIDO EN 3" _____
GRAVEDAD ESPECIFICA: _____

OBSERVACIONES: 3.5 de Cemento.

[Firma]
 Melvin Membreño,
 Laboratorio

[Firma]
 Ing. Libni Ariel Saravia
 Inq. Control de Calidad de Materiales

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PCA #2, EST. 3+450



Anexo 57 Resultados para diseño de suelo más cemento, sondeo 2.



DISEÑO DE SUELO + CEMENTO.															
METODO ACI 230.1 R															
PROYECTO :	Ruta UN19E, Tramo A: UN104E - El Sauce.														
SOLICITANTE:	Erenia Pereira.														
TRAMO Y ESTACIONAMIENTO.	Tramo 2 Est: 3+450	f_c (kg/cm²) :	27												
CEMENTO TIPO :	C 1157, GU	A los 7 Dias													
Procedencia :	Material del lugar tipo SM.														
CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS MATERIALES															
Granulometria:	Arena Limosa con Gravas SM														
Limites de Consistencia (IP):	8														
Peso Vol. Seco Max (kg/cm3):	1812	Humedad Optima (%):	16.9												
Linea de tendencia de % de cemento Vrs Resistencia															
Resistencia Minima a los 7 dias 27 kg/cm2.															
<table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Data points from the graph</caption> <thead> <tr> <th>% DE CEMENTO</th> <th>Esfuerzo de Compresión (kg/cm²)</th> <th>Composición</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5</td> <td>22</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>31</td> <td>2% de cemento + 2% de cal.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>32</td> <td>3% de Cemento + 2% de cal.</td> </tr> </tbody> </table>				% DE CEMENTO	Esfuerzo de Compresión (kg/cm ²)	Composición	1.5	22	-	2	31	2% de cemento + 2% de cal.	3	32	3% de Cemento + 2% de cal.
% DE CEMENTO	Esfuerzo de Compresión (kg/cm ²)	Composición													
1.5	22	-													
2	31	2% de cemento + 2% de cal.													
3	32	3% de Cemento + 2% de cal.													
 Ing. Libni Ariel Saravia. Control de Calidad de Materiales															

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 58 Resultados para Análisis granulométrico, sondeo 2



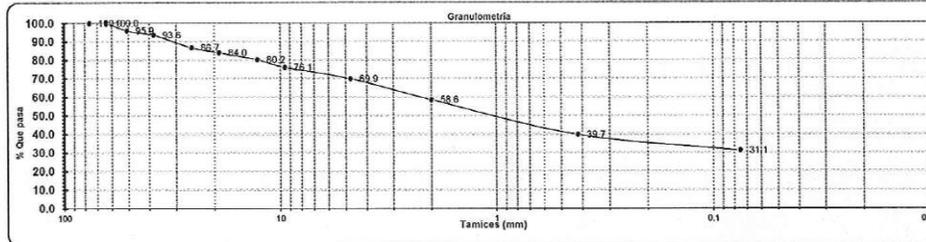
METODO DE PRUEBA ESTANDAR ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADOS (AASHTO T 11 Y T 27 , ASTM C - 136)				
Verión No.: " 1 "	Elaboró:	Revisó:	Autorizó:	Página 1 de 1
Emisión: 01/01/14		Ref.: DGC-9.1	Control de Doc.:	9.1-FTS-008
Solicitante:	Erenia Pereira.			
Proyecto:	Ruta UN19E, Tramo A: UN104E - El Sauce.			
Ruta:	Muestreo # 2.			
Estacionamiento:	3+450	Lateral:		
Fecha del Muestreo :	mañes, 03 de noviembre de 2015		Fecha de Ensayo : viernes, 06 de noviembre de 2015	

<table style="width:100%;"> <tr><td>AASHTO T - 27</td><td></td></tr> <tr><td>PESO BRUTO (g):</td><td>7000</td></tr> <tr><td>TARA (g):</td><td>412</td></tr> <tr><td>PESO NETO (g):</td><td>6588</td></tr> <tr><td>HUMEDA (%):</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>PESO SECO (g):</td><td>6588</td></tr> </table>	AASHTO T - 27		PESO BRUTO (g):	7000	TARA (g):	412	PESO NETO (g):	6588	HUMEDA (%):	0.00	PESO SECO (g):	6588	<table style="width:100%;"> <tr><td>AASHTO T - 11</td><td></td></tr> <tr><td>PESO BRUTO (g):</td><td>1880</td></tr> <tr><td>TARA (g):</td><td>190</td></tr> <tr><td>PESO NETO (g):</td><td>1670</td></tr> <tr><td>HUMEDA (%):</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>PESO SECO (g):</td><td>1587</td></tr> </table>	AASHTO T - 11		PESO BRUTO (g):	1880	TARA (g):	190	PESO NETO (g):	1670	HUMEDA (%):	5.2	PESO SECO (g):	1587
AASHTO T - 27																									
PESO BRUTO (g):	7000																								
TARA (g):	412																								
PESO NETO (g):	6588																								
HUMEDA (%):	0.00																								
PESO SECO (g):	6588																								
AASHTO T - 11																									
PESO BRUTO (g):	1880																								
TARA (g):	190																								
PESO NETO (g):	1670																								
HUMEDA (%):	5.2																								
PESO SECO (g):	1587																								

TAMICES	PESO RETENIDO PARCIAL GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA	ESPECIFICACION
3	0.0	0.00	0	100.0	
2 1/2	0.0	0.00	0	100.0	
2	268.0	4.1	4.1	95.9	
1 1/2	155.0	2.4	6.4	93.6	
1	450.0	6.8	13.3	86.7	
3/4	182.0	2.8	16.0	84.0	
1/2	250.0	3.8	19.8	80.2	
3/8	271.0	4.1	23.9	76.1	
No 4	408.0	6.2	30.1	69.9	
No 10	257.0	11.3	41.4	58.6	
No 40	427.8	18.8	60.3	39.7	
No 200	195.3	8.6	68.9	31.1	
Fondo	706	31.1	100.0	0.0	

% de Error	
0.45	
HUMEDAD	
Capsula N°	29
W cap + Ww	390.0
W cap + Ws	375.6
W	14.4
Tara	100.3
Ws	275.3
%W	5.2

GRAVAS (%): 30.1	ARENAS (%): 38.8	FINOS (%): 31.1
------------------	------------------	-----------------



Clasificación: Arena Limosa con Gravas. Clasificación ASTM SM
 Clasificación AASTHO A-2.5(1)

[Signature]
 Roberto Aragón.
 Laboratorista



[Signature]
 Ing. Libni Arjol Saravia.
 Ing. Control de Calidad

PBX: 2667-0347
 Web: www.construequiposelsalvador.com
 Correo: construequiposlaboratorio@gmail.com
 Carretera al Litoral Km 138, Pol. A, Colonia Jardines de San Miguel, San Miguel, El Salvador

WORLD CONFEDERATION OF BUSINESS

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 59 Resultados para Límites de consistencia, suelo natural, sondeo 2



**METODO DE PRUEBA ESTANDAR
PARA LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
ASTM D 4318 / 07 - AASTHO T 89-90**

Versión No.: " 1 "	Elaboró:	Revisó:	Autorizó:	Página 1 de 1
Emisión: 01/01/14.		Ref.: DGC-9.1	Control de Doc.:	9.1-FTS-021

SOLICITANTE: Erenla Pereira.

PROYECTO: Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.

ESTACION: 3+450 FECHA DE INGRESO: martes, 03 de noviembre de 2015

PROCEDENCIA: Muestreo # 2 , a una profundidad de 0.00 a - 0.40m. FECHA DE ENSAYO: lunes, 16 de noviembre de 2015

LÍMITE LIQUIDO							
CAPSULA #	PESO CAPSULA (g)	CÁPSULA + SUELO HUMEDO (g)	CÁPSULA + SUELO SECO (g)	AGUA (g)	SUELO SECO (g)	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES
68	15.42	32.64	27.55	5.09	12.13	41.96	16
4	15.13	34.14	28.73	5.41	13.60	39.78	26
44	16.69	37.02	31.45	5.57	14.76	37.74	33

LÍMITE PLÁSTICO							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA, W %	PROM.
58	15.16	19.27	18.42	0.85	3.26	26.07	26.37
3	16.57	22.08	20.93	1.15	4.36	26.38	
9	15.49	21.76	20.44	1.32	4.95	26.67	

CONTRACCIÓN LINEAL

BARRA No. : _____

L. INICIAL, cm: _____

L. FINAL, cm: _____

C. SECADO, cm: _____

C. LINEAL, %: _____

VALORES OBTENIDOS, %

L. LÍQUIDO L.L. = 39.6

L. PLÁSTICO L.P. = 26.0

Í. PLÁSTICO I.P. = 14

C. LINEAL C. L. = _____

CLASIFICACIÓN SUCS: CL

REFERENCIAS: AASHTO T-89 AASHTO T-90	LUGAR LABORATORIO CENTRAL ELABORÓ <i>Roberto Aragón</i>	FECHA DE EMISIÓN	FOLIO CONSECUTIVO No. Vo.Bo. Ing. C.C. Materiales. <i>Ing. Libni Anel Saravía</i>
--	--	------------------	---

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 60 Resultados para Límites de consistencia, suelo natural más 2% de cal, sondeo 2.



**METODO DE PRUEBA ESTANDAR
PARA LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
ASTM D 4318 / 07 - AASTHO T 89-90**

Versión No.: " 1 "	Elaboró:	Revisó:	Autorizó:	Página 1 de 1
Emisión: 01/01/14.		Ref.: DGC-9.1	Control de Doc.:	9.1-FTS-021

SOLICITANTE: Erenia Pereira.
 PROYECTO: Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.
 ESTACION: 3+450 FECHA DE INGRESO: martes, 03 de noviembre de 2015
 PROCEDENCIA: Muestreo # 2 , a una profundidad de 0.00 a - 0.40m. FECHA DE ENSAYO: miércoles, 18 de noviembre de 2015

LÍMITE LIQUIDO							
CAPSULA #	PESO CAPSULA (g)	CÁPSULA + SUELO HUMEDO (g)	CÁPSULA + SUELO SECO (g)	AGUA (g)	SUELO SECO (g)	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES
27	15.05	36.26	30.48	5.78	15.43	37.46	15
50	16.57	33.18	28.82	4.36	12.25	35.59	26
17	15.37	36.11	30.91	5.20	15.54	33.46	35

LÍMITE PLÁSTICO							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA, W %	PROM.
36	15.43	20.56	19.45	1.11	4.02	27.61	27.46
32	15.46	19.80	18.87	0.93	3.41	27.27	
51	15.28	20.66	19.50	1.16	4.22	27.49	

CONTRACCIÓN LINEAL

BARRA No. : _____
 L. INICIAL, cm: _____
 L. FINAL, cm: _____
 C. SECADO, cm: _____
 C. LINEAL, %: _____

VALORES OBTENIDOS, %

L. LÍQUIDO L.L. = 35.3
 L. PLÁSTICO L.P. = 27.0
 Í. PLÁSTICO I.P. = 8
 C. LINEAL C. L. = _____

CLASIFICACIÓN SUCS: ML

REFERENCIAS: AASHTO T-89 AASHTO T-90	LUGAR LABORATORIO CENTRAL ELABORÓ <i>[Signature]</i> Roberto Aragón.	FECHA DE EMISIÓN	FOLIO CONSECUTIVO No. Vo.Bo. Ing. C.C. Materiales. <i>[Signature]</i> Ing. Libni Ariel Saravia.
--	---	------------------	--

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 61 Resultados para Método de prueba estándar para la compactación de laboratorio, esfuerzo modificado, 2% de cal +2% de cemento, sondeo 2.



**METODO DE PRUEBA ESTANDAR
PARA LA COMPACTACION DE LABORATORIO, ESFUERZO MODIFICADO
(56000 ft-lb/ft³ - (2700 kN-n / m³))
RELACION DENSIDAD - HUMEDAD, AASHTO T 180 , ASTM D 1557**

Solicitante: Erenia Pereira.
 Proyecto: Ruta UN119E, tramo A: UN104E - El Sauce.
 Tramo: Muestreo N° 2
 Estación: 3 + 450
 Fecha Mues.: mar, 03 de noviembre de 2015 Fecha de Ensayo: lunes, 23 de noviembre de 2015

Ensayo No.	DENSIDAD				HUMEDAD				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
% Agua de proyecto	6.0	8.0	10.0	12.0	No de Charola	190	11	97	23
Agua de proyecto, cc	360	480	600	720	Peso T + peso Suelo H., g	314.1	368.1	336.9	336.90
P. s. húmedo + molde (g)	9185	9700	9745	9690	Peso T + peso Suelo Seco, g	286.1	328.7	297.9	295.40
Peso del molde, (g)	5230	5230	5230	5230	Peso Tara, g	85.2	86.1	82.9	87.90
Peso de suelo húmedo, (g)	4255	4470	4515	4460	Peso agua, g	28.0	39.4	39.0	50.1
Volumen del molde, (cm ³)	2123	2123	2123	2123	Peso Suelo Seco	200.9	242.6	215.0	207.5
P. Vol. Húmedo, (Kg/m ³)	2004	2105	2127	2101	Contenido de agua, (%)	13.9	16.2	18.1	20.0
P. Vol. Seco, (Kg/m ³)	1759	1811	1800	1751					

PESO VOLSECO MAX: 1812 Kg/cm³
 HUMEDAD OPTIMA: 16.9 %
 NORMA: T-180
 Método: D
 No. CAPAS: 5
 No. GOLPES: 56
 MOLDE: 6"
 VOLUMEN DEL MOLDE: 2123
 PESO MARIILLO LBS.: 10.0 lbs.
 ALTURA DE CAIDA: 18"
 PESO DE LA MUESTRA gr.: 6000

PESO VOLSECO MAX. CORREG: _____ Kg/m³
 HUMEDAD OPTIMA CORREG: _____ %
 % MATERIAL RETENIDO EN 3/4": _____
 GRAVEDAD ESPECIFICA: _____

Relación Densidad - Humedad

Y-axis: P.V. Kg/cm³ (1750 to 1825)
 X-axis: CONTENIDO DE AGUA, % (13 to 21)

Peak: 16.9, 1812.0

Melvin Membreño
Melvin Membreño,
Laboratorista

Ing. Libni Adel Soravia
Ing. Libni Adel Soravia
Ing. Control de Calidad de Materiales

OBSERVACIONES: 2% de Cemento + 2% de cal.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 62 Resultados para Método de prueba estándar para la compactación de laboratorio, esfuerzo modificado, suelo natural, sondeo 2.



**METODO DE PRUEBA ESTANDAR
PARA LA COMPACTACION DE LABORATORIO, ESFUERZO MODIFICADO
(56000 ft-lbf/ft³ - (2700 kN-n / m³))
RELACION DENSIDAD - HUMEDAD, AASHTO T 180 , ASTM D 1557**

Solicitante: Erenio Pereira.
 Proyecto: Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.
 Tramo: Muestreo N° 2
 Estación: 3 + 450
 Fecha Mues. martes, 03 de noviembre de 2015 Fecha de Ensayo: viernes, 20 de noviembre de 2015

DENSIDAD					HUMEDAD				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de proyecto	4.0	6.0	8.0	10.0	N _o de Charola	15	18	12	1105
Agua de proyecto, cc	240	360	480	600	Peso T + peso Suelo H., g	314.4	387.5	335.3	333.00
P. s. húmedo + molde (g)	9505	9750	9795	9740	Peso T + peso Suelo Seco, g	289.5	332.5	300.1	293.90
Peso del molde, (g)	5230	5230	5230	5230	Peso Tara, g	81.2	86.3	80.6	86.40
Peso de suelo húmedo, (g)	4275	4520	4565	4510	Peso agua, g	24.9	35.0	35.2	50.1
Volumen del molde, (cm ³)	2123	2123	2123	2123	Peso Suelo Seco	208.3	246.2	219.5	207.5
P. Vol. Húmedo, (Kg/m ³)	2014	2129	2150	2124	Contenido de agua, (%)	12.0	14.2	16.0	18.8
P. Vol. Saco, (Kg/m ³)	1799	1864	1853	1788					

PESO VOLSECO MAX: 1865 Kg/cm³

HUMEDAD OPTIMA: 15 %

NORMA: T-180

Método: D

No. CAPAS: 5

No. GOLPES: 56

MOLDE: 6"

VOLUMEN DEL MOLDE: 2123

PESO MARTILLO LBS: 10.0 lbs.

ALTURA DE CAIDA: 18"

PESO DE LA MUESTRA gr.: 6000

PESO VOLSECO MAX. CORREG: _____ Kg/m³

HUMEDAD OPTIMA CORREG: _____ %

% MATERIAL RETENIDO EN #1: _____

GRAVEDAD ESPECIFICA: _____

Melvin Membreño
Melvin Membreño,
Laboratorista

Ing. Libni Ariel Saravia
Ing. Libni Ariel Saravia
Inq. Control de Calidad de Materiales

OBSERVACIONES: Natural.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Anexo 63 Resultados para Método de prueba estándar para la compresión de cilindros moldeados, suelo más 2% de cal más 3% cemento, sondeo 2.



METODO DE PRUEBA ESTADAR
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CILINDROS MOLDEADOS DE SUELO + CEMENTO
ASTM D - 1633

Versión No.: "1.1"		SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD		Página: 1 de 1	
Emisión: 22/11/13		Ref.: SGC-1.1		Control de Doc.: 1.1 FT S-A - 035	
Solicitante: Erenia Pereira.					
Proyecto: Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.					
Estructura: Material + 3.0 % de Cemento + 2% de cal.					
Estacionamiento: 3+450		Lateral:			
Fecha Mues. 25 de noviembre de 2015		Fecha de Ensayo: 2 de diciembre de 2015			
f'c de Diseño: 27 kg/cm² a los 7 días					

Espécimen No.	SC 1	SC 2	SC 3		
Fecha de Elaboración	25-11-15	25-11-15	25-11-15		
Fecha de Ensayo	2-12-15	2-12-15	2-12-15		
Edad de Cilindro en Días	7	7	7		
f'c de Diseño kg/cm²:	27.0	27.0	27.0		
Diámetro en (cm)	10.2	10.1	10.2		
Altura en (cm)	11.5	11.5	11.5		
Peso en (gr)	2010.0	2011.6	2025.5		
Lectura del anillo (x)	646.0	619.0	628.0		
Carga en (lb fuerza)	6007.9	5758.3	5841.5		
Carga en (kg fuerza)	2724.7	2611.5	2649.2		
Área (cm²)	81.7	80.1	81.7		
volumen (cm³)	939.7	921.4	939.7		Promedio:
Peso Volumétrico en (kg/cm³)	2.1	2.2	2.2		
Esfuerzo de Ruptura en (kg/cm²)	33.3	32.6	32.4		32.79
Esfuerzo de Ruptura en (kPa)	0.33	0.32	0.32		0.32
% de Ganancia según diseño					

ESTRUCTURA U OBRA REALIZADA			
Espécimen N°	Material + 3.0 % de Cemento + 2% de cal.		
	Estacionamiento: 3+450 Lateral:		
SC 1 SC 2 SC 3	Especímenes de diseño elaborados por laboratorio.		
	UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.		

OBSERVACIONES:

Ecuación del anillo: $y = (0.000000093510x^2) + (9.242801544310x) + (36.982016025686)$
 Siendo "x" la lectura del anillo.

Ensayado Por:
 Melvin Membreño.
 Laboratorista



Autorizado Por:
 Libni Ariel Saravia.
 Ing. Control de C. de Mat.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



Anexo 64 Resultados para Método de prueba estándar para la compresión de cilindros moldeados, suelo más 2% de cal más 2% de cemento, sondeo 2.



METODO DE PRUEBA ESTADAR
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CILINDROS MOLDEADOS DE SUELO + CEMENTO
ASTM D - 1633

Versión No.: "1.1"		SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD		Página: 1 de 1	
Emisión: 22/11/13		Ref.: SGC-1.1		Control de Doc.: 1.1 FT S-A - 035	
Solicitante: <u>Erenia Pereira.</u>					
Proyecto: <u>Ruta UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.</u>					
Estructura: <u>Material + 2.0 % de Cemento + 2% de cal.</u>					
Estacionamiento: <u>3+450</u>		Lateral: _____			
Fecha Mues. <u>30 de noviembre de 2015</u>			Fecha de Ensayo: <u>7 de diciembre de 2015</u>		
f'c de Diseño: <u>27 kg/cm² a los 7 días</u>					

Espécimen No.	SC 1	SC 2	SC 3		
Fecha de Elaboración	30-11-15	30-11-15	30-11-15		
Fecha de Ensayo	7-12-15	7-12-15	7-12-15		
Edad de Cilindro en Días	7	7	7		
f'c de Diseño kg/cm²:	27.0	27.0	27.0		
Diámetro en (cm)	10.1	10.2	10.1		
Altura en (cm)	11.6	11.4	11.6		
Peso en (gr)	2041.1	2023.6	2056.5		
Lectura del anillo (x)	586.0	589.0	590.0		
Carga en (lb fuerza)	5453.3	5481.0	5490.3		
Carga en (kg fuerza)	2473.2	2485.7	2489.9		
Área (cm²)	80.1	81.7	80.1		
volumen (cm³)	929.4	931.5	929.4	Promedio:	
Peso Volumétrico en (kg/cm³)	2.2	2.2	2.2		
Esfuerzo de Ruptura en (kg/cm²)	30.9	30.4	31.1		30.79
Esfuerzo de Ruptura en (kPa)	0.30	0.30	0.30		0.30
% de Ganancia según diseño					

ESTRUCTURA U OBRA REALIZADA	
Espécimen N°	Material + 2.0 % de Cemento + 2% de cal.
SC 1 SC 2 SC 3	Estacionamiento: 3+450 Lateral:
	Especímenes de diseño elaborados por laboratorio.
	UNI19E, Tramo A: UNI04E - El Sauce.

OBSERVACIONES:

Ecuación del anillo: $y = (0.000000093510x^2) + (9.242801544310x) + (36.982016025686)$
 Siendo "x" tá lectura del anillo.

Ensayado Por:
Melvin Membreño.
 Laboratorista



Autorizado Por:
Libni Ariel Saravia.
 Ing. Control de C. de Mat.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



PBX: 2667-0347
 Web: www.construequiposelsalvador.com
 Correo: construequiposlaboratorio@gmail.com
 Carretera al Litoral Km 138, Pol. A, Colonia Jardines de San Miguel, San Miguel, El Salvador