



CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE GRADO

**EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL
PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA TÉCNICA
DEL RECICLADO EN FRÍO**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:
CAPT. DE E. LÓPEZ CASTILLO DIEGO VINICIO**

SANGOLQUÍ, 14 de Mayo del 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
INGENIERÍA CIVIL
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

DIEGO VINICIO LÓPEZ CASTILLO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA TÉCNICA DEL RECICLADO EN FRÍO”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas en las páginas correspondientes, las mismas que se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 14 de Mayo del 2014.

Capt de E. Diego Vinicio López Castillo

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
INGENIERÍA CIVIL
CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por el Sr. CAPT. DE. E LÓPEZ CASTILLO DIEGO VINICIO, como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO CIVIL.

Sangolquí, 14 de Mayo del 2014

Ing. Patricio Romero Flores Msc

Docente de la Carrera de Ingeniería Civil

Director del Proyecto de Tesis

Ing. Hugo Bonifaz García

Docente de la Carrera de Ingeniería Civil

Codirector del Proyecto de Tesis

Ing. Pablo Caiza Sánchez PhD.

Director de la Carrera de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, DIEGO VINICIO LÓPEZ CASTILLO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del trabajo “EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA TÉCNICA DEL RECICLADO EN FRÍO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 14 de Mayo del 2014.

Capt de E. Diego Vinicio López Castillo

DEDICATORIA

Primeramente quiero agradecer, por toda la responsabilidad, paciencia, amor, cariño y sacrificio brindado por parte de mi esposa María Fernanda Cisneros Poveda, pilar fundamental de mi hogar, por su apoyo incondicional en todos los días y las noches, convirtiéndose en mi ausencia en padre y madre para mis hijas e hijo (María Emilia López, Samanta Nayeli López y Diego Isaac López), durante mis actividades como estudiante..

A mi padre y madre que desde mi ingreso como alumno de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, han velado y estado pendientes de cada uno de mis pasos y avances dentro de mi vida profesional.

Al culminar en esta prestigiosa Universidad, quiero expresar mi gratitud y cariño a los docentes que me supieron brindar sus conocimientos que serán de gran utilidad en mi vida profesional como oficial del glorioso Ejército Ecuatoriano, que me supo guiar por este nuevo sendero académico y darme esta oportunidad de capacitarme para obtener mi título de tercer nivel.

También quiero dedicar a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron y respaldaron en este nuevo logro profesional.

Capt. de E. Diego López Castillo.

AGRADECIMIENTO

Primeramente quisiera agradecer a mi Dios por darme la sabiduría, la capacidad y la paciencia, para sobrellevar mi hogar y mi profesión al mismo tiempo y por darme cada uno de los seres queridos que tengo a mi lado mi padre, mi madre, mi esposa y mis hijas e hijo.

Agradecer a los docentes que durante mi formación, a más de los conocimientos supieron transmitir el respeto, la disciplina y cortesía, los cuales voy aplicar de hoy en adelante en el desarrollo de mi vida profesional dentro de mi Institución y en mi vida personal.

A mi Teniente Coronel-ESP. Victor Añasco, Jefe de Obras Horizontales del CEE., que bajo su dirección y apoyo fue uno de los pilares para el desarrollo en primera instancia del perfil y luego de todo el proyecto de grado. De igual forma mi más sincero agradecimiento al Sr. Ing Segundo Guanoliquín, gerente de la empresa GEOSOIL, por su apoyo desinteresado en la ejecución de los ensayos de los diferentes materiales, parte fundamental para el desarrollo del proyecto de tesis.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, al Sr. Ing. Patricio Romero Flores y al Sr. Ing. Hugo Bonifaz García, por su guía profesional en el desarrollo del proyecto de grado.

Capt. de .E. Diego López Castillo.

EXTRACTO

En los actuales momentos debido al avance de la Ingeniería de Pavimentos se ha considerado la técnica del reciclado en frío, debido a que emplea un procedimiento de bajo costo, ahorra agregados y ligantes; y tiene la finalidad de reutilizar el material tendido y evitar la contaminación al medio ambiente, disminuyendo de esta manera la extracción y transportación del material agregado, además, por la constante evolución en la fabricación de vehículos, se debe considerar la aplicación de la carga repetida, producto del paso de los vehículos sobre la superficie del pavimento, a fin de controlar la deformación radial de tracción presente en la capa de rodadura, el control del ahuellamiento presente sobre la sub-rasante y el control de la deflexión vertical presente en la superficie de la estructura del pavimento, de esta manera obtendremos las deformaciones elásticas y permanentes de los suelos, la resistencia a la fatiga de los materiales utilizados en la construcción del pavimento y la influencia de las características climatológicas de la zona; en las vías considerar la construcción de buenos drenajes para la conducción de aguas, debido a que existe un alto nivel freático por la cercanía del Volcán Chimborazo y de esta manera evitar fallas en la estructura del pavimento, por lo tanto, todo esto hace que sea necesario establecer con precisión los parámetros que intervienen en el diseño y construcción, es motivo por el cual el objeto de este trabajo para que sea utilizado en nuestro país.

Palabras Claves:

1. REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO
2. ASFALTO FLEXIBLE
3. RECILADO EN FRÍO
4. ENSAYOS DEL MATERIAL
5. MÉTODO ELÁSTICO

ABSTRACT

At the present time due to the advancement of pavement engineering technique of cold, because recycling has been considered that a low-cost procedure used, saves aggregates and binders; and it aims to reuse laying material and avoid the pollution to the environment, thus reducing the extraction and transportation of the material added, moreover, by the constant evolution in the manufacture of vehicles, should be considered the application of repeated load, product of the passage of vehicles on the surface of the pavement, to control traction radial deformation present in the layer the present rut on the sub-rasante control and control of the vertical deflection present on the surface of the pavement structure, in this way we will obtain permanent and elastic deformations of soils, the fatigue resistance of the materials used in the construction of the pavement and the influence of the climatic characteristics of the area; routes considered the construction of good drainage for the conveyance of water, because there is a high water table due to the proximity of the volcano Chimborazo and thus avoid failures in the pavement structure, therefore, all this makes it necessary to establish with

precision the parameters involved in the design and construction, is why the subject of this work so that is used in our country.

Key words:

1. PAVEMENT REHABILITATION
2. FLEXIBLE ASPHALT
3. RECYCLED COLD
4. MATERIAL TESTS
5. ELASTIC METHOD

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Ubicación general del proyecto.....	4
1.3 Ubicación del tramo a estudiar.....	5
1.4 Justificación del Proyecto.....	6
1.5 Proceso del Reciclado en Frío y sus Ventajas.....	7
1.6 Vía existente por tramos.....	8
1.7 El Estado de Serviciabilidad.....	10
1.8 Daños en pavimentos flexibles.....	13
1.9 Condiciones ambientales.....	25
1.10 Objetivo General del Proyecto.....	26
1.11 Objetivos Específicos del Proyecto.....	27
CAPÍTULO II.....	27
RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO.....	27
2.1 Aplicaciones del reciclado en frío.....	27
2.2 Reciclado del 100%.....	29
2.3 Estabilización con RAP/Base Granular para el mejoramiento del material reciclado.....	30
2.4 Pulverización.....	31
2.5 Análisis e Interpretación de las Fisuras en el pavimento.....	31
2.5.1 Baches descubiertos.....	33
2.5.2 Fisuras en bloque o piel de cocodrilo.....	33
2.5.4 Defectos de superficie.....	34
2.6 Proceso de Toma y Transporte de Muestras hacia el Laboratorio.....	34
2.6.1 Generalidades.....	34
2.6.2 Toma de Muestras.....	35

2.7 Identificación de los suelos mediante ensayos	37
2.8 Ensayos de Granulometría.....	38
2.8.1. Ensayo de Granulometría del Material Reciclado.....	39
2.8.2 Ensayo de Granulometría del Material Identificado para Base.....	46
2.8.3 Ensayo de Granulometría del Material de la Mina Colorado.....	50
2.9 Ensayo de Abrasión.....	54
2.9.1 Ensayo de Abrasión del Material Reciclado	61
2.9.3 Ensayo de Abrasión del Material Identificado para Base	62
2.9.4 Ensayo de Abrasión del Material de la Mina Colorado	63
2.10 Determinación del Índice Plástico y Limite Líquido.	64
2.10.1 Ensayo de Límites y Matrices del Material Reciclado.....	73
2.10.2 Ensayo de Límites y Matrices del Material Identificado para Base	74
2.10.3 Ensayo de Límites y Matrices del Material de la Mina Colorado	75
2.11 Ensayos de Compactación.....	76
2.11.1 Ensayo de Compactación del Material Reciclado	84
2.11.2 Ensayo de Compactación del Material Identificado para Base.	87
2.11.3 Ensayo de Compactación del Material de la Mina Colorado	89
2.12 Ensayo CBR.....	93
2.12.1 Ensayo CBR del Material Reciclado.....	102
2.12.2 Ensayo CBR del Material Identificado para Base.....	107
2.12.3 Ensayo CBR del Material de la Mina Colorado.....	112
CAPÍTULO III	118
3.1 Identificar los materiales para las diferentes capas del pavimento.....	118
3.1.1 Sub-base de Agregados	118
3.1.2 Base de Agregados.	120
3.1.3 Carpeta Asfáltica.	122
3.2 Diseño del Pavimento.....	122
3.2.1 Tipos de Pavimentos.....	124

3.2.2 Cargas de Tránsito en Pavimentos	124
3.2.2.1 Tránsito Fijo	124
3.2.2.2 Vehículo Fijo	125
3.2.2.3 Vehículo y Tráfico Variable.....	125
3.2.3 Datos de Ingeniería de Tránsito requeridos en el Diseño de Pavimentos.	125
3.2.3.1 Tránsito Promedio Diario Anual, (TPDA).	126
3.2.3.2 Distribución Vehicular por Sentido de Circulación o Dirección Fd.	126
3.2.3.3 Distribución Vehicular por Carriles, Fc.	126
3.2.3.4 Distribución Vehicular por Tipo de Vehículo.....	127
3.2.3.5 Crecimiento Vehicular a lo largo del Período de Análisis.	127
3.2.4 Condiciones Climatológicas.....	128
3.2.5 Materiales para Capas del Pavimento.....	128
3.3 Pavimentos Flexibles.....	128
3.3.1 El Asfalto.....	129
3.3.2 Diseño Estructural.	129
3.3.2.1 Método AASHTO para Diseño de Pavimentos.....	130
3.3.2.2 Confiabilidad	133
3.5.2.3 Desviación Normal (So) y Estándar (Zr).....	134
3.5.2.4 Período de Vida.	135
3.5.2.5 Período de Análisis.....	135
3.5.2.6 Cálculo para el Diseño del Pavimento.....	136
3.5.2.6.1 Cálculo del TPDA final (TPDAf).....	136
3.5.2.6.2 Factor de Carga Equivalente.	139
3.5.2.6.3 Distribución de Tráfico.....	140
3.5.2.6.4 Número de Ejes Equivalentes de 8,2 Ton.	140
3.5.2.6.5 Método del Diseño Elástico para Pavimentos Flexibles	141
3.5.2.7 Valores Admisibles de Deformaciones, Esfuerzos y Deflexión en Estructuras de Pavimentos Flexibles.....	147

3.5.2.7.1 Criterios Fundamentales para el Diseño de un Pavimento	147
3.5.2.8 Diseño del Pavimento Flexible empleando el Método AASHTO 1993.....	149
CAPÍTULO IV	157
4.1 Conclusiones.....	157
4.2 Recomendaciones	158
MATERIALES DE REFERENCIA.....	158
ANEXOS.....	160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Resumen de espesores de estructura del pavimento _____	9
Tabla 1.2 : Resumen de las características de la Rugosidad _____	11
Tabla 1.3: Valores de Confiabilidad _____	12
Tabla 2.1: Distribución Granulométrica del Material Reciclado Ensayo No 1. _____	43
Tabla 2.2: Distribución Granulométrica del Material Reciclado Ensayo No 2 _____	45
Tabla 2.3: Distribución Granulométrica del Material Identificado para Base Ensayo No 1. _____	47
Tabla 2.4: Distribución Granulométrica del Material Identificado para Base Ensayo No 2. _____	49
Tabla 2.5: Distribución Granulométrica del Material de la Mina Colorado Ensayo No 1. _____	51
Tabla 2.6: Distribución Granulométrica del Material de la Mina Colorado Ensayo No 2. _____	53
Tabla 2.7: Ensayo de Abrasión del Material Reciclado _____	62
Tabla 2.8: Ensayo de Abrasión del Material Identificado para Base _____	63
Tabla 2.9: Ensayo de Abrasión del Material de la Mina Colorado _____	64
Tabla 2.10: Compactación del Material Reciclado del Ensayo No 1. _____	84
Tabla 2.11: Compactación del Material Reciclado Ensayo No 2. _____	86
Tabla 2.12: Compactación del Material Identificado para Base Ensayo No 1. _____	88

Tabla 2.13: Compactación del Material de la Mina Colorado Ensayo No 1. _____	90
Tabla 2.14: Compactación del Material de la Mina Colorado Ensayo No 2. _____	92
Tabla 2.15: Ensayo CBR del Material Reciclado _____	103
Tabla 2.16: Detalle de los Esponjamientos medidos en el CBR _____	104
Tabla 2.17: Datos Obtenidos para el gráfico presión vs penetración _____	105
Tabla 2.18: Ensayo CBR del Material Identificado para Base _____	108
Tabla 2.19: Detalle de los Esponjamientos medidos en el CBR _____	109
Tabla 2.20: Datos Obtenidos para el gráfico presión vs penetración _____	110
Tabla 2.21: Ensayo CBR del Material de la Mina Colorado _____	113
Tabla 2.22: Detalle de los Esponjamientos medidos en el CBR _____	114
Tabla 2.23: Datos Obtenidos para el gráfico presión vs penetración. _____	115
Tabla 3.1: Granulometría de las Sub-bases Granulares. _____	119
Tabla 3.2: Recomendaciones para uso de material de base. _____	121
Tabla 3.3: Porcentaje en peso que pasa a través de tamices de malla cuadrada para Sub-Base Clase 1. _____	121
Tabla 3.4: Porcentaje en peso que pasa a través de tamices de malla cuadrada para Sub-Base Clase 2. _____	122
Tabla 3.5: Factor de Distribución por Carril _____	127
Tabla 3.6: Resumen de los valores CBR obtenidos en el laboratorio de ensayos. ____	131
Tabla 3.7: Resumen de los valores K de acuerdo a los CBR obtenidos en el laboratorio de ensayos. _____	132
Tabla 3.8: El TPDAo obtenida del Censo. _____	133
Tabla 3.9: Niveles de confiabilidad aconsejados por AASHTO. _____	134
Tabla 3.10: Desviación Estándar. _____	134
Tabla 3.11: Recomendaciones AASHTO 93 para el período de Análisis. _____	136
Tabla 3.12: Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA. _____	138
Tabla 3.13: Valores de Distribución de Trafico por sentido de Circulación. _____	140
Tabla 3.14: Coeficientes de Drenaje. _____	150
Tabla 3.15: Resumen de los resultados de los números estructurales. _____	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación General del Proyecto _____	5
Figura 1.2: Tomado de Norma para Diseño Vial, Volumen 2 Libro A. _____	6
Figura 1.3: Representación gráfica de espesores de estructura de pavimento de la vía Ambato– El Arenal _____	9
Figura 1.4: Fisuración piel de cocodrilo _____	14
Figura 1.5 : Fisuración en bloque _____	15
Figura 1.6: Fisuración longitudinal _____	16
Figura 1.7: Fallas por corte _____	16
Figura 1.8: Ahuellamiento _____	18
Figura 1.9: Corrimiento _____	19
Figura 1.10: Corrugación _____	19
Figura 1.11: Hinchamiento _____	20
Figura 1.12: Humdimiento _____	21
Figura 1.13: Bache _____	22
Figura 1.14 _____	23
Figura 1.15: Desintegración de bordes _____	24
Figura 2.1: Categorías de Reciclado en Frío _____	28
Figura 2.2. _____	33
Figura 2.3 _____	33
Figura 2.4 _____	33
Figura 2.5 _____	34
Figura 2.6: Máquina recicladora del CEE, tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000). _____	36
Figura 2.7: Toma de muestra alterada del tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000) . _____	36
Figura 2.8: Muestra inalterada, tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000) _____	37
Figura 2.9: Equipo y Material para Ensayo de granulometría _____	39
Figura 2.10: Mezcla del Material. _____	40

Figura 2.11: División del Material.	40
Figura 2.12: Peso del Material	40
Figura 2.13: Material al Horno	41
Figura 2.14: Contenido de Humedad	41
Figura 2.15: Granulometría del Material	41
Figura 2.16: Peso del Material	42
Figura 2.17: Cálculo del Porcentaje Retenido	42
Figura 2.18: Curva Granulométrica Material Reciclado	44
Figura 2.19: Curva Granulométrica Material Reciclado	46
Figura 2.20: Curva Granulométrica del Material de Base	48
Figura 2.21: Curva Granulométrica del Material de Base	50
Figura 2.22: Curva Granulométrica Material de la Mina Colorado	52
Figura 2.23: Curva Granulométrica Material de la Mina Colorado	54
Figura 2.24: Muestra para el ensayo	55
Figura 2.25: Tamices	55
Figura 2.26: Balanza de precisión	56
Figura 2.27: Horno de secado	56
Figura 2.28: Máquina de Los Ángeles	56
Figura 2.29: Bolas de acero	57
Figura 2.30: Bandeja Metálica	57
Figura 2.31: Preparación de la muestra	57
Figura 2.32: Granulometría de la muestra	58
Figura 2.33: Secado de la muestra	58
Figura 2.34: Enfriar la muestra	58
Figura 2.35: Muestra modificada	59
Figura 2.36: Colocación del material y bolas de acero	59
Figura 2.37: Colocación del árido en la bandeja	60
Figura 2.38: Retirar las bolas de acero	60

Figura 2.39: Desgaste del Material	61
Figura 2.40: Tamíz No 40	66
Figura 2.41: Acanalador	66
Figura 2.42: Aparato Casa Grande	66
Figura 2.43: Horno de secado	67
Figura 2.44: Balanza de precisión	67
Figura 2.45: Recipientes metálicos	67
Figura 2.46: Pera de caucho	68
Figura 2.47: Espátula	68
Figura 2.48: Tamizado de la muestra	69
Figura 2.49: Mezclado de la muestra	69
Figura 2.50: Colocación de la muestra en la copa	70
Figura 2.51: Realización de un canal en el suelo	70
Figura 2.52: Determinación del Contenido de Humedad	71
Figura 2.53: Secado del suelo	72
Figura 2.54: Rodar la muestra del suelo	72
Figura 2.55: Rollo de suelo desmenuzado	72
Figura 2.56: Determinación del Contenido de Humedad	73
Figura 2.57: Determinación del límite y matriz	74
Figura 2.58: Determinación del límite y matriz	75
Figura 2.59: Determinación del límite y matriz	76
Figura 2.60: Molde cilíndrico	77
Figura 2.61: Martillo de compactación	78
Figura 2.62: Recipiente metálico	78
Figura 2.63: Tamíz para homogenizar	79
Figura 2.64: Probeta de medición	79
Figura 2.65: Balanza hasta 12000gr	79
Figura 2.66: Martillo de goma	80

Figura 2.67: Paleta metálica _____	80
Figura 2.68: Enrazador metálico _____	80
Figura 2.69: Horno de secado _____	81
Figura 2.70: Pesar el molde _____	81
Figura 2.71: Volumen del molde _____	81
Figura 2.72: Muestra de 7000gr. _____	82
Figura 2.73: Colocación del agua y homogenizar _____	82
Figura 2.74: Compactación de la muestra _____	82
Figura 2.75: Enrazado v pesado de la muestra _____	83
Figura 2.76: Pesar la muestra húmeda _____	83
Figura 2.77: Determinación del Contenido de Húmedad _____	83
Figura 2.78: Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima __	85
Figura 2.79: Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima __	87
Figura 2.80: Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima __	89
Figura 2.81: Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima __	91
Figura 2.82: Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima __	93
Figura 2.83: Molde cilíndrico _____	94
Figura 2.84: Martillo de compactación _____	94
Figura 2.85: Recipiente metálico _____	95
Figura 2.86: Tamíz metálico _____	95
Figura 2.87: Probeta y pera de caucho _____	95
Figura 2.88: Probeta y pera de caucho _____	96
Figura 2.89: Mazo de goma _____	96
Figura 2.90: Paleta metálica _____	96
Figura 2.91: Enrazador metálico _____	97
Figura 2.92: Horno de secado _____	97
Figura 2.93: Dial y pesas falsas _____	97
Figura 2.94: Medidor de esponjamiento _____	98

Figura 2.95: Aparato para prueba de penetración	98
Figura 2.96: Peso del molde y diámetro	98
Figura 2.97: Peso de la muestra	99
Figura 2.98: Agregar agua	99
Figura 2.99: Moldear la muestra	100
Figura 2.100: Enrasar el molde	100
Figura 2.101: Peso de la muestra moldeada	100
Figura 2.102: Colocación pesa falsa y medidor de esponjamiento	101
Figura 2.103: Colocación del molde en la piscina	101
Figura 2.104: Medición de los esponjamientos	102
Figura 2.105: Ensayo CBR	102
Figura 2.106: Gráfico presión vs penetración.	106
Figura 2.107: Gráfico Densidad vs CBR	106
Figura 2.108: Gráfico presión vs penetración.	111
Figura 2.109: Gráfico Densidad vs CBR	111
Figura 2.110: Gráfico presión vs penetración.	116
Figura 1.111: Gráfico Densidad vs CBR	116
Figura 3.1: Pavimento Flexible y Rígido	124
Figura 3.2: Tránsito Fijo.	125
Figura 3.3: Tendido de Pavimento Flexible.	129
Figura 3.4: Ensayo Vial AASHTO.	130
Figura 3.5: Grafico Módulo de reacción vs CBR	132
Figura 3.6: Tomado de Norma para Diseño Vial, Volumen 2 Libro A	138
Figura 3.7: Número de Ejes que se representan en planta del camión tipo de cálculo.	139
Figura 3.8: Diseño Elástico del Pavimento Flexible	141
Figura 3.9: Diseño Propuesto de la Estructura	147
Figura 3.10: Método de Cálculo del Número estructural para Material Reciclado	153
Figura 3.11: Método de Cálculo del Número estructural para Base	153

Figura 3.12: Cálculo del Número Estructural de la Carpeta Asfáltica.	154
Figura 3.13: Cálculo del Número Estructural del Material Reciclado	154
Figura 3.14: Cálculo del Número Estructural de la Base	155
Figura 3.15: Resultados de los cálculos efectuados.	157

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO "A"	160
ANEXO "B"	169
ANEXO "C"	177
ANEXO "D"	184
ANEXO "E"	195
ANEXO "F"	204
ANEXO " G "	217
ANEXO "H"	230
ANEXO "I"	243

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La actual vía Ambato – Arenal cuenta con diseños horizontales y verticales, respetando las diferentes normas del MTOP, y el presente documento se basa de acuerdo a la norma NEVI-12, propuesta por el Ministerio de Transportes y Obras Públicas en el año 2013.

Las longitudes en el presente documento y planos se expresaran en metros (m), centímetros (cm) o milímetros (mm), debiendo cada cifra estar acompañada de la unidad que le corresponda.

A partir de la fecha de entrada en vigencia del documento NEVI-12, se abandona el concepto de Kilometraje y su unidad el Kilómetro, reemplazándolas por el concepto de Distancia Acumulada y su notación en los diseños para vías en el Ecuador anteponiendo " Dm " (Abscisa), como se indica en el siguiente ejemplo: (Nevi12-MTOP,2013)

- Km 252,324,843 (Notación Antigua)
- Dm 252.324,843 (Nueva Notación)
- Km 252+324,843 (Abscisa)

La infraestructura vial incide en la economía de un país y se constituye en un factor de importancia dentro de la Región del País y es necesario que para su construcción se

tomen en cuenta todos los parámetros que pueden incidir favorable o desfavorablemente en la ejecución del proyecto.

Dentro del contexto del diseño de pavimentos se acepta que el dimensionamiento de estas estructuras permite que se establezcan las características de los materiales de las capas del pavimento y los espesores, de tal forma que el pavimento mantenga un nivel de servicio aceptable.

La tendencia actual en el tratamiento de residuos es el aprovechamiento máximo de sus recursos mediante su reutilización, antes de su vertido y eliminación, todo ello con el objetivo de cuidar el medio ambiente, para evitar la masificación de los vertederos y contribuir a la disminución en el uso de materias primas naturales.

Lo habitual es relacionar estos conceptos con los residuos sólidos urbanos, ya que son los que mayor presencia tienen en la sociedad; plásticos, vidrio, papel, materia orgánica, etc., pero estos conceptos se extienden hoy en día a muchos residuos de los que se puede sacar partido y reutilizarlos. Las posibilidades que tiene el reciclado son muy amplias, tal es el caso del reciclaje de pavimentos asfálticos, que actualmente es una tendencia en alza para la rehabilitación de carreteras. Esta tesis refleja lo que pasa en el mundo y en el país con los reciclados de pavimentos, haciendo hincapié en los reciclados en frío.

Un pavimento asfáltico sometido al paso de vehículos sufre deformaciones en las capas que conforman su paquete estructural. La superficie de rodadura al tener menos rigidez se deforma más y se producen mayores tensiones en la sub-rasante. Estos esfuerzos generan microfisuras, que con el paso del tiempo, se transforman en fracturas en todo el espesor del pavimento, debilitan su estructura, y permiten el paso del agua a

las capas inferiores, afectando su capacidad de soporte y provocando deformaciones permanentes.

Como consecuencia de todo lo dicho, el pavimento deja de cumplir adecuadamente su función y existe una gran cantidad de fallas que pueden presentarse a lo largo de su vida en servicio, las mismas que pueden ser: fallas superficiales localizadas, las cuales repercuten en la calidad del servicio prestado a los usuarios; como: la adherencia, la regularidad, el drenaje superficial, etc. y estas fallas se deben al tráfico vehicular, al envejecimiento del pavimento, a los agentes atmosféricos, al empleo de materiales inadecuados con una mala ejecución.

Además de los mencionados, existen otros deterioros que pueden afectar la capacidad estructural del pavimento, presentándose ellos en forma de fisuras o deformaciones permanentes que afectan a más de una capa de la estructura, requiriendo para ello de una rehabilitación más profunda.

Dentro de los términos de referencia para la ejecución de los estudios de factibilidad consta la ejecución del Diagnóstico Socio-Económico que permita conocer los aspectos sobresalientes relacionados con las características físicas, sociales y económicas del tramo en estudio.

El reciclaje es un factor de suma importancia para el cuidado del medio ambiente debido a la disminución de material extraído de canteras, procesamiento de materiales y disminución de emisiones de gases , etc, es un proceso en la cual partes o elementos llegaron al final de su vida útil y pueden ser usados nuevamente.

En una visión ecológica del mundo, entre diversas medidas para la conservación de los recursos naturales de la Tierra, el reciclaje es la tercera y última medida en el objetivo de la disminución de residuos.

El principal problema es la falta de educación de la sociedad que no entiende lo que le está pasando al planeta, especialmente en lo que se refiere a los recursos naturales.

1.2 Ubicación general del proyecto

El proyecto se encuentra localizado en las provincias de Tungurahua y Bolívar, de acuerdo a la División Político-Administrativa de la República del Ecuador, actualizada al 31 de diciembre del 2009 oficializada por el INEC, la vía en estudio atraviesa en sentido norte-sur por el territorio de las siguientes jurisdicciones, en su orden tomando como punto de partida la ciudad de Ambato:

La ubicación del proyecto en el contexto general se presenta en la figura 1.1, geográficamente el proyecto se localiza entre: 1° y 2° de Latitud Sur y, entre los 78° y 79° de Longitud Oeste.

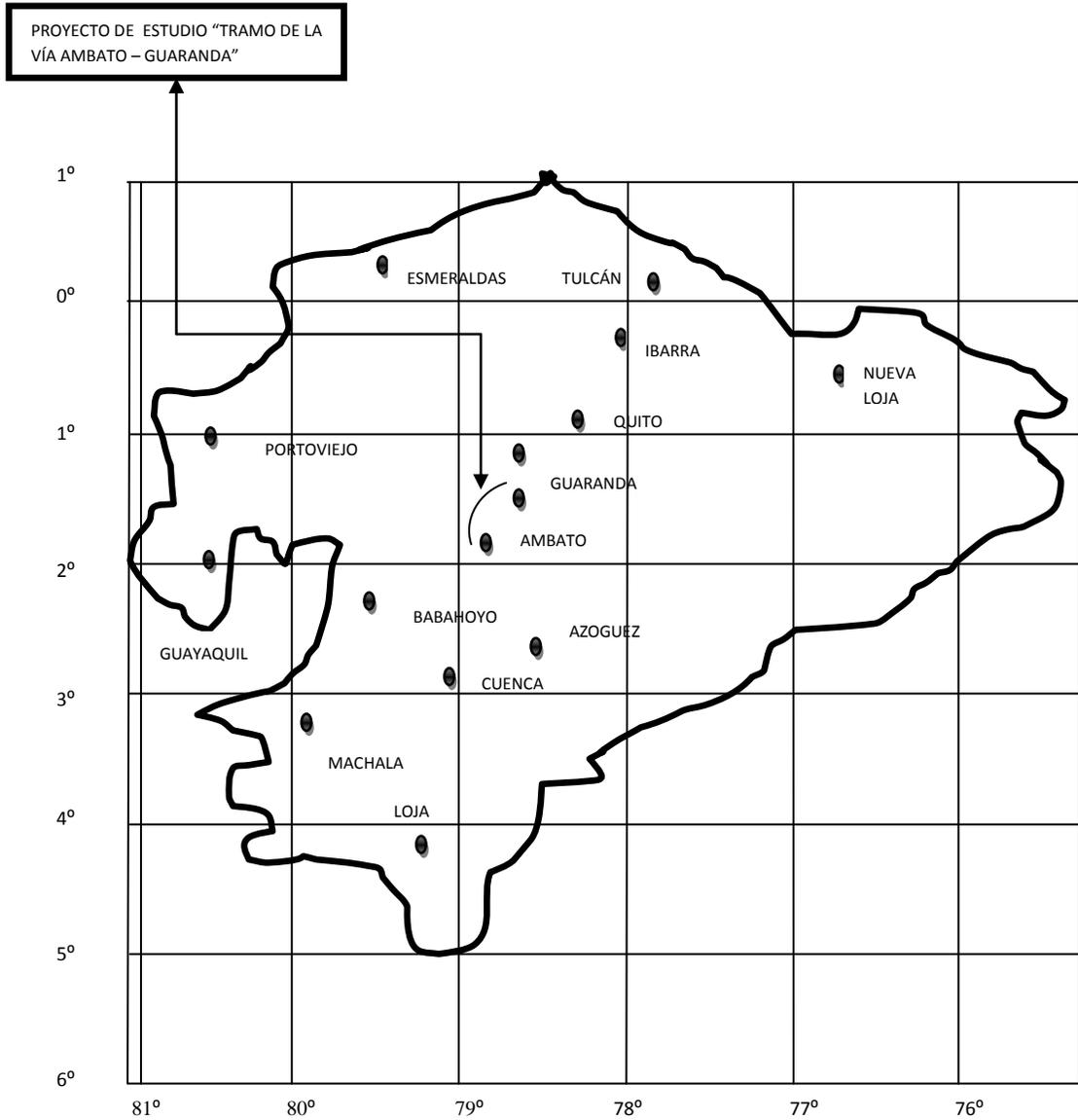


Figura 1.1: Ubicación General del Proyecto

1.3 Ubicación del tramo a estudiar

El proyecto se encuentra localizado en las provincias de Tungurahua y Bolívar, en el tramo vial, Ambato – Guaranda, específicamente en el sector de Yatzapuzán, comprendido desde el (Dm 34.000 al Dm 35.000).

El proyecto es la rehabilitación mediante la técnica del reciclado en frío de una calzada de 2 carriles de 3,65m uno por sentido, incluyendo espaldones pavimentados de 1,0m de ancho, se considera como un Camino Básico de acuerdo a la Norma NEVI 12, ver Figura 1.2. (Nevi12-MTOP, 2013)

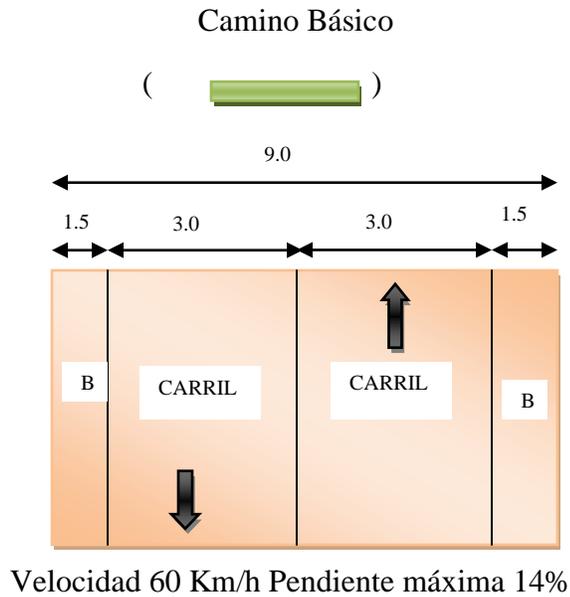


Figura 1.2: Tomado de Norma para Diseño Vial, Volumen 2 Libro A.

1.4 Justificación del Proyecto.

Las condiciones y capacidad del tramo a estudiar, técnicamente se encuentran limitadas implicando molestias y riesgos a los usuarios.

Los factores que evidencian estas limitaciones son:

- Trazado vertical y horizontal en algunos puntos
- Drenaje deficiente en la conducción de aguas lluvia que se evidencia en los rasgos de erosión por no tener una estructura de evacuación.

- Capa de rodadura con rápido deterioro por las condiciones climáticas y de humedad
- Falta de señalización tanto horizontal como vertical que influye directamente en la circulación vehicular así como en la seguridad.

Estas limitaciones que ofrece a la circulación vehicular, contrasta con el mandato constitucional (Art. 394), que menciona que el Estado garantiza “la organización, planificación, fomento, regulación, modernización y control del transporte terrestre, tránsito y seguridad vial, con el fin de proteger a las personas y bienes que se trasladan de un lugar a otro por la red vial del territorio ecuatoriano, y a las personas y lugares expuestos a las contingencias de dicho desplazamiento, contribuyendo al desarrollo socio-económico del país en aras de lograr el bienestar general de los ciudadanos”.

En los últimos años las rutas ecuatorianas, en su gran mayoría han sido concesionadas y como consecuencia de ello las administraciones tomaron conciencia sobre la importancia de alargar el ciclo de vida útil de los pavimentos, por eso se realizan periódicamente rehabilitaciones y refuerzos utilizando agregados nuevos y asfaltos.

1.5 Proceso del Reciclado en Frío y sus Ventajas

La capa asfáltica debe ser incorporada mediante procesos de reciclado sin emulsiones a la capa granular subyacente en tal forma de tener una capa reciclada en un espesor al menos de 20 cm., y debe ser compactada y reconvertida de acuerdo a las alineaciones del diseño vertical y sección típica adoptada, adicionando nuevo material granular, para lograr cumplir las especificaciones granulométricas, luego se coloca la nueva capa de base granular y por último la capa asfáltica.

Esto presenta un gran reto para los técnicos, que tienen que conservar un gran patrimonio vial con recursos financieros siempre escasos, buscando soluciones técnicas innovadoras, alternativas a las tradicionales, que permitan aprovechar los recursos de una manera más eficiente.

El reciclado es una de ellas y las ventajas que ofrecen los Reciclados en Frío se pueden señalar:

- Un ahorro de agregados y de ligantes
- Es una técnica respetuosa con el medio ambiente
- Es un procedimiento de bajo costo
- No alteran el perfil geométrico de la calzada

El empleo de esta técnica conoce un incesante crecimiento al que no son ajenos los problemas actuales de contaminación medioambiental y escasez de materiales. De las ventajas citadas anteriormente es necesario señalar que las tres últimas son específicas de los Reciclados en Frío.

Por ello los Reciclados en Frío se revelan como un procedimiento tradicional capaz de hacer frente a problemas actuales.

1.6 Vía existente por tramos

La exploración geotécnica se ejecutó por medio de apiques (representa una abertura en el suelo de manera general y los análisis a realizar pueden cambiar dependiendo de lo que se encuentre en los estratos del suelo), para medir los espesores de la estructura del

pavimento, y cada Dm para realizar ensayos con cono dinámico (Es un método no destructivo capaz de medir la capacidad estructural in situ del suelo de fundación).

En la Tabla 1.1 se resume los espesores por cada sección homogénea y en la Figura 1.3 se indican los espesores de la estructura de pavimento de la vía.

Tabla 1.1: Resumen de espesores de estructura del pavimento

SECTOR	DESDE Dm	HASTA Dm	ESPESORES (m)			Deflexión (μ m) Base Prom+2*STD
			Capa Asfáltica	Base Granular	Sub Granular	
El Arenal	61.300	48.300	0,12	0,10	0,28	1007,47
	48.300	37.300	0,05	0,22	0,16	2067,87
	37.300	30.400	0,05	0,20	0,25	1849,24
	30.400	17.250	0,04	0,16	0,25	1285,4
Ambato	17.250	0.000	0,08	0,14	0,20	1041,03

Deflexión obtenida mediante el empleo de la viga Bekelman, proporcionado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

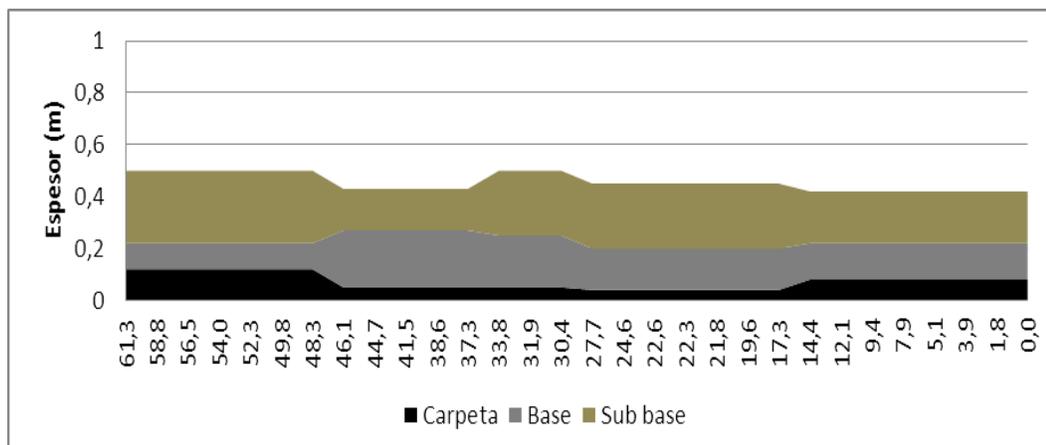


Figura 1.3: Representación gráfica de espesores de estructura de pavimento de la vía Ambato- El Arenal

El proyecto tiene: 5 cm de carpeta asfáltica; 20 cm de base granular; y 25 cm de sub-base granular. Estos espesores seguramente ya no serán suficientes para soportar el

tráfico en los próximos 20 años, debido a que existe un aumento vehicular y, porque es una vía transitada por vehículos de transporte pesado que provienen de diferentes vías de acceso a través de las rutas:

- Quito-Latacunga-Ambato-Guaranda
- Ambato-Guaranda-Babahoyo-Durán-Guayaquil.
- Ambato-El Arenal-Riobamba-Azogues-Cuenca
- Carreteras secundarias y caminos, que unen la mayor parte de los centros poblados que se encuentran a lo largo de la vía.

1.7 El Estado de Serviciabilidad

Esta obra traerá beneficios para los usuarios de la misma al mejorar las condiciones de serviciabilidad facilitando el transporte y la movilización de personas y carga.

Los impactos en principio será la resistencia de la población a las afectaciones sobre el componente físico-espacial.

Sin embargo, existen aspectos que hacen contrapeso, así durante la etapa constructiva habrán impactos positivos generados por el proyecto, como la creación de empleo para la mano de obra local no calificada, así como también el fomento del comercio de bienes y servicios necesarios durante la ejecución de las actividades de la evaluación y rehabilitación de la vía.

La Serviciabilidad de un pavimento está definida como la habilidad de servicio del pavimento medida por índice de Serviciabilidad Presente PSI, determinado actualmente en base a mediciones de rugosidad.

El valor de la rugosidad también se utiliza para el cálculo del Índice de Servicio Presente (PSI), sistema desarrollado por la Asociación de Transportes y Carreteras del Canadá y posteriormente modificado por el Instituto del Asfalto que permite evaluar la condición del camino en una escala de 0 a 5.

El rugosímetro “BumpIntegratorUnit” (BI), es un instrumento que mide la rugosidad mediante el registro del desplazamiento del eje posterior de un vehículo a medida que este transita por la vía. Para una medición exacta de la rugosidad con este instrumento, es necesario efectuar una calibración que permita transformar las lecturas del rugosímetro (conteos/km) en unidades estándar de rugosidad, es decir, m/km.

En la Tabla 1.2 se presenta el resumen de las características de la rugosidad, para la vía Ambato – El Arenal, en los dos sentidos. (Información proporcionada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército).

Tabla 1.2 : Resumen de las características de la Rugosidad

AMBATO – ARENAL

No. TRAMO	ABCSISAS	DISTANCIA (KM)	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	RUGOSIDAD
TRAMO 1	0.000 – 47.350	47.35	4.366	0.921	5.287
TRAMO 2	47.350 – 62.200	14.85	2.580	0.424	3.005

ARENAL - AMBATO

No. TRAMO	ABCSISAS	DISTANCIA (KM)	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	RUGOSIDAD
TRAMO 1	0.000 – 47.350	47.35	4.424	1.044	5.467
TRAMO 2	47.350 – 62.200	14.85	2.630	0.454	3.084

Podemos concluir que con rugosidades entre 5.4 y 4.3 m/km, representan pavimentos que necesitan rehabilitación, como se muestra en la tabla 1.2 de las características de la rugosidad del tramo 1.

Los cálculos demuestran que la vía tiene una rugosidad alta en el tramo 1, entre el km 0 y km 47.350 y moderada entre el km 47.35 y km 62.20.

Los valores recomendados en la literatura del modelo de cálculo de la AASHTO 1993, indican que se debe tomar 4.2 como PSI inicial y 2.5 como PSI final. (Vásquez, 1998)

La Confiabilidad es un concepto que toma en cuenta la posible variación del tráfico en el período de diseño y por lo tanto prevé un determinado nivel de aseguramiento de la estructura de pavimento a estos posibles cambios. A este factor en la Metodología de la AASHO se le denomina ZR.

El valor ZR varía de acuerdo al grado de confiabilidad R, como se indica en la Tabla 1.3:

Tabla 1.3: Valores de Confiabilidad

R (%)	ZR	R (%)	ZR
50	0.00	90	-1.282
60	-0.2053	95	-1.645
70	-0.5024	97	-1.881
80	-0.8041	98	-2.054
85	-1.037		

Para el diseño se tomará un % de confiabilidad del 90%, por la importancia de la vía y el alto Número de Ejes Equivalentes a ser considerados en el diseño.

1.8 Daños en pavimentos flexibles

Un pavimento asfáltico sometido al paso de vehículos sufre deformaciones en las capas que conforman su paquete estructural que se transforman en esfuerzos de tracción.

Estos esfuerzos generan microfisuras, que con el paso del tiempo, se transforman en fracturas en todo el espesor del pavimento, debilitan su estructura, y permiten el paso del agua a las capas inferiores, afectando su capacidad soporte y provocando deformaciones permanentes. Como consecuencia de todo lo dicho, el pavimento deja de cumplir adecuadamente su función. Existen una gran cantidad de fallas que pueden presentarse a lo largo de su vida en servicio. Entre éstas podemos mencionar: las fallas superficiales localizadas, las cuales repercuten en la calidad del servicio prestado a los usuarios; algunos de ellos pueden ser: la adherencia, la regularidad, el drenaje superficial, etc.

Estas fallas se deben a la abrasividad del tráfico, al envejecimiento del pavimento, a los agentes atmosféricos, al empleo de materiales inadecuados o a una mala ejecución.

Además de los mencionados, existen otros deterioros que pueden afectar la capacidad estructural del pavimento, presentándose ellos en forma de fisuras o deformaciones permanentes que afectan a más de una capa de la estructura, requiriendo para ello de una rehabilitación más profunda, incluyendo en ella al fresado de parte del pavimento. Algunos de las fallas más comunes, son los siguientes:

Fisuración piel de cocodrilo

Las grietas de piel de cocodrilo, son grietas interconectadas que forman una serie de pequeños bloques en el pavimento, semejando a la piel de cocodrilo o tela de gallinero, la causa usual es la deflexión en la carpeta provocada por cargas excesivas sobre una base, sub-base o sub-rasante inestables, la cual puede deberse a que dichos materiales se encuentren saturados o sean de espesor insuficiente para soportar las cargas.

Se trata de un agrietamiento sobre la superficie de rodadura, o sobre una parte de ella, la cual adquiere el aspecto de la Figura 1.4.

Esta falla se origina por fatiga debido a pavimentos de bases débiles y a la mala compactación cuando se ejecutan las pasadas del rodillo.

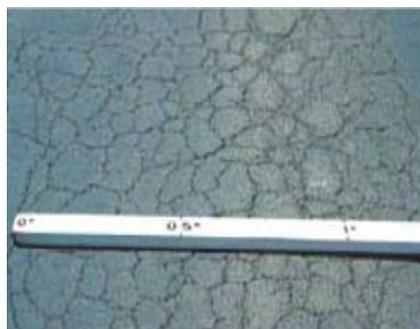


Figura 1.4: Fisuración piel de cocodrilo

Es esencial determinar si se trata de un fenómeno evolutivo, en general si son procesos de envejecimiento o fatiga progresan muy lentamente, en cambio por la deficiencia estructural o por exceso de agua en la base, las evoluciones son muy rápidas.

Fisuración en bloque

Esta falla es similar al de piel de cocodrilo, pero con una apertura de malla más amplia, formando bloques de 25 por 25 centímetros, como se aprecia en la Figura 1.5.



Figura 1.5 : Fisuración en bloque

La fisuración en forma de malla puede producirse por falta de adherencia de la capa superior de la mezcla asfáltica, o por un dimensionamiento insuficiente del paquete estructural

Fisuración longitudinal

Este tipo de fisuras aparece en formas de grietas longitudinales de aproximadamente 0.5 cm, generalmente en correspondencia con la huella del transporte de carga. Estas fisuras se deben a movimientos que ocurren dentro del paquete estructural y en dirección horizontal como consecuencia de congelamiento y deshielo o cambios volumétricos en las capas de base debido a la humedad. También pueden aparecer fisuras longitudinales si se produce un asentamiento en el terreno subyacente.

En la zona de rodaduras, las fisuras se pueden producir por falta de capacidad portante del pavimento, previo a una fisuración más general, como se observa en la

Figura 1.6. Las fisuras longitudinales se ramifican desde la principal, formando fisuras secundarias, y con pérdida de material alrededor de las mismas.



Figura 1.6: Fisuración longitudinal

Fallas por corte

Se producen cuando en la base y sub- base, la resistencia al corte es deficiente. Esto se traduce a una deformación, la cual excede en algo el ancho del neumático, y aumenta con la profundidad del defecto.

También se produce elevación del material de rodadura, a ambos lados del surco, ver Figura 1.7.



Figura 1.7: Fallas por corte

Fallas por presencia de agua en el pavimento

En zonas de acumulación de nieve en las carreteras durante el invierno, luego en primavera se produce el deshielo, lo cual genera una acumulación de agua en las mismas; también en zonas muy lluviosas o, por falta de drenaje en algunos pavimentos.

El exceso de agua provoca debilitamiento de las capas del pavimento, movimiento en dichas capas, y pérdida de cohesión en la mezcla bituminosa.

Todo ello degrada la capa de rodadura, con el objeto de brindarles un mejor servicio a los usuarios de las vías de comunicación, a continuación se enumeran las técnicas de conservación y de rehabilitación usadas para cumplir con ése fin:

- Bacheos.
- Saneamiento de blandones. (Los blandones son asientos localizados de la superficie de la calzada, y la causa más común es la presencia de agua).
- Sellado de grietas y juntas.
- Fresados localizados.
- Limpieza de pavimentos drenantes.
- Eliminación de exudaciones.

Deformaciones superficiales

Ahuellamiento

Se debe al aumento de compacidad de las capas granulares (base y sub-base), a una carga excesiva, a cargas repetidas, o a la rotura de las partículas. En general el ancho del ahuellamiento excede al del neumático, y es aún mayor cuanto más profundo se localiza

el descenso, ver Figura 1.8.

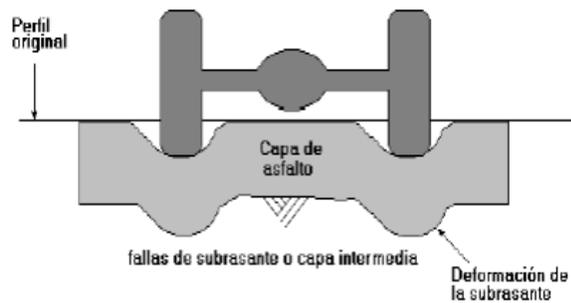


Figura 1.8: Ahuellamiento

Corrimiento

Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando cordones principalmente laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera. Típicamente puede identificarse a través de la señalización horizontal del pavimento, observando demarcación de los carriles, por efecto de corrimiento.

Los desplazamientos son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral.

La inadecuada ejecución del riego de liga o subyacente, originando mayor posibilidad de corrimiento, ver Figura 1.9.



Figura 1.9: Corrimiento

Corrugación

Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1 m entre ellas, a lo largo del pavimento.

Este tipo de falla es ocasionado por la acción del tránsito sobre las capas superficiales (carpeta o base del pavimento), ver Figura 1.10.



Figura 1.10: Corrugación

Hinchamiento

Este levantamiento es debido a la saturación de agua en la sub-rasante o de alguna otra capa de la estructura del pavimento, estos hinchamientos generalmente son suelos

expansivos que al penetrar la humedad tiende a levantarse el área afectada y para repararlos se procede a efectuar un bacheo profundo.

Estos hinchamientos que con el tiempo pasan a ser baches o un deterioro total del pavimento, casi siempre se presentan en zonas de corte. Además la penetración de humedad sucede, porque al cortar el terreno cambia el nivel freático del agua y el flujo de agua siempre tenderá a aflorar por el talud de corte y a esto se agrega las fuerzas de filtración que es lo que produce las expansiones volumétricas, ver Figura 1.11.



Figura 1.11: Hinchamiento

Hundimiento

Son áreas de tamaño reducido, acompañados o no de agrietamientos, los hundimientos generalmente penetran por debajo de la rasante, provocando estancamiento del agua, los mismos que son un peligro para los usuarios aparte del deterioro del pavimento.

Las causas posibles del hundimiento es un tránsito más pesado para el que fue diseñado el pavimento o por deficiente construcción.

La reparación consiste en delimitar perfectamente la zona hundida marcándola sobre la superficie del pavimento, se rebaja un poca el área a fin de obtener un mejor amarre, se limpia el área abarcando unos 30 cm. más allá de los límites marcados y se aplica un ligero riego de liga de 0,25-0,70 lts/m², ver Figura 1.12.



Figura 1.12: Humdimiento

Desintegración del pavimento

Las desintegraciones son la rotura en pequeños fragmentos sueltos del pavimento y la disgregación de las partículas del agregado. Si este proceso de desintegración no se detiene a tiempo va progresando hasta generalizarse en todo el pavimento y se necesita una reconstrucción total, no sólo de la carpeta, sino de todo el pavimento.

Los tipos más comunes son los baches y el desmoronamiento de los bordes y los métodos de reparación pueden ser desde un taponamiento hasta un bacheo profundo.

Bache

Son cavidades de tamaños y formas diferentes que se producen en un pavimento debido a una desintegración localizada y los baches son causados en zonas débiles del pavimento, esto es por falta de asfalto, falta de espesores, demasiados finos, drenaje deficiente, etc.

Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas.

La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache, ver Figura 1.13.



Figura 1.13: Bache

Peladura

Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.

Esta anomalía es indicativa que el ligante se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades ligantes, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de ligante insuficiente, empleo de agregados

sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos; frecuentemente se presenta como un desprendimiento de agregados en forma de estrías longitudinales, paralelas a la dirección del riego.

El desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial), ver Figura 1.14.



Figura 1.14: Peladura

Desintegración de bordes

Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito. Se hace particularmente manifiesto en pistas con hombros no pavimentados, en las que existe una significativa porción de vehículos que acceden del hombro al pavimento o en el sentido contrario.

La causa primaria es la acción localizada del tránsito, tanto por su efecto abrasivo como por el poder destructivo de las cargas, sobre el extremo del pavimento donde la

debilidad de la estructura es mayor debido al menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, etc.

La presencia de arenas angulosas sueltas, muy próximas a la pista, hace que aumente la abrasión de las llantas que ascienden y descienden del pavimento, provocando peladuras severas que pueden conducir a la desintegración, ver Figura 1.15.



Figura 1.15: Desintegración de bordes

Las tareas de conservación, deben cumplir con dos objetivos generales:

- 1- Asegurar que los costos globales de transporte sean los menores posibles.
- 2- Preservar el valor patrimonial de las carreteras.

La conservación y rehabilitación de pavimentos se dirigen a tres objetivos particulares:

- 1- Mantener una resistencia al deslizamiento, que le otorgue seguridad a los usuarios.
- 2- Conservar una regularidad superficial, que le otorgue a la vía una cómoda circulación, para las velocidades de recorrido que fue diseñada.
- 3- Asegurar una resistencia estructural suficiente para el tráfico que ha de soportar la carretera.

Dentro de lo que es la conservación, se pueden distinguir las siguientes tareas:

- 1- La conservación preventiva, que impida la aparición de deterioros.
- 2- La conservación curativa, que actúa lo antes posible sobre lo recién aparecido; a su vez se dirige a deterioros localizados, o a tratar tramos de longitud apreciable.

En un segundo plano de la conservación, se encuentran las rehabilitaciones, las cuales se usan en el caso que se vean afectadas las características iniciales de pavimento, tanto por el paso del tráfico o por las acciones climáticas, o bien cuando se requieren solicitaciones no contempladas anteriormente.

Las rehabilitaciones mediante el reciclado en frío pueden referirse a las características superficiales o, a las características estructurales de la vía. Esta técnica se realiza mediante un refuerzo o crecimiento, que consiste en aumentar sobre el pavimento antiguo, una o varias capas de materiales nuevos, con el fin de mejorar la capacidad estructural.

1.9 Condiciones ambientales

El diseño del pavimento está condicionado de cierta manera a las condiciones ambientales de la zona del proyecto, puesto que las lluvias y los cambios de temperatura afectan a la estructura del pavimento.

Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático, influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de sub-rasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras, la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas.

Con el fin de conocer las condiciones ambientales de la zona de influencia del proyecto fue necesario estudiar las características del clima, altitud, precipitación y temperatura, existentes en dicha zona, como se presenta a continuación.

Altitud

Con respecto a la altitud, el tramo se encuentran ubicado entre la cota 2577m.s.n.m. de la ciudad de Ambato, y 4200m.s.n.m. del sector El Arenal, la parte más alta del proyecto, con abundante neblina, lo cual genera demora en el avance de la obra.

Clima

La información de la temperatura, humedad, velocidad del viento, etc., es necesaria para determinar el tipo de asfalto a utilizar y establecer las recomendaciones necesarias para la colocación adecuada y oportuna de las mezclas asfálticas, para evitar el incremento de costo del proyecto.

Precipitación

La precipitación media anual en Ambato es de 457 mm, y de 1500 mm en el sector de El Arenal, esto sucede más en época de invierno.

Temperatura

El valor medio de la temperatura es de 13°C, las máximas están alrededor de 25°C y las mínimas en 4°C. En el Sector de El Arenal la temperatura máxima esta alrededor de 10°C y la mínima en 0°C, debido a la cercanía del Volcán Chimborazo.

1.10 Objetivo General del Proyecto

Proceso de evaluación y rehabilitación del pavimento flexible mediante la técnica del reciclado en frío, en el tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000) de la vía Ambato – Guaranda, a fin de contar con una vía adecuada y dar seguridad al tráfico y a los usuarios de la

misma.

1.11 Objetivos Específicos del Proyecto

- Metodología para la evaluación del pavimento existente en el tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000) de la vía Ambato – Guaranda.
- Analizar la serviciabilidad y estructura del tramo en estudio.
- Caracterizar el material para la rehabilitación del tramo en análisis.
- Realizar el cálculo y diseño del material reciclado en frío.

Para satisfacer los requerimientos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, se deben realizar diferentes ensayos de laboratorio para el diseño del pavimento, por la necesidad e importancia en la que radica la evaluación y rehabilitación del pavimento flexible mediante la técnica del reciclado en frío.

CAPÍTULO II

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO

2.1 Aplicaciones del reciclado en frío.

El reciclado en frío es una aplicación con múltiples aspectos que puede satisfacer muchas necesidades en el mantenimiento y rehabilitación en la infraestructura vial, dependiendo del material puede ser tratado o no con un agente ligante, se pueden identificar dos categorías de reciclado en frío como se ilustra en la figura 2.1. (Acesa, 1983).

Sin Agente Estabilizador

Con Agente Estabilizador

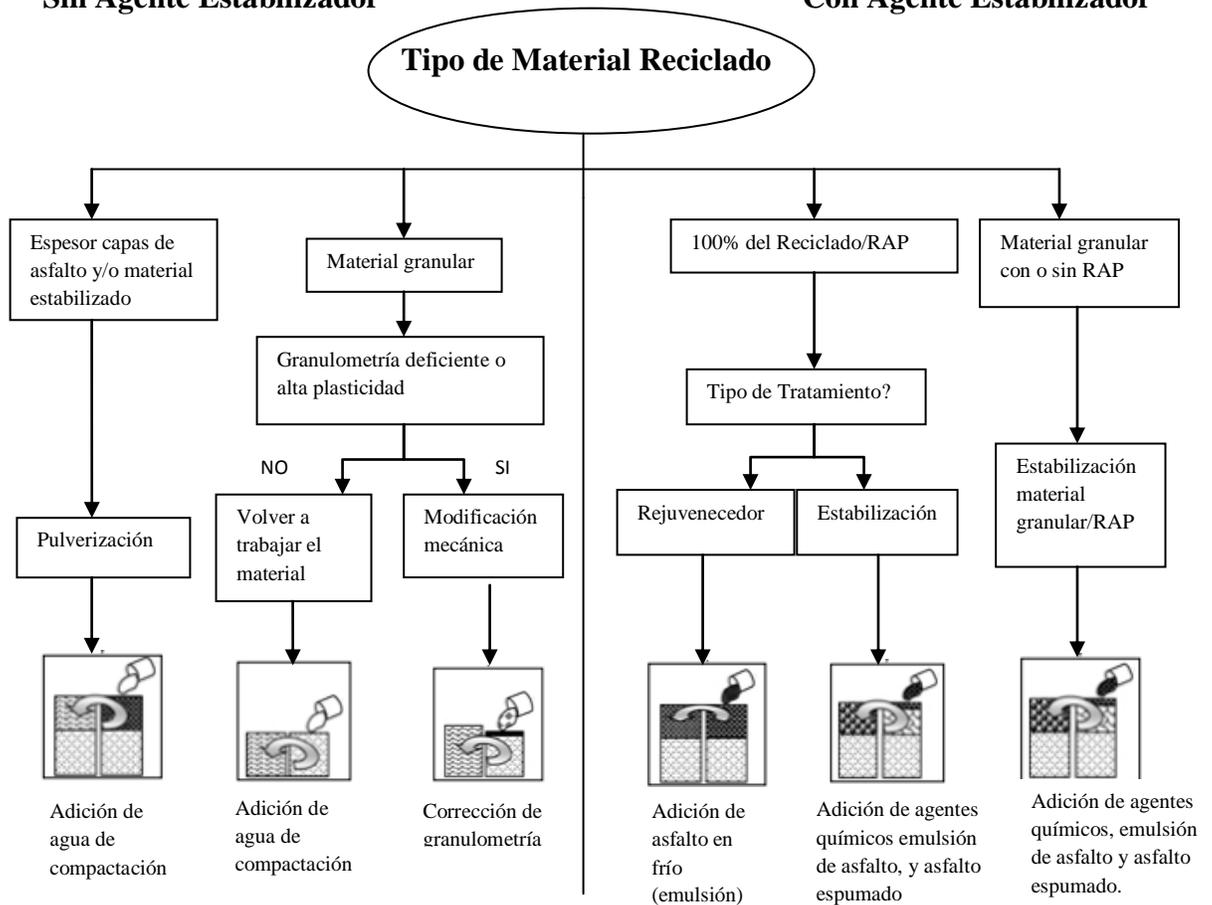


Figura 2.1: Categorías de Reciclado en Frío

El reciclado es una técnica de rehabilitación, consiste en reutilizar los materiales de pavimentos que hayan estado en servicio, materiales que han perdido sus propiedades iniciales o cuyas características se desean mejorar.

Uno de los motivos que impulsó las técnicas de reciclado de asfaltos, fue la crisis de precios del petróleo en los años 70. Esta crisis no sólo hizo subir el precio del asfalto, sino que además surgió el planteamiento de ahorro de energía, empleando las técnicas de reciclado o sustitución, los mismos que suponen ahorros económicos de hasta un 25%, aproximadamente, 7.000 toneladas de agregado por kilómetro.

En España, entre los años 1990 y 1998, se han reciclado casi cinco millones de metros cuadrados de pavimento, usando principalmente la técnica de reciclado in situ en frío.

En Holanda, que es un líder en ésta área, casi el 60% del asfalto producido contiene un porcentaje importante de materiales reciclados.

En Francia y en Italia, el reciclado está en su primera etapa, y está sufriendo desarrollos muy importantes. En Francia actualmente, el reciclado “in situ” es casi inexistente, se sigue una tendencia de agregar un 10% del reciclado en plantas de asfalto en caliente, lo cual permite evitar estudios complejos, en cambio en Italia, el reciclado en planta está en fases de desarrollo y el valor medio de reciclado en estos dos países, es del orden del 5%.

Los primeros desarrollos se remontan a los años 80 en los Estados Unidos (Oregon, Indiana), Canadá (Ontario) y en Europa (Francia, Italia y Alemania).

2.2 Reciclado del 100%.

Esta categoría cubre exclusivamente el reciclado de material (100% del pavimento asfáltico reciclado), y requiere considerar los siguientes factores:

- Naturaleza y composición del pavimento existente (por ejemplo, tipo de mezcla asfáltica, granulometría, contenido de asfalto, envejecimiento, etc.).
- Tipo y causas del deterioro (por ejemplo, agrietamiento o deformación permanente).
- Severidad del deterioro (por ejemplo, deterioro profundo).
- Objetivo de la rehabilitación (por ejemplo, restauración de la integridad estructural).

2.3 Estabilización con RAP/Base Granular para el mejoramiento del material reciclado.

Esta categoría de reciclado es típicamente aplicada como una medida para tratar estructuras de pavimentos deteriorados compuestos por bases granulares y superficies asfálticas delgadas, constituidas tanto por concreto asfáltico como por varias capas de sellos superficiales.

El deterioro en este tipo de pavimento generalmente se manifiesta como capas asfálticas severamente agrietadas, capas granulares deformadas, y baches. El objetivo de añadir agentes estabilizadores mientras se recicla es recuperar la integridad estructural mediante el mejoramiento de las propiedades de ingeniería de los materiales recuperados al mismo tiempo que es posible alcanzar una calidad de rodado óptima.

La estabilización granular/RAP puede ser efectuada mediante el reciclado a distintas profundidades, generalmente a 150mm y a 250mm. Cuando la capacidad estructural necesita ser mejorada para ajustarse a mejores demandas de tráfico, la profundidad del reciclado puede incrementarse, alcanzando un aumento en el nuevo espesor de la capa estabilizada, sin embargo es necesario que el pavimento existente tenga un espesor mínimo de material natural de buena calidad para aplicar esta alternativa.

Cuando la estrategia de rehabilitación de corto plazo es adoptada debido a restricciones presupuestarias, o cuando el deterioro del pavimento es causado por la mala capacidad de soporte de las capas superiores, la profundidad del reciclado debe reducirse, sin embargo debe existir un mejoramiento significativo en la capacidad estructural del pavimento después de la estabilización, y esto se complementa con una

capa superficial de material mejorado sobre la capa reciclada para evitar el ingreso de agua en las capas inferiores mediante la estabilización y también ayudará a extender la vida útil del pavimento reciclado.

2.4 Pulverización

No siempre es necesario adicionar un agente estabilizador cuando se recicla un pavimento existente que contiene capas asfálticas gruesas, en ocasiones las mismas presentan un estado de agrietamiento por fatiga severo, se tratan mejor mediante la pulverización previa de la capa asfáltica completa, posteriormente se compacta este material para crear un material granular reconstruido.

La base asfáltica nueva y las capas superficiales se construyen sobre esta capa asfáltica reconstruida obteniéndose una estructura de pavimento equilibrada. Los pavimentos que incorporan capas deterioradas de base estabilizada también pueden ser tratados en forma efectiva utilizando pulverización, estas capas deterioradas, usualmente exhiben fallas en bloque, las mismas que se producen al comienzo en forma espaciada, pero con el tiempo aumentan su frecuencia en la superficie del pavimento.

Al pulverizar estos materiales, se elimina el potencial riesgo del reflejo de grietas en las capas que se construirán sobre el material pulverizado.

2.5 Análisis e Interpretación de las Fisuras en el pavimento

Conforme a los objetivos trazados para la presente investigación, el tema de la Gestión Vial en las carreteras de segundo orden en el Ecuador, se aplica a la carretera Ambato – Guaranda, sobre la base de los datos obtenidos en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, en los Consejos Provinciales de Tungurahua y Bolívar, además los

recorridos de verificación efectuados por el investigador, la Vía Flores se encuentra en las siguientes condiciones:

Se verificó el estado de deterioro de ciertos tramos (Sin mantenimiento), una atención regular en otros (mantenimiento rutinario y periódico), aunque tardía, en dos más de ellos (reparaciones de consideración por falta de atención oportuna),

En resumen, la calzada de la carretera presenta actualmente las siguientes características, las que reflejan como se dijo anteriormente, el diferente grado de atención al que se han sometido por tramos:

- Dm. 25.000 a Dm 40.000.- Mal estado (Fisuras piel de cocodrilo 10% y Baches en un 5% de la superficie de rodadura)
- Dm. 40.000 a Dm 49.000.- Regular estado (Asentamientos, pequeños baches).
(Datos proporcionados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército)

Como se puede observar en las siguientes fotografías, si existiera la atención eficaz, ordenada y programada a una vía, construida en su momento a un alto costo social y económico, puede ahorrar ingentes gastos de mantenimiento y consecuentemente de operación vehicular, tiempos de viaje y satisfacción de los usuarios. Un simple ejemplo: El permanente mantenimiento de los taludes y sistemas de drenaje facilitan la inmediata evacuación del agua desde la calzada y evitan su ingreso desde los costados, preservando así a la capa de rodadura, el elemento más importante de una vía.

Los parámetros de condición evaluados mediante “Criterios de apreciación visual” fueron los siguientes:

2.5.1 Baches descubiertos



Figura 2.2: Elaborado por : Capt Diego López.

2.5.2 Fisuras en bloque o piel de cocodrilo



Figura 2.3 Elaborado por : Capt Diego López.

2.5.3 Fisuras longitudinales

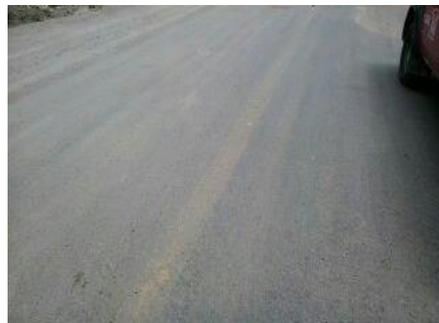


Figura 2.4 Elaborado por : Capt Diego López.

2.5.4 Defectos de superficie



Figura 2.5 Elaborado por : Capt Diego López.

2.6 Proceso de Toma y Transporte de Muestras hacia el Laboratorio

2.6.1 Generalidades

La exploración del suelo previo al análisis constituye un paso importante, debido a que el suelo es el espacio físico de cimentación de los pavimentos, esto influye directamente en los cálculos para la determinación del espesor de la capa de rodadura así como en el costo de la misma.

Si los datos obtenidos de los diferentes ensayos son favorables, el problema de suelos queda concretado; pero si resulta lo contrario se deben buscar alternativas que permitan la rehabilitación del pavimento flexible, utilizando mejores características de sustentación sea de igual o menor costo inicial, como por ejemplo, extraer el material con capacidad de soporte correspondiente a un CBR igual o mayor al 80%, etc. (Nevi 12-MTOP, 2013)

2.6.2 Toma de Muestras

Para efectos de ensayos en el laboratorio se procederá a tomar muestras del tramo vial, Ambato – Arenal, específicamente en el sector de Yatzapuzán, comprendido desde el (Dm 34.000 al Dm 35.000).

Consiste en la obtención de una porción del material con el que se pretende rehabilitar la estructura del pavimento flexible, que ya forma parte de la misma, de tal manera que las características de la porción de suelo obtenida se constituya en un elemento representativo. La fase de muestreo además incluye las operaciones de envasado en fundas, identificación y transporte de las muestras, y el muestreo comprende dos tipos de muestras alteradas e Inalteradas.

Muestras Alteradas .- Son aquellas que están constituidas por el material disgregado o fragmentado, en las que no se toman precauciones especiales para conservar las características de estructura y humedad; no obstante, en algunas ocasiones conviene conocer el contenido de agua original del suelo, para lo cual las muestras se envasan y transportan de forma adecuada que conserve sus propiedades originales.

Las muestras podrán obtenerse del material reciclado, al momento de intervenir la máquina recicladora, ver figura 9, como también de la Mina Colorado.

Las muestras deben ser representativas de cada material, para los diferentes ensayos que se realicen en el laboratorio.

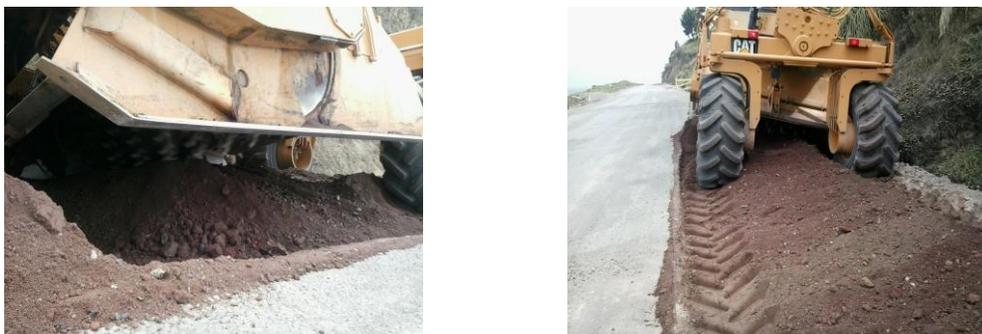


Figura 2.6 Máquina recicladora del CEE, tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000).

Elaborado por : Capt Diego López.

El peso mínimo de la muestra será de 40 Kg, que es la cantidad de suelo que comúnmente se requiere para realizar las pruebas en materiales. El equipo para la extracción de este tipo de muestras es el siguiente:

- Máquina recicladora
- Palas
- Barretas
- Sacos o costales
- Fundas plásticas
- Hojas para identificación



Figura 2.7 Toma de muestra alterada del tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000) .

Elaborado por: Capt Diego López

Muestras Inalteradas.- Son aquellas en las que se conserva la estructura y la humedad que tiene el suelo en el lugar donde se obtenga la muestra. Las muestras inalteradas se obtendrán de suelos, que puedan labrarse sin que se disgreguen. (G., 1991)



Figura 2.8 Muestra inalterada, tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000)

Elaborado por: Capt Diego López.

2.7 Identificación de los suelos mediante ensayos

Es indispensable la mecánica de suelos en obras de ingeniería, debido a que se basa en investigaciones de campo para obtener las condiciones reales del suelo y definir las situaciones más óptimas para el funcionamiento de la obra que se desea diseñar.

Se debe definir una metodología en campo, a fin de poder determinar las características de los suelos y establecer los parámetros geotécnicos (Arroyo) para el diseño definitivo de los componentes estructurales que tengan contacto con el suelo. Para el caso específico de vías, el realizar ensayos de suelos con estudios específicos proporciona propiedades mecánicas de todos los elementos que intervienen en la vía para su funcionamiento. (Juan, 2002)

2.8 Ensayos de Granulometría

La mecánica de suelos se constituye en el segundo paso a seguir en un trabajo de ingeniería, ya que con la metodología de los respectivos ensayos se llega a determinar el tipo de agregados del que está constituido el suelo natural sobre el que se asentará el proyecto vial.

La granulometría es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo con sus diferentes tamaños, denominando a las partículas pasantes del (Tamiz No 200), como limos y arcillas.

El proceso se lleva a cabo primeramente pesando cierta cantidad de suelo, que luego es colocado en tamices, en orden decreciente los cuales se pueden tomar fácilmente con las manos y agitarlos, con el fin de proceder a pesar la cantidad de material retenido en cada tamiz y este valor se lo resta del peso total de la muestra.

Un suelo de acuerdo a la granulometría presentada se clasifica:

- Agregado Grueso.- Material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No 4).
- Agregado Fino.- Material que pasa por el tamiz de 4,75 mm (No 4).
- Relleno Mineral.- Fracciones de Agregado fino que pasa el tamiz de 0,60 mm (No 30).
- Polvo Mineral. Fracciones de Agregado fino que pasa el tamiz de 0,075 mm (No 200). (Crespo, 2008)

2.8.1. Ensayo de Granulometría del Material Reciclado.

EQUIPO Y MATERIALES

- Equipo para determinar el contenido de agua.
- Horno de secado, temperatura constante 110 °C.
- Balanza de precisión, aproximación 0.01 g.
- Recipientes metálicos.
- Recipientes plásticos.
- Una Pala
- Una Cuchareta
- Tamiz (1½'', 1'', ¾'', ½'', 3/8'', No 4, No 10, No 40, No 200)
- Costales y Fundas
- Calculadora
- Cuaderno y lápiz
- Guantes
- Casco



Figura 2.9 Equipo y Material para Ensayo de granulometría
Elaborado por: Capt Diego López.

PROCEDIMIENTO

- Colocar el material en un costal tendido y mezclar para su mejor homogeneidad.



Figura 2.10: Mezcla del Material.
Elaborado por: Capt Diego López.

- Dividir en dos partes el material para realizar mínimo dos ensayos en el laboratorio.



Figura 2.11: División del Material.
Elaborado por: Capt Diego López

- Pesar la muestra más el recipiente antes de ingresar al horno para obtener el contenido de humedad del suelo natural.



Figura 2.12: Peso del Material
Elaborado por: Capt Diego López.

- Colocar la muestra natural en el horno a 110°C. durante 12 horas.



Figura 2.13: Material al Horno
Elaborado por: Capt Diego López

- Pesar la muestra seca para obtener el contenido de humedad del material.



Figura 2.14: Contenido de Humedad
Elaborado por: Capt Diego López

- Realizar la granulometría del material por cada tamiz según el material.



Figura 2.15: Granulometría del Material
Elaborado por: Capt Diego López

- Peso retenido parcial del material por cada tamiz.



Figura 2.16: Peso del Material
Elaborado por: Capt Diego López.

- Peso retenido acumulado del material por cada tamiz. (Sumatoria de las diferentes aberturas del tamiz).
- Cálculo del porcentaje retenido por cada tamiz: $(100/\text{Peso total de la muestra}) * \text{Peso retenido acumulado por cada tamiz}$.



Figura 2.17: Cálculo del Porcentaje Retenido
Elaborado por: Capt Diego López.

- Cálculo del porcentaje que pasa por cada tamiz. $(100 - \% \text{ retenido})$
- Graficar el diagrama granulométrico. (Porcentaje que pasa vs. Abertura del Tamiz en pulgadas).
- Verificar la curva de acuerdo a las especificaciones técnicas NEVI 12, MTOP.

A continuación se presentan los resultados de los ensayos del Material Reciclado; del tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000); y sus respectivos cálculos se presentan como anexo al final del presente documento, (VER ANEXO A " ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL RECICLADO").

Tabla 2.1: Distribución Granulométrica del Material Reciclado Ensayo No 1.

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 13/12/2013
UBICACIÓN	: YATSAPUSAN	REALIZADO	: CAPT DIEGO LÓPEZ
LOCALIZACIÓN	: (Dm 34.000 al Dm 35.000).	REVISADO	: ING. BONIFAZ HUGO
MUESTRA No.	: 1 Material Reciclado	SOLICITADO	: CEE

DESIGNACIÓN DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (gr)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO	PORCENTAJE ESPECIFICADO	
	PARCIAL	ACUMULADO				
3"	0					
2 1/2"	0					
2"	0					
1 1/2"	486	486	1	99	100	100
1"	967	1453	3	97		
3/4"	1449	2902	7	93		
1/2"	2269	5171	12	88		
3/8"	2377	7548	17	83		
No.4	5247	12795	30	70	30	70
PASA No.4	30488	30488		70		
No.8						
No.10	83	83	49	51		
No.16						
No.30						
No.40	113	196	75	25	10	35
No.50						
No.60						
No.80						
No.100						
PASA No.100						
No.200	111	306	100	0	0	15
PASA No. 200	0	0		0		

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	43283 gr
PESO PASA TAMIZ No.4 POR CUARTEO	306 gr

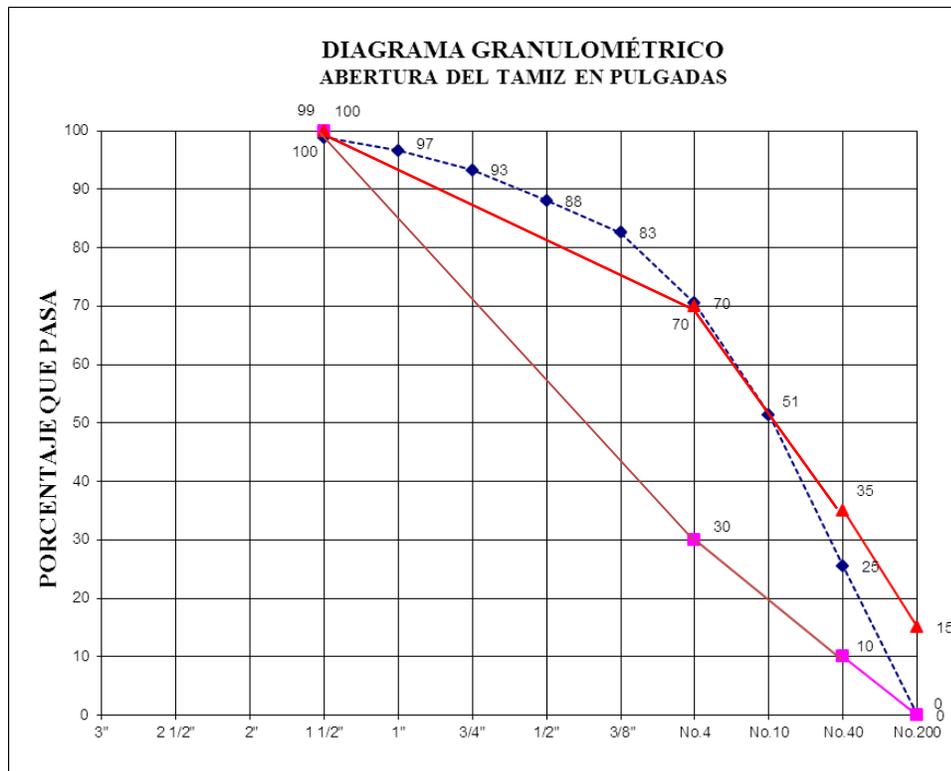


Figura 2.18: Curva Granulométrica Material Reciclado
Elaborado por: Capt. Diego López

OBSERVACIONES: ENSAYO No 1.

ESPECIFICACIÓN: SUB-BASE CLASE 1 según NEVI 12, M.T.O.P.

La tabla y gráfico de la distribución granulométrica presentada nos ayuda a la clasificación de suelos en función del tamaño de sus partículas, la mayor cantidad de suelo de la muestra corresponde a Finos Arenosos, lo que se recomienda estabilizar con material grueso de 3/4".

Tabla 2.2: Distribución Granulométrica del Material Reciclado Ensayo No 2

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 13/12/2013
UBICACIÓN	: YATSAPUSAN	REALIZADO	: CAPT DIEGO LÓPEZ
LOCALIZACION	: (Dm 34.000 al Dm 35.000).	REVISADO	: ING. BONIFAZ HUGO
MUESTRA No.	: 2 Material Reciclado	SOLICITADO	: CEE

DESIGNACION DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (gr)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO	PORCENTAJE ESPECIFICADO	
	PARCIAL	ACUMULADO				
3"	0					
2 1/2"	0					
2"	0					
1 1/2"	321	321	1	99	100	100
1"	865	1186	2	98	70	100
3/4"	1183	2369	5	95	60	90
1/2"	3069	5438	11	89		
3/8"	2342	7780	16	84	45	75
No.4	6591	14371	29	71	30	60
PASA No.4	34679	34679		71		
No.8						
No.10	66	66	43	57	20	50
No.16						
No.30						
No.40	133	198	72	28	10	25
No.50						
No.60						
No.80						
No.100						
PASA No.100						
No.200	128	326	100	0	2	12
PASA No. 200	0	0		0		

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	49050 gr
PESO PASA TAMIZ No.4 POR CUARTEO	326 gr

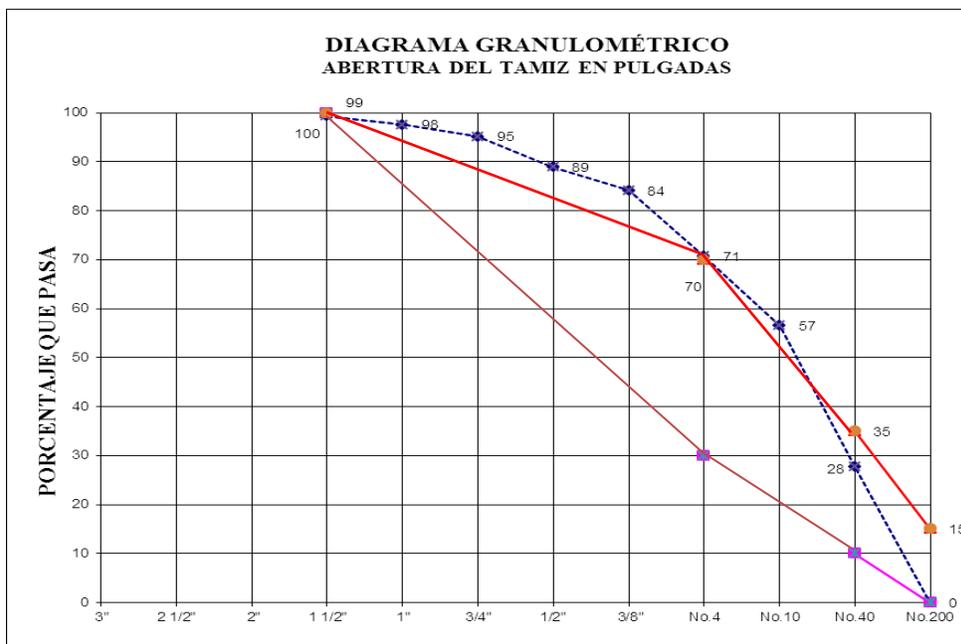


Figura 2.19: Curva Granulométrica Material Reciclado

Elaborado por: Capt. Diego López

OBSERVACIONES: ENSAYO No 2.

ESPECIFICACIÓN: SUB-BASE CLASE 1 según NEVI 12, M.T.O.P.

La tabla y gráfico de la distribución granulométrica presentada nos ayuda a la clasificación de suelos en función del tamaño de sus partículas, la mayor cantidad de suelo de la muestra corresponde a Finos Arenosos, lo que se recomienda para estabilizar material grueso de 3/4"

2.8.2 Ensayo de Granulometría del Material Identificado para Base.

A continuación se presentan los resultados del ensayo del Material Identificado para Base; del tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000); y sus respectivos cálculos se presentan como anexo al final del presente documento, (VER ANEXO B "ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA MATERIAL IDENTIFICADO PARA BASE").

Tabla 2.3: Distribución Granulométrica del Material Identificado para Base Ensayo No 1.

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 12/12/2013
UBICACIÓN	: YATSAPUSAN	REALIZADO	: CAPT DIEGO LÓPEZ
LOCALIZACION	: (Dm 34.000 al Dm 35.000).	REVISADO	: ING. BONIFAZ HUGO
MUESTRA No.	: 1 Material Identificado para Base	SOLICITADO	: CEE
MINA	: Colorado		

DESIGNACIÓN DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (gr)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO	PORCENTAJE ESPECIFICADO	
	PARCIAL	ACUMULADO				
3"	0					
2 1/2"	0					
2"	0				100	100
1 1/2"	3150	3150	11	89	70	100
1"	3877	7027	24	76	55	85
3/4"	3132	10159	35	65	50	80
1/2"	4325	14484	50	50		
3/8"	2529	17013	58	42	35	60
No.4	2429	19442	67	33	25	50
PASA No.4	9775	9775		33		
No.8						
No.10	89	89	74	26	10	40
No.16						
No.30						
No.40	159	248	87	13	10	25
No.50						
No.60						
No.80						
No.100						
PASA No.100						
No.200	161	409	100	0	2	12
PASA No. 200	0	0		0		
PESO TOTAL DE LA MUESTRA				29217	gr	
PESO PASA TAMIZ No.4 POR CUARTEO				409	gr	

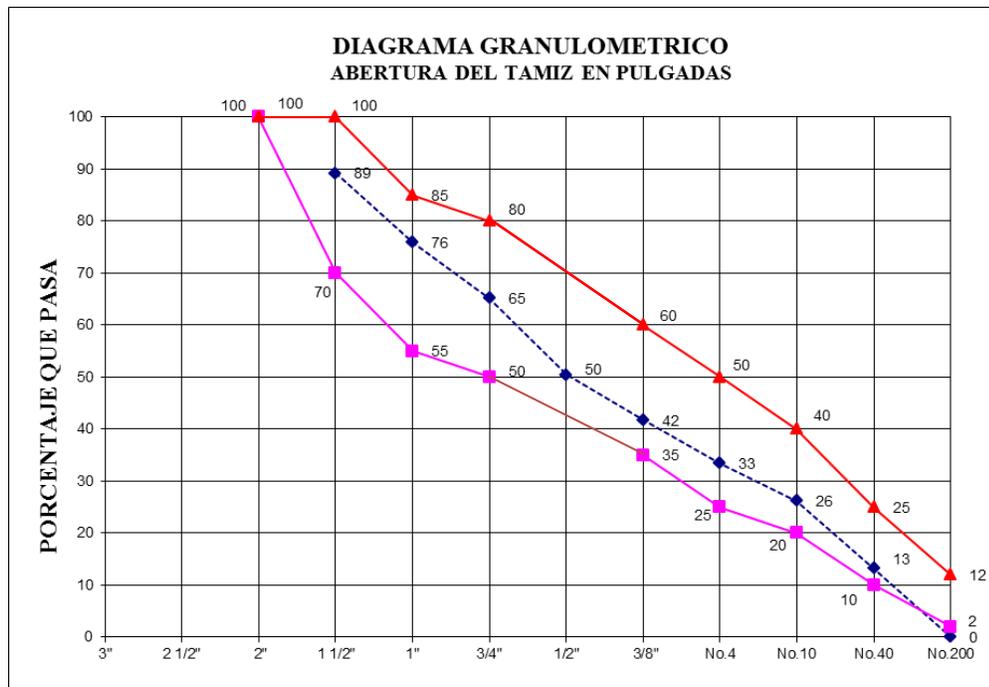


Figura 2.20: Curva Granulométrica del Material de Base
Elaborado por: Capt. Diego López

OBSERVACIONES: ENSAYO No 1.

ESPECIFICACIÓN: BASE CLASE 3 TIPO A, según NEVI 12, M.T.O.P.

La tabla y gráfico de la distribución granulométrica presentada nos ayuda a la clasificación de suelos en función del tamaño de sus partículas, la cantidad de suelo de la muestra corresponde a material grueso y fino.

Tabla 2.4: Distribución Granulométrica del Material Identificado para Base Ensayo No 2.**Elaborado por:** Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 12/12/2013
UBICACIÓN	: YATSAPUSAN	REALIZADO	: CAPT DIEGO LÓPEZ
LOCALIZACION	: (Dm 34.000 al Dm 35.000).	REVISADO	: ING. BONIFAZ HUGO
MUESTRA No.	: 2 Material Identificado para Base	SOLICITADO	: CEE
MINA	: Colorado		

DESIGNACIÓN DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (gr)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO	PORCENTAJE ESPECIFICADO	
	PARCIAL	ACUMULADO				
3"	0					
2 1/2"	0					
2"	0				100	100
1 1/2"	3030	3030	10	90	70	100
1"	3867	6897	23	77	55	85
3/4"	3574	10471	35	65	50	80
1/2"	4048	14519	48	52		
3/8"	2499	17018	57	43	35	60
No.4	2741	19759	66	34	25	50
PASA No.4	10349	10349		34		
No.8						
No.10	79,66	79,66	72	28	20	40
No.16						
No.30						
No.40	153,94	233,60	86	14	10	25
No.50						
No.60						
No.80						
No.100						
PASA No.100						
No.200	166,08	399,68	100	0	2	12
PASA No. 200	0	0		0		

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	30108 gr
PESO PASA TAMIZ No.4 POR CUARTEO	399,68 gr

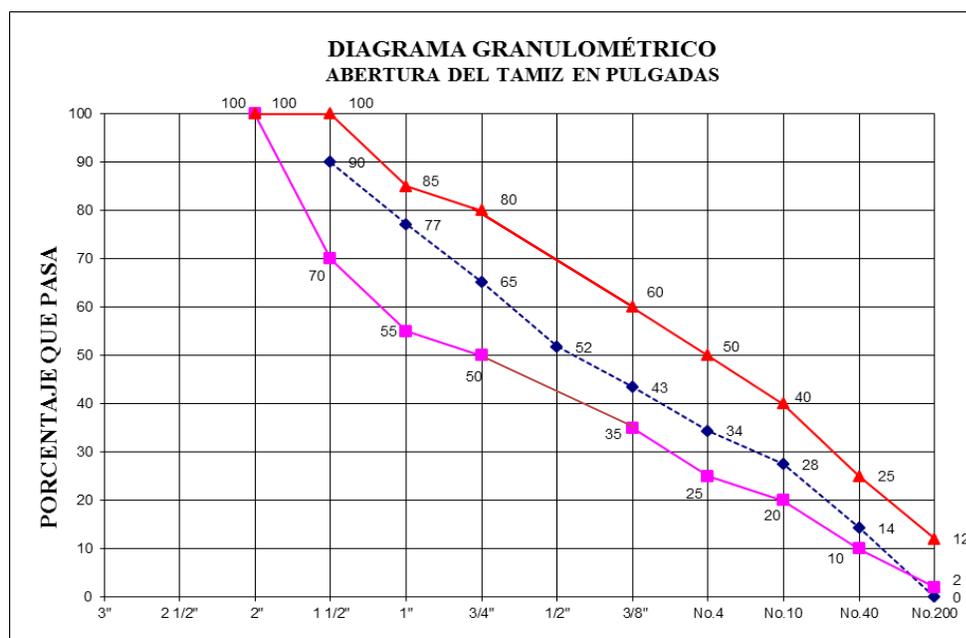


Figura 2.21: Curva Granulométrica del Material de Base
Elaborado por: Capt. Diego López

OBSERVACIONES: ENSAYO No 2.

ESPECIFICACIÓN: BASE CLASE 3 TIPO A, según NEVI 12, M.T.O.P.

La tabla y gráfico de la distribución granulométrica presentada nos ayuda a la clasificación de suelos en función del tamaño de sus partículas, la cantidad de suelo de la muestra corresponde a material grueso y fino.

2.8.3 Ensayo de Granulometría del Material de la Mina Colorado

A continuación se presentan los resultados del ensayo del material de la mina colorado; y sus respectivos cálculos se presentan como anexo al final del presente documento, (VER ANEXO C " ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL DE LA MINA COLORADO").

Tabla 2.5: Distribución Granulométrica del Material de la Mina Colorado Ensayo No 1.**Elaborado por:** Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 16/01/2014
UBICACIÓN	: YATSAPUSAN	REALIZADO	: CAPT DIEGO LÓPEZ
LOCALIZACION	: A 9 Km de la vía	REVISADO	: ING. BONIFAZ HUGO
MUESTRA No.	: 1	SOLICITADO	: CEE
MINA	: Colorado		

DESIGNACIÓN DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (gr)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO	PORCENTAJE ESPECIFICADO	
	PARCIAL	ACUMULADO				
3"						
2 1/2"						
2"						
1 1/2"		0	0	100	100	100
1"		0	0	100		
3/4"	5265	5265	9	91		
1/2"	16832	22097	38	62		
3/8"	5621	27718	47	53		
No.4	8437	36155	62	38	30	70
PASA No.4	22391	22391		38		
No.8						
No.10	161	161	78	22		
No.16						
No.30						
No.40	139	300	93	7	10	35
No.50						
No.60						
No.80						
No.100						
PASA No.100						
No.200	70	370	100	0	0	15
PASA No. 200	0	0		0		

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	58546 gr
PESO PASA TAMIZ No.4 POR CUARTEO	370 gr

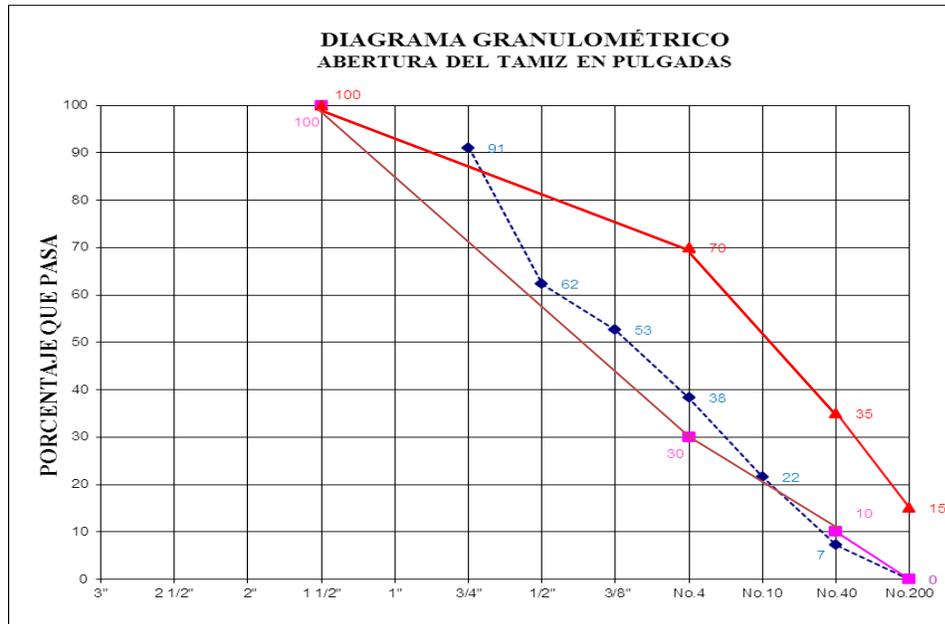


Figura 2.22: Curva Granulométrica Material de la Mina Colorado
Elaborado por: Capt. Diego López

La tabla y gráfico de la distribución granulométrica presentada nos ayuda a la clasificación de suelos en función del tamaño de sus partículas, la muestra de la abertura No 4 a la abertura No 200 corresponde a material grueso, lo que se recomienda estabilizar con material fino.

Tabla 2.6: Distribución Granulométrica del Material de la Mina Colorado Ensayo No 2.**Elaborado por:** Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 16/01/2014
UBICACIÓN	: YATSAPUSAN	REALIZADO	: CAPT DIEGO LÓPEZ
LOCALIZACION	: A 9 Km de la Vía	REVISADO	: ING. BONIFAZ HUGO
MUESTRA No.	: 2	SOLICITADO	: CEE
MINA	: Colorado		

DESIGNACIÓN DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (gr)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO	PORCENTAJE ESPECIFICADO	
	PARCIAL	ACUMULADO				
3"						
2 1/2"						
2"						
1 1/2"		0	0	100	100	100
1"		0	0	100		
3/4"	7376	7376	12	88		
1/2"	11947	19323	32	68		
3/8"	4331	23654	39	61		
No.4	8556	32210	53	47	30	70
PASA No.4	28818	28818		47		
No.8						
No.10	156	156	70	30		
No.16						
No.30						
No.40	174	331	90	10	10	35
No.50						
No.60						
No.80						
No.100						
PASA No.100						
No.200	86	417	100	0	0	15
PASA No. 200	0	0		0		

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	61028 gr
PESO PASA TAMIZ No.4 POR CUARTEO	417 gr

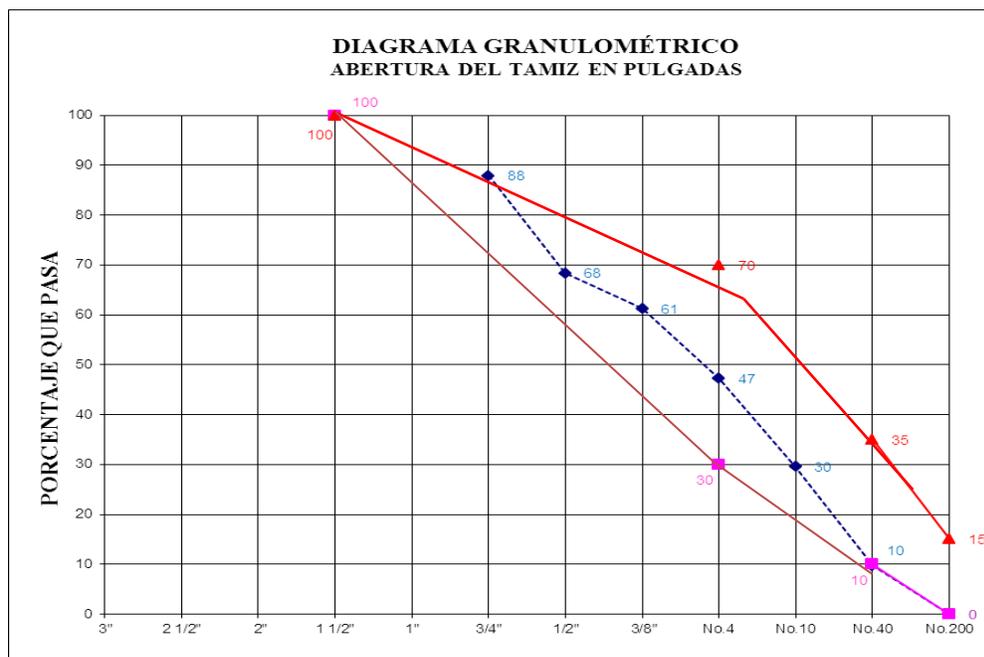


Figura 2.23: Curva Granulométrica Material de la Mina Colorado
Elaborado por: Capt. Diego López

La tabla y gráfico de la distribución granulométrica presentada nos ayuda a la clasificación de suelos en función del tamaño de sus partículas, la muestra de la abertura No 10 a la abertura No 200 corresponde a material grueso, lo que se recomienda estabilizar con material fino.

2.9 Ensayo de Abrasión

Este ensayo tiene por objeto determinar la resistencia a fragmentación del árido grueso por el método de Ensayo Los Ángeles.

Este ensayo se aplica a áridos gruesos de origen natural o artificial (y áridos reciclados) empleados en construcción.

La masa de la muestra de laboratorio debe ser de al menos 1500gr, con una granulometría comprendida entre 10 mm y 14 mm.



Figura 2.24: Muestra para el ensayo
Elaborado por: Capt. Diego López

EQUIPO Y MATERIALES

Para la realización de este ensayo es necesaria la utilización de los siguientes instrumentos y equipos:

- Tamices de ensayo



Figura 2.25: Tamices
Elaborado por: Capt. Diego López

- Balanza de precisión 0,1 % de la masa de la muestra de ensayo



Figura 2.26: Balanza de precisión
Elaborado por: Capt. Diego López

- Horno de secado, temperatura constante 110 °C.



Figura 2.27: Horno de secado
Elaborado por: Capt. Diego López

- Máquina para el ensayo de Los Ángeles



Figura 2.28: Máquina de Los Ángeles
Elaborado por: Capt. Diego López

- Carga abrasiva compuesta de 12 bolas de acero esféricas, con un diámetro de entre 45-49 mm y una masa comprendida entre 400-445 g.



Figura 2.29: Bolas de acero
Elaborado por: Capt. Diego López

- Recipiente o bandeja



Figura 2.30: Bandeja Metálica
Elaborado por: Capt. Diego López

PROCEDIMIENTO

Las etapas a considerar a la hora de realizar este ensayo son las siguientes:

- Preparación de la muestra para el ensayo



Figura 2.31: Preparación de la muestra
Elaborado por: Capt. Diego López

- Se tamiza la muestra de ensayo para obtener las granulometrías separadas en los intervalos de 1", 3/4", 1/2" y 3/8", con un peso natural por cada tamiz de 1500gr.



Figura 2.32: Granulometría de la muestra
Elaborado por: Capt. Diego López

- Se realiza el secado del material mediante la utilización de un horno a 110°C por un tiempo de 12 horas, hasta obtener una masa constante.



Figura 2.33: Secado de la muestra
Elaborado por: Capt. Diego López

- Se deja enfriar a temperatura ambiente.



Figura 2.34: Enfriar la muestra
Elaborado por: Capt. Diego López

- A continuación, se mezcla el material para obtener una muestra modificada de laboratorio.



Figura 2.35: Muestra modificada
Elaborado por: Capt. Diego López

- La muestra de ensayo se reduce, hasta obtener una masa de $(5000 \pm 5\text{gr})$, para realizar el Ensayo Los Ángeles.
- Una vez comprobado que el tambor está limpio, se introducen la carga abrasiva compuesta por 12 bolas de acero y a continuación se coloca la muestra de ensayo. Se coloca la cubierta y se hace girar la máquina durante 500 vueltas, a velocidad constante entre 31 r.p.m. y 33 r.p.m.



Figura 2.36: Colocación del material y bolas de acero
Elaborado por: Capt. Diego López

- Se vierte el árido sobre una bandeja colocada debajo del equipo, evitando la pérdida de material, y se limpia el tambor extrayendo todos los finos.



Figura 2.37: Colocación del árido en la bandeja

Elaborado por: Capt. Diego López

- Se retira la carga de bolas de la bandeja evitando perder partículas de árido.



Figura 2.38: Retirar las bolas de acero

Elaborado por: Capt. Diego López

- Se realiza la granulometría por el tamiz No 12, para obtener el desgaste del material ensayado.



Figura 2.39: Desgaste del Material
Elaborado por: Capt. Diego López

2.9.1 Ensayo de Abrasión del Material Reciclado

A continuación se presentan los resultados del ensayo del material reciclado; del tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000).

Tabla 2.7: Ensayo de Abrasión del Material Reciclado

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO : VÍA AMBATO-GUARANDA FECHA : 06/01/2014
 LOCALIZACIÓN : (Dm 34.000 al Dm 35.000). REALIZADO : CAPT.DIEGO LÓPEZ
 MUESTRA : Material Reciclado REVISADO : ING. HUGO BINIFAZ
 SOLICITADO : CEE

	MÉTODO	A
	NÚMERO DE ESFERAS	12
A	PESO DEL MATERIAL ANTES DEL ENSAYO (gr)	5001
B	PESO RETENIDO DEL TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES (gr)	3235,6
C = A - B	PESO PASA TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES (gr)	1765,4
D = C/A * 100	DESGASTE (%)	35

2.9.3 Ensayo de Abrasión del Material Identificado para Base

A continuación se presentan los resultados del Material Identificado para Base; del tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000).

Tabla 2.8: Ensayo de Abrasión del Material Identificado para Base

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO : VÍA AMBATO-GUARANDA FECHA : 08/01/2014
 LOCALIZACIÓN : (Dm 34.000 al Dm 35.000). REALIZADO : CAPT. DIEGO LÓPEZ
 MUESTRA : Material Identificado para Base REVISADO : ING. HUGO BONIFAZ

MÉTODO		A
	NUMERO DE ESFERAS	12
A	PESO DEL MATERIAL ANTES DEL ENSAYO (gr)	5002
B	PESO RETENIDO DEL TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES (gr)	3914,9
C = A - B	PESO PASA TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES (gr)	1087,1
D = C/A * 100	DESGASTE (%)	22

2.9.4 Ensayo de Abrasión del Material de la Mina Colorado

A continuación se presentan los resultados del Ensayo de Abrasión del Material de la Mina Colorado.

Tabla 2.9: Ensayo de Abrasión del Material de la Mina Colorado

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 08/01/2014
LOCALIZACIÓN	: Mina Colorado	REALIZADO	: CAPT. DIEGO LÓPEZ
MUESTRA	: Material de la Mina Colorado	REVISADO	: ING. HUGO BONIFAZ

MÉTODO		A
	NUMERO DE ESFERAS	12
A	PESO DEL MATERIAL ANTES DEL ENSAYO (gr)	5001
B	PESO RETENIDO DEL TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES (gr)	4359,9
C = A - B	PESO PASA TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES (gr)	641,1
D = C/A * 100	DESGASTE (%)	13

2.10 Determinación del Índice Plástico y Limite Líquido.

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Límite líquido

Es cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse, para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que la zanja que previamente se ha recortado, se cierra en una longitud de 12 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre la zanja es 25, entonces la humedad del suelo (razón agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido.

Límite plástico

El suelo cuando pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe. Este ensayo se ejecuta en el laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo, que consiste en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm.

EQUIPO Y MATERIALES

- Tamiz No 40.



Figura 2.40: Tamíz No 40
Elaborado por: Capt. Diego López

- Acanalador metálico



Figura 2.41: Acanalador
Elaborado por: Capt. Diego López

- Dispositivo mecánico Aparato de Casagrande



Figura 2.42: Aparato Casa Grande
Elaborado por: Capt. Diego López

- Horno de secado, temperatura constante 110 °C.



Figura 2.43: Horno de secado
Elaborado por: Capt. Diego López

- Balanza de precisión, aproximación 0.01 gr.



Figura 2.44: Balanza de precisión
Elaborado por: Capt. Diego López

- Recipientes metálicos



Figura 2.45: Recipientes metálicos
Elaborado por: Capt. Diego López

- Pera de caucho



Figura 2.46: Pera de caucho
Elaborado por: Capt. Diego López

- Espátula



Figura 2.47: Espátula
Elaborado por: Capt. Diego López

- Franela
- Esponja
- Hojas de papel periódico.

PROCEDIMIENTO

a) Para límite líquido

- Tamizar la muestra de suelo pasantes del Tamiz No 40.



Figura 2.48: Tamizado de la muestra
Elaborado por : Capt Diego López

- Mezclar completamente el suelo en el recipiente metálico usando la espátula hasta obtener una pasta homogénea y densa que pueda moldearse fácilmente con los dedos.



Figura 2.49: Mezclado de la muestra
Elaborado por: Capt Diego López

- Colocar una porción de esta pasta en la copa, sobre la parte que descansa en la base, extendiéndola rápida y cuidadosamente con la espátula, cuidando que no queden atrapadas burbujas de aire; con la ayuda de la espátula enrasar la superficie del suelo de tal manera que tenga una profundidad de 1cm en la sección de espesor máximo, el suelo sobrante regresar al recipiente metálico o de porcelana.



Figura 2.50: Colocación de la muestra en la copa
Elaborado por: Diego López

- Con el acanalador tipo ASTM realizar un canal en el suelo, que se encuentra colocado en la copa de casa grande.



Figura 2.51: Realización de un canal en el suelo
Elaborado por: Diego López

- Encender la máquina de Casagrande y contar el número de golpes que se requieren hasta que el espacio abierto con el acanalador se una entre sí en el fondo de la cuchara de muestra. Si el número de golpes para la primera determinación está entre 25 y 45 golpes, el ensayo se considera correcto por lo tanto se registra los golpes obtenidos.
- Colocar una porción de muestra en dos taras pesadas previamente a fin de determinar el contenido de humedad.



Figura 2.52: Determinación del Contenido de Humedad

Elaborado por: Capt Diego López

- Repetir los pasos 2 a 6 por lo menos cuatro veces, usando el mismo suelo con nuevos incrementos de agua, los cuales deben hacerse de tal manera que el número de golpes necesarios para cerrar el canal varíe de 45 a 5, de modo que dos ensayos estén bajo los 25 golpes y dos sobre los 25 golpes.

b) Límite plástico

- Mezclar completamente la muestra de suelo que pasa del tamiz N° 40, en el recipiente metálico usando la espátula, hasta obtener una pasta homogénea y densa que pueda moldearse fácilmente con los dedos sin que se adhiera a ellos.
- Tomar una cierta cantidad de suelo preparado según el paso 1, moldearla entre los dedos, en un ovoide, luego amasar y rodar entre las palmas de las manos hasta que la humedad del suelo sea cercana al límite plástico. Si el suelo está muy húmedo, para secarlo rápidamente se recomienda colocar al suelo encima de un papel periódico y extenderlo con la espátula, luego recogerlo y repetir el proceso ya descrito.



Figura 2.53: Secado del suelo
Elaborado por: Capt Diego López

- Hacer rodar la muestra del suelo en forma ovoide entre las puntas de los dedos y la placa de rolado con una presión suficiente como para formar con el suelo un rollo de 3mm de diámetro en 5 a 15 movimientos completos (hacia delante y hacia atrás) de la mano.



Figura 2.54: Rodar la muestra del suelo
Elaborado por: Capt Diego López

- Si el rollo de suelo se desmenuza antes de alcanzar los 3mm de diámetro, añadir agua a toda la masa de suelo.



Figura 2.55: Rollo de suelo desmenuzado
Elaborado por: Capt Diego López

- Volver a mezclarlo en el recipiente metálico, amasarlo completamente y proceder como se indica en segundo punto. Si el rollo alcanza un diámetro menor de 3mm sin mostrar señales de agrietamiento, se tiene una humedad mayor que el límite plástico. Volver a amasarlo completamente y repetir el proceso como se indica en el segundo punto, y cuando el rollo de suelo se agrieta y empieza a desmoronarse al llegar a los 3mm, se habrá alcanzado el contenido de agua correspondiente al límite plástico, la que se medirá usando todos los pedazos del rollo.
- Recoger las porciones desmenuzadas del rollo de suelo en un recipiente adecuado y determinar el contenido de humedad.



Figura 2.56: Determinación del Contenido de Humedad
Elaborado por: Capt Diego López

2.10.1 Ensayo de Límites y Matrices del Material Reciclado

A continuación se presentan los resultados del ensayo del material reciclado; del tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000).

Pasante del Tamiz No 40

1059.2 gr



Figura 2.57: Determinación del límite y matriz
Elaborado por: Capt Diego López

Como se puede observar en las fotografías el suelo al momento de realizar el rollo de suelo se desmenuza, de igual forma al encender la máquina de Casagrande y contar el número de golpes que se requieren hasta que el espacio abierto con el acanalador se una entre sí en el fondo de la cuchara de muestra, obteniendo un número de 10 golpes, el ensayo se considera incorrecto y no se registra los golpes obtenidos, por lo tanto llegamos a la conclusión que es un suelo con cierta característica: Matriz Arenosa sin plasticidad.

2.10.2 Ensayo de Límites y Matrices del Material Identificado para Base

A continuación se procede a presentar los resultados del ensayo del Material Identificado para Sub-Base; del tramo (Dm 34.000 al Dm 35.000).

Pasante del Tamiz No 40

661.30 gr



Figura 2.58: Determinación del límite y matriz
Elaborado por: Capt Diego López

Como se puede observar en las fotografías, al momento de realizar el rollo de suelo se desmenuza, de igual forma al encender la máquina de Casagrande y contar el número de golpes que se requieren hasta que el espacio abierto con el acanalador se una entre sí en el fondo de la cuchara de muestra, obteniendo un número de 12 golpes, el ensayo se considera incorrecto y no se registra los golpes obtenidos, por lo tanto llegamos a la conclusión que es un suelo con cierta característica: Matriz Arenosa sin plasticidad.

2.10.3 Ensayo de Límites y Matrices del Material de la Mina Colorado

A continuación se presentan los resultados del Material de la Mina Colorado.

Pasante del Tamiz No 40

389.80 gr



Figura 2.59: Determinación del límite y matriz
Elaborado por Capt. Diego López

Como se puede observar en las fotografías suelo al momento de realizar el rollo de suelo se desmenuza, de igual forma al encender la máquina de Casagrande y contar el número de golpes que se requieren hasta que el espacio abierto con el acanalador se una entre sí en el fondo de la cuchara de muestra, obteniendo un número de 12 golpes, el ensayo se considera incorrecto y no se registra los golpes obtenidos, por lo tanto llegamos a la conclusión que es un suelo con cierta característica: Matriz Arenosa sin plasticidad.

2.11 Ensayos de Compactación

El ensayo de Compactación o también llamado Proctor en honor a quien lo desarrolló; es un ensayo de compactación de suelo que tiene como finalidad obtener la humedad óptima y densidad máxima de un suelo para una determinada energía de compactación.

La humedad óptima de compactación es aquella humedad (%de agua) para la cual la densidad del suelo es máxima, es decir que cantidad de agua le hemos de añadir a un suelo para poderlo compactar al máximo. Para encontrar este parámetro lo que hacemos es realizar 3 ensayos con un mismo suelo (uno por saco de muestra preparada) pero con diferentes humedades de forma que después de haber realizado las compactaciones obtendremos 3 densidades de este suelo para 3 humedades diferentes, no obstante estas no son las humedades óptimas, pero si que podemos usarlas para obtener la humedad óptima mediante interpolación.

Es decir que situando los 3 valores obtenidos en una gráfica de densidad respecto porcentaje de agua obtendremos 3 puntos que nos permitirán trazar una curva, de manera que el punto más alto de la curva será el de mayor densidad y humedad óptima.

EQUIPO Y MATERIALES

- Molde cilíndrico de acero con base y collarín.



Figura 2.60: Molde cilíndrico
Elaborado por Capt. Diego López

- Martillos de compactación de 5.5 libras o 10 libras, debe ser operados de forma manual y el operador debe controlar la altura de la caída.



Figura 2.61: Martillo de compactación
Elaborado por Capt. Diego López

- Recipientes metálicos utilizados en los laboratorios de ensayo para mezclar los suelos o para saturar las muestras para estudios de determinación de la humedad.



Figura 2.62: Recipiente metálico
Elaborado por Capt. Diego López

- Tamiz de 8 pulgadas de diámetro, altura de 2 pulgadas, marco de latón y construcción paño latón.



Figura 2.63: Tamíz para homogenizar
Elaborado por Capt. Diego López

- Probeta de medición y pera de caucho



Figura 2.64: Probeta de medición
Elaborado por Capt. Diego López

- Balanza con capacidad de 12000 gr.



Figura 2.65: Balanza hasta 12000gr
Elaborado por Capt. Diego López

- Mazo compuesto de madera y goma.



Figura 2.66: Martillo de goma
Elaborado por Capt. Diego López

- Paleta es utilizada para vaciar el material en el molde y también funciona para mezclar el material.



Figura 2.67: Paleta metálica
Elaborado por Capt. Diego López

- Enrazador es una regla biselado que se utiliza para nivelar la muestra compactada con la parte superior del molde. Está hecho de acero endurecido con un borde biselado, el tamaño es de 12 pulgadas de largo x 1-1/4 pulgadas de ancho y 1/8 de pulgada de espesor.



Figura 2.68: Enrazador metálico
Elaborado por Capt. Diego López

- Horno de secado



Figura 2.69: Horno de secado
Elaborado por Capt. Diego López

PROCEDIMIENTO

- Peso del molde sin el collarín



Figura 2.70: Pesar el molde
Elaborado por Capt. Diego López

- Determinación del volumen del molde.



Figura 2.71: Volumen del molde
Elaborado por Capt. Diego López

- Se toma 7000 gr de muestra para cada ensayo y se utiliza el material que pasa por el tamiz 3/4 ” (4550gr), y el material que se retiene en el tamiz No 4 (2450gr).



Figura 2.72: Muestra de 7000gr.
Elaborado por Capt. Diego López

- Se agrega el agua para cada muestra variando el porcentaje de humedad de manera progresiva y luego se homogeniza.



Figura 2.73:1 Colocación del agua y homogenizar
Elaborado por Capt. Diego López

- Compactación de la muestra en 5 capas (modificado), con 56 golpes por cada capa.



Figura 2.74:2 Compactación de la muestra
Elaborado por Capt. Diego López

- Al terminar de compactar se quita el collarín, se enraza, se retira todo el material que se encuentra fuera del molde y se pesa (se obtiene el peso húmedo compactado).



Figura 2.75: Enrazado v pesado de la muestra
Elaborado por Capt. Diego López

- Extraer la muestra del afirmado húmedo compactado y colocarlo en las taras para su respectivo pesado..



Figura 2.76: Pesar la muestra húmeda
Elaborado por Capt. Diego López

- Llevar al horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, dejar secar por 12 horas y pesar (se obtiene el contenido de humedad).



Figura 2.77: Determinación del Contenido de Humedad
Elaborado por Capt. Diego López

2.11.1 Ensayo de Compactación del Material Reciclado

A continuación se presentan los resultados del material reciclado, los resultados y sus respectivos cálculos se presentan como anexo al final del presente documento. (VER ANEXO " D " ENSAYO DE COMPACTACIÓN DEL MATERIAL RECICLADO).

Tabla 2.10: Compactación del Material Reciclado del Ensayo No 1.

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 06/01/2014
UBICACIÓN	: YATZAPUZÁN	REALIZADO	: CAPT. DIEGO LOPEZ
LOCALIZACIÓN	: (Dm 34.000 al Dm 35.000).	SOLICITADO	: CEE
MUESTRA	: 1 Material Reciclado		

GOLPES POR CAPA	56	NÚMERO DE CAPAS	5	PESO DE MARTILLO	10 Lbs
DIÁMETRO MOLDE	6"	ALTURA DE CAIDA	18"	VOLUMEN cm ³	2120
DENSIDAD MÁXIMA	1910	Kg/m ³		ÓPTIMA HUMEDAD %	13,50

CONTENIDO DE AGUA							
PUNTO N°		1		2		3	
TARRO N°		H19	H13	H0	H7	J50	J6
SUELO HUM. + TARRO	gr.	199,31	173,25	153,09	169,93	236,85	279,97
SUELO SECO + TARRO	gr.	184,29	161,38	139,97	154,76	211,04	247,34
PESO TARRO	gr.	52,91	52,14	43,48	42,10	34,41	33,49
CONTENIDO DE AGUA	%	11,43	10,87	13,60	13,47	14,61	15,26
CONT. PROMEDIO AGUA	%	11,15		13,53		14,94	

DATOS DE LA CURVA				
PUNTO N°		1	2	3
PESO MOLDE + SUELO	gr.	10965	11154	11022
PESO MOLDE	gr.	6556	6556	6556
PESO SUELO	gr.	4409	4598	4466
VOLUMEN	cm ³	2120	2120	2120
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2,080	2,169	2,107
CONT. PROMEDIO AGUA	%	11,15	13,53	14,94
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	1871	1910	1833

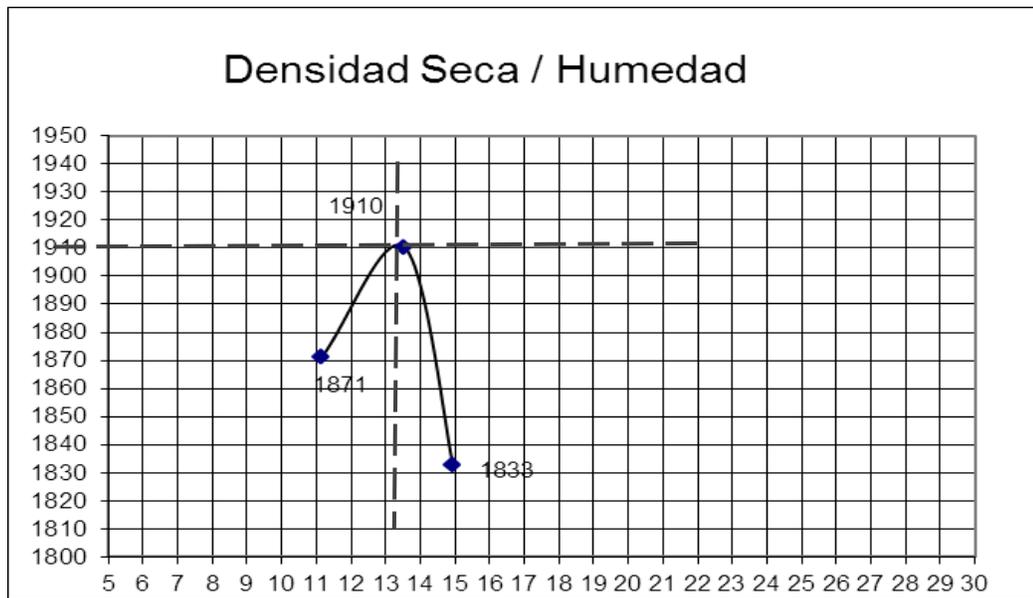


Figura 2.78: Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima

Elaborado por: Capt. Diego López

Tabla 2.11: Compactación del Material Reciclado Ensayo No 2.

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 06/01/2014
UBICACIÓN	: YATZAPUZAN	REALIZADO	: CAPT. DIEGO LOPEZ
LOCALIZACIÓN	: (Dm 34.000 al Dm 35.000).	SOLICITADO	: CEE
MUESTRA	: 2 Material Reciclado		

GOLPES POR CAPA	56	NÚMERO DE CAPAS	5	PESO DE MARTILLO	10 Lbs
DIÁMETRO MOLDE	6"	ALTURA DE CAIDA	18"	VOLUMEN cm ³	2120
DENSIDAD MÁXIMA	1887	Kg/m ³		ÓPTIMA HUMEDAD %	12.90

CONTENIDO DE AGUA

PUNTO N°		1	2	3			
TARRO N°		J10	J8	E2	E1	E8	J3
SUELO HUM. + TARRO	gr.	205,58	234,74	218,81	222,13	284,56	275,20
SUELO SECO + TARRO	gr.	190,15	216,76	198,25	200,25	252,72	243,38
PESO TARRO	gr.	33,99	33,97	34,76	34,58	35,32	34,35
CONTENIDO DE AGUA	%	9,88	9,84	12,58	13,21	14,65	15,22
CONT. PROMEDIO AGUA	%	9,86		12,9		14,93	

DATOS DE LA CURVA

PUNTO N°		1	2	3
PESO MOLDE + SUELO	gr.	10795	11071	11052
PESO MOLDE	gr.	6556	6556	6556
PESO SUELO	gr.	4239	4515	4496
VOLUMEN	cm ³	2120	2120	2120
DENSIDAD HUMEDA	gr/cm ³	2,000	2,130	2,121
CONT. PROMEDIO AGUA	%	9,86	12,9	14,93
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	1820	1887	1845

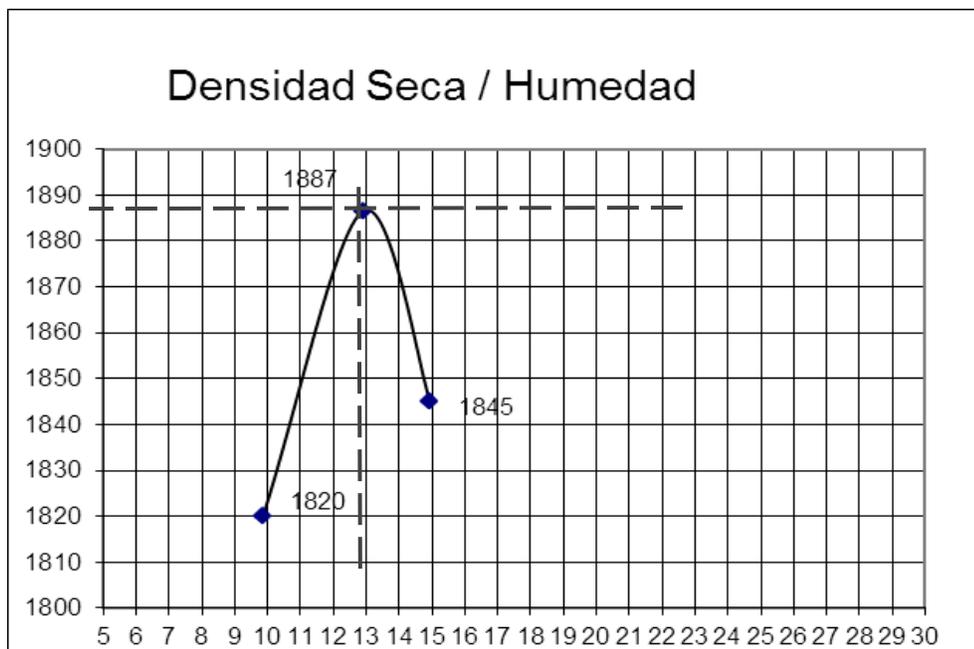


Figura 2.79:3 Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima
 Elaborado por: Capt. Diego López

2.11.2 Ensayo de Compactación del Material Identificado para Base.

A continuación se presentan los resultados del Material Identificado para Base, los resultados y sus respectivos cálculos se presentan como anexo al final del presente documento. (VER ANEXO " E " ENSAYOS DE COMPACTACIÓN DEL MATERIAL IDENTIFICADO PARA BASE).

Tabla 2.12: Compactación del Material Identificado para Base

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 06/01/2014
UBICACIÓN	: YATZAPUZAN	REALIZADO	: CAPT. DIEGO LOPEZ
LOCALIZACIÓN	: (Dm 34.000 al Dm 35.000).	SOLICITADO	: CEE
MUESTRA	: 1 Material Identificado para Base		

GOLPES POR CAPA : 56 NÚMERO DE CAPAS: 5 PESO DE MARTILLO : 10 Lbs

DIÁMETRO MOLDE : 6" ALTURA DE CAIDA : 18" VOLUMEN cm³ : 2120

DENSIDAD MÁXIMA : 2080 Kg/m³ ÓPTIMA HUMEDAD % : 11.60

CONTENIDO DE AGUA

PUNTO N°		1	2	3	4	5					
TARRO N°		H12	H20	H21	H15	H5	H1	H4	H17	J11	J4
SUELO HUM. + TARRO	gr.	197,46	173,83	221,66	220,71	227,76	205,68	258,30	236,40	372,46	366,02
SUELO SECO + TARRO	gr.	191,73	168,58	209,81	208,78	212,26	192,45	236,45	217,75	331,21	324,85
PESO TARRO	gr.	53,22	42,57	42,22	54,56	54,36	43,16	52,57	53,18	34,46	34,07
CONTENIDO DE AGUA	%	4,14	4,17	7,07	7,74	9,82	8,86	11,88	11,33	13,90	14,16
CONT. PROMEDIO AGUA	%	4,15	7,40	9,34	11,61	14,03					

DATOS DE LA CURVA

PUNTO N°		1	2	3	4	5
PESO MOLDE + SUELO	gr.	10917	11140	11296	11477	11545
PESO MOLDE	gr.	6556	6556	6556	6556	6556
PESO SUELO	gr.	4361	4584	4740	4921	4989
VOLUMEN	cm ³	2120	2120	2120	2120	2120
DENSIDAD HUMEDA	gr/cm ³	2,057	2,162	2,236	2,321	2,353
CONT. PROMEDIO AGUA	%	4,15	7,40	9,34	11,61	14,03
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	1975	2013	2045	2080	2064

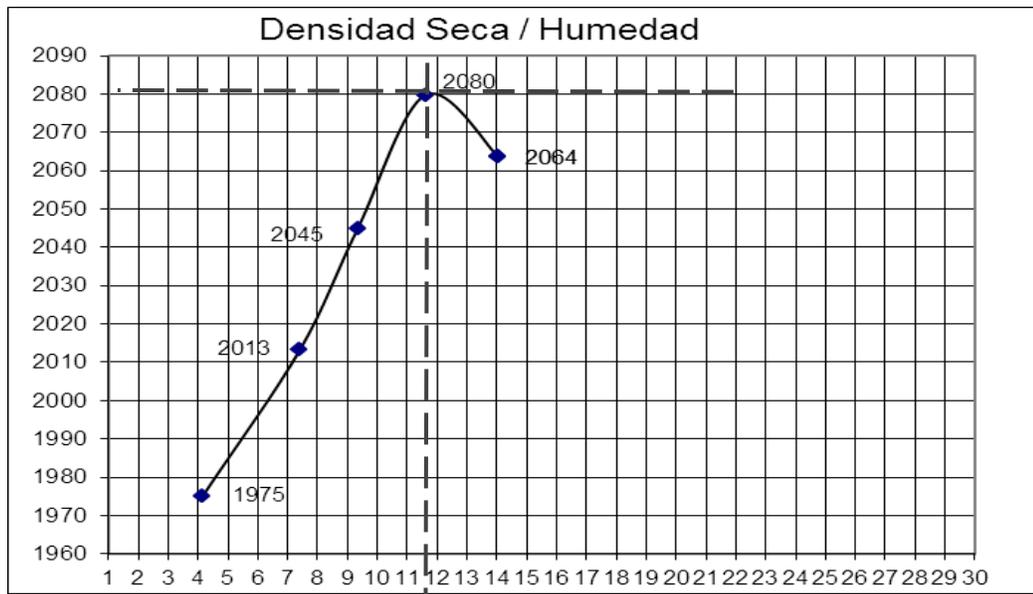


Figura 2.80: Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima
 Elaborado por: Capt. Diego López

2.11.3 Ensayo de Compactación del Material de la Mina Colorado

A continuación se presentan los resultados del material de la mina colorado, los resultados y sus respectivos cálculos se presentan como anexo al final del presente documento. (VER ANEXO " F " ENSAYO DE COMPACTACIÓN DEL MATERIAL DE LA MINA COLORADO).

Tabla 2.13: Compactación del Material de la Mina Colorado Ensayo No 1.

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 13/01/2014
UBICACIÓN	: YATZAPUZAN	REALIZADO	: CAPT. DIEGO LOPEZ
LOCALIZACIÓN	: Mina Colorado	SOLICITADO	: CEE
MUESTRA	: 1		
GOLPES POR CAPA	: 56	NÚMERO DE CAPAS:	5
		PESO DE MARTILLO :	10 Lbs
DIÁMETRO MOLDE	: 6"	ALTURA DE CAIDA :	18"
		VOLUMEN cm ³ :	2120
DENSIDAD MÁXIMA	: 2396 Kg/m ³	ÓPTIMA HUMEDAD % :	7.77

CONTENIDO DE AGUA									
PUNTO N°		1		2		3		4	
TARRO N°		H0	H15	H18	H13	H21	H4	H1	H12
SUELO HUM. + TARRO	gr.	224,78	215,40	270,68	252,09	269,67	256,29	185,75	178,45
SUELO SECO + TARRO	gr.	216,58	208,46	260,20	240,88	252,25	242,54	167,19	171,20
PESO TARRO	gr.	43,47	54,59	52,08	51,94	42,23	52,59	43,17	53,23
CONTENIDO DE AGUA	%	4,74	4,51	5,04	5,93	8,29	7,24	14,97	6,15
CONT. PROMEDIO AGUA	%	4,62		5,48		7,77		10,56	

DATOS DE LA CURVA					
PUNTO N°		1	2	3	4
PESO MOLDE + SUELO	gr.	11479	11682	12031	12004
PESO MOLDE	gr.	6556	6556	6556	6556
PESO SUELO	gr.	4923	5126	5475	5448
VOLUMEN	cm ³	2120	2120	2120	2120
DENSIDAD HUMEDA	gr/cm ³	2,322	2,418	2,583	2,570
CONT. PROMEDIO AGUA	%	4,62	5,48	7,77	10,56
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	2220	2292	2396	2324

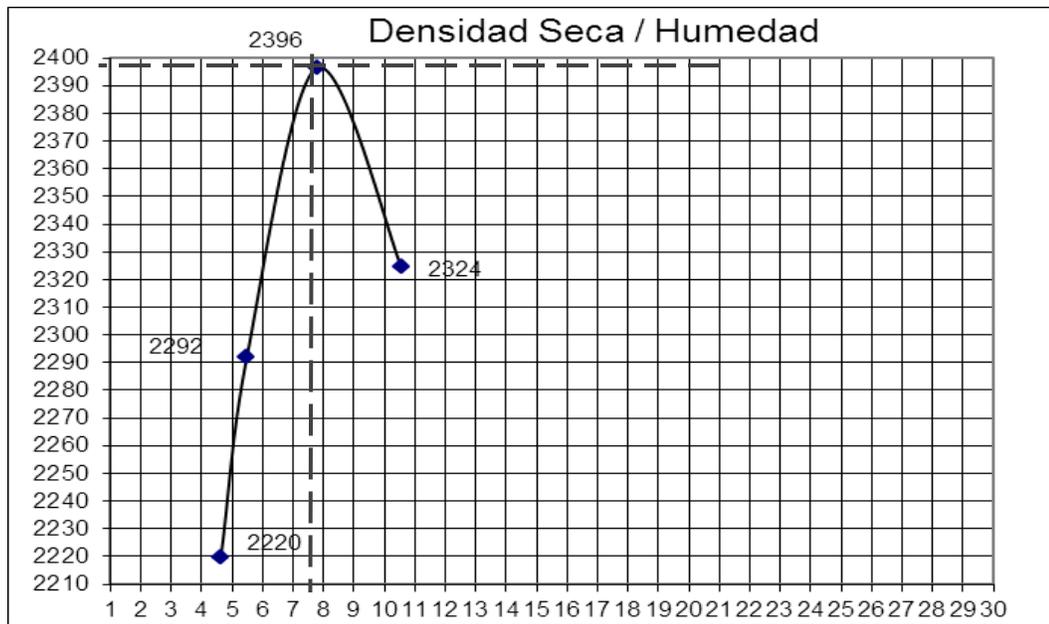


Figura 2.81: Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima
Elaborado por: Capt. Diego López

Tabla 2.14: Compactación del Material de la Mina Colorado Ensayo No 2.

Elaborado por: Capt. Diego López.

PROYECTO	: VÍA AMBATO-GUARANDA	FECHA	: 14/01/2014
UBICACIÓN	: YATSAPUSAN	REALIZADO	: CAPT. DIEGO LOPEZ
LOCALIZACIÓN	: Mina Colorado	SOLICITADO	: CEE
MUESTRA	: 2		

GOLPES POR CAPA : 56 NÚMERO DE CAPAS: 5 PESO DE MARTILLO : 10 Lbs

DIÁMETRO MOLDE : 6" ALTURA DE CAIDA : 18" VOLUMEN cm³ : 2120

DENSIDAD MÁXIMA : 2416 Kg/m³ ÓPTIMA HUMEDAD % : 6.62

CONTENIDO DE AGUA

PUNTO N°		1		2		3		4	
TARRO N°		H5	H19	H17	J100	H7	H20	E7	J5
SUELO HUM. + TARRO	gr.	155,14	149,14	167,04	171,71	163,37	173,07	216,70	201,35
SUELO SECO + TARRO	gr.	151,23	146,00	161,98	165,76	155,77	165,04	200,31	187,76
PESO TARRO	gr.	54,35	52,91	53,19	34,81	42,10	42,57	33,85	33,84
CONTENIDO DE AGUA	%	4,04	3,37	4,65	4,54	6,69	6,56	9,85	8,83
CONT. PROMEDIO AGUA	%	3,70		4,60		6,62		9,34	

DATOS DE LA CURVA

PUNTO N°		1	2	3	4
PESO MOLDE + SUELO	gr.	11433	11787	12016	12095
PESO MOLDE	gr.	6556	6556	6556	6556
PESO SUELO	gr.	4877	5231	5460	5539
VOLUMEN	cm ³	2120	2120	2120	2120
DENSIDAD HUMEDA	gr/cm ³	2,300	2,467	2,575	2,613
CONT. PROMEDIO AGUA	%	3,70	4,60	6,62	9,34
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	2218	2359	2416	2390

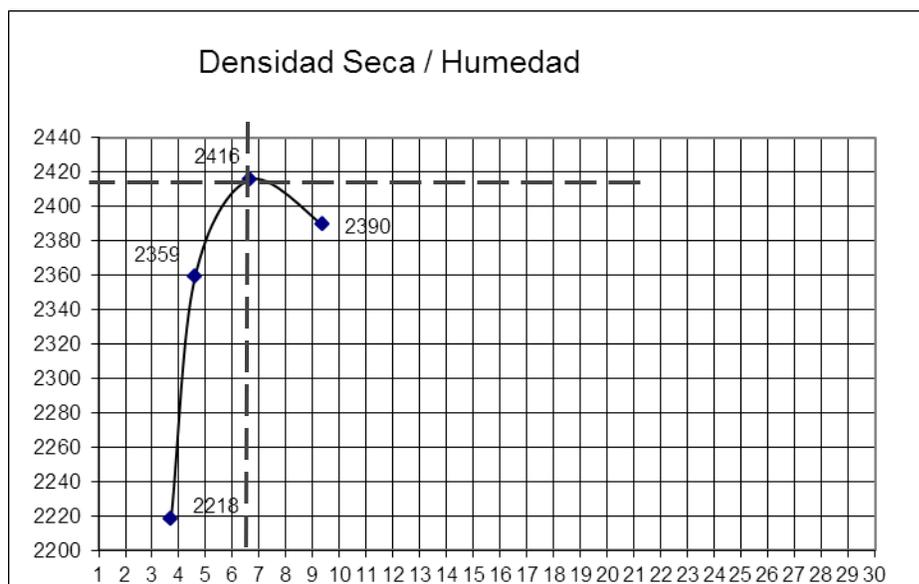


Figura 2.82:4 Gráfico para la determinación de densidad máxima y humedad óptima
Elaborado por: Capt. Diego López

Con los datos tabulados en el ensayo de compactación se determina la cantidad de agua que necesita la muestra para alcanzar su humedad óptima y en consecuencia es la cantidad de agua que hay que agregarle a la muestra para iniciar el moldeado de las muestras de CBR.

2.12 Ensayo CBR.

El ensayo CBR consiste en comparar la presión necesaria para penetrar un pistón, en una muestra de suelo dada, con la requerida para una muestra patrón. El valor del CBR es la relación expresada como un porcentaje, entre la presión necesaria para que el pistón penetre los primeros 2,5 mm y la presión necesaria para obtener la misma penetración en el material patrón, los valores que se presentan pueden ser muy variables y van desde 2% a 3% para arcillas plásticas hasta 70% en materiales granulares de buena calidad.

(AASHTO Guide for Design of Pavement Structures de 1993, Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials)

Básicamente el valor del CBR que se obtenga en el laboratorio luego de los ensayos de las muestras, nos da una relación inversa entre su valor y la capa de rodadura es decir a menor valor del CBR mayor será la capa u espesor del pavimento a diseñarse o viceversa.

EQUIPO Y MATERIALES

- Molde cilíndrico de acero con base y collar.



Figura 2.83: Molde cilíndrico
Elaborado por Capt. Diego López

- Martillos de compactación de 5.5 libras o 10 libras, debe ser operados de forma manual y el operador debe controlar la altura de la caída.



Figura 2.84: Martillo de compactación
Elaborado por Capt. Diego López

- Recipientes metálicos utilizados en los laboratorios de ensayo para mezclar los suelos o para saturar las muestras para estudios de determinación de la humedad



Figura 2.85: Recipiente metálico
Elaborado por Capt. Diego López

- Tamiz de 8 pulgadas de diámetro, altura de 2 pulgadas, marco de latón y construcción paño latón.



Figura 2.86: Tamiz metálico
Elaborado por Capt. Diego López

- Probeta de medición y pera de caucho



Figura 2.87: Probeta y pera de caucho
Elaborado por Capt. Diego López

- Balanza con capacidad de 12000 gr.



Figura 2.88: Probeta y pera de caucho
Elaborado por Capt. Diego López

- Mazo compuesto de madera y goma.



Figura 2.89: Mazo de goma
Elaborado por Capt. Diego López

- Paleta es utilizada para vaciar el material en el molde y también funciona para mezclar el material.



Figura 2.90: Paleta metálica
Elaborado por Capt. Diego López

- Enrazador es una regla biselado que se utiliza para nivelar la muestra compactada con la parte superior del molde. Está hecho de acero endurecido con un borde biselado, el tamaño es de 12 pulgadas de largo x 1-1/4 pulgadas de ancho y 1/8 de pulgada de espesor.



Figura 2.91: Enrazador metálico
Elaborado por Capt. Diego López

- Horno de secado



Figura 2.92: Horno de secado
Elaborado por Capt. Diego López

- Pistón de penetración de 10lbs. y pesas falsas (2") cada una.



Figura 2.93: Dial y pesas falsas
Elaborado por Capt. Diego López

- Medidor para el esponjamiento de la muestra de suelo



Figura 2.94: Medidor de esponjamiento
Elaborado por Capt. Diego López

- Diales encerados para realizar la prueba de penetración en el suelo saturado



Figura 2.95: Aparato para prueba de penetración
Elaborado por Capt. Diego López

PROCEDIMIENTO

- Pesar el molde del CBR que se va a utilizar y medir su diámetro.



Figura 2.96: Peso del molde y diámetro
Elaborado por : Capt. Diego López

- Pesar 7000gr de material por cada cilindro, el mismo que debe haber sido previamente tamizado por el tamiz 3/4.



Figura 2.97: Peso de la muestra
Elaborado por : Capt. Diego López

- Colocar la cantidad necesaria de agua de acuerdo al valor obtenido en la humedad óptima del ensayo de compactación que se ejecutó anteriormente, medido con una probeta graduada.



Figura 2.98: Agregar agua
Elaborado por : Capt. Diego López

- La muestra mezclada con el agua se debe moldear el CBR en 5 capas.



Figura 2.99: Moldear la muestra
Elaborado por : Capt. Diego López

- Una vez moldeada la muestra se debe enrasar el molde con la ayuda de la placa metálica.



Figura 2.100: Enrasar el molde
Elaborado por : Capt. Diego López

- Luego se debe volver a pesar el molde pero ya con la muestra de suelo moldeada y colocando un filtro de papel periódico.



Figura 2.101: Peso de la muestra moldeada
Elaborado por : Capt. Diego López

- Se procede a colocar la pesa falsa y el aparato para medir el esponjamiento que debe ser encerado antes de colocar la muestra moldeada en la piscina de agua.



Figura 2.102: Colocación pesa falsa y medidor de esponjamiento
Elaborado por : Capt. Diego López

- Colocar la muestra de CBR moldeada en la piscina.



Figura 2.103: Colocación del molde en la piscina
Elaborado por : Capt. Diego López

- Medir los esponjamientos obtenidos dejando transcurrir 3 días y llevar el respectivo registro.



Figura 2.104: Medición de los esponjamientos
Elaborado por : Capt. Diego López

- Ejecución del ensayo CBR y registro de los datos.



Figura 2.105: Ensayo CBR
Elaborado por : Capt. Diego López

2.12.1 Ensayo CBR del Material Reciclado

A continuación se presentan los resultados del material reciclado; los resultados y sus respectivos cálculos se presentan como anexo al final del presente documento. (VER ANEXO " G " ENSAYO CBR DEL MATERIAL RECICLADO).

Tabla 2.15: Ensayo CBR del Material Reciclado

Elaborado por: Capt. Diego López.

UBICACIÓN	:	YATZAPUZAN
LOCALIZACIÓN	:	(Dm 34.000 al Dm 35.000).
MUESTRA	:	No 1
FECHA	:	10 de Enero de 2014
REALIZADO POR	:	Capt. Diego López
SOLICITADO POR	:	Cuerpo de Ingenieros del Ejército

TABULACIÓN DE DATOS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD

DATOS DEL MOLDEO	No. DE CAPAS = 5			PESO MARTILLO = 4.5 Kg.		
MOLDE No.:	3	4	5			
Golpes/capa	56	25	10			
Peso comp gr:	12.230	12.144	11.977			
Peso molde gr:	7.194	7.190	7.229			
Peso suelo gr:	5.036	4.954	4.748			
Volumen cm ³ :	2.302	2.302	2.302			
Dens. Hum Kg/m ³ :	2.188	2.152	2.063			
CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO:						
	J5	J12	A2	A10	A3	A50
W. humedo gr:	384,88	384,71	432,88	373,86	354,83	384,88
W. seco gr :	350,20	350,13	393,72	341,73	328,24	355,20
W. capsula gr:	103,37	104,44	103,44	105,35	102,48	103,42
w (%) :	14,05	14,07	13,49	13,59	11,78	11,79
w(%) prom.:		14,06		13,54		11,78
Dens. Seca Kg/m ³ :		1.918		1.895		1.845
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION:						
	A9	A23	J14	J13	J2	J7
W. humedo+Wcap. gr :	395,58	384,81	207,84	206,15	210,55	223,16
W. Seco+ WCAP. gr :	357,21	346,15	187,88	185,32	186,88	196,93
W. capsula gr:	64,74	64,64	33,96	33,75	33,31	33,46
w (%) :	13,12	13,73	12,97	13,74	15,41	16,05
w(%) prom.:		13,43		13,36		15,73
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA:						
Peso saturado.:		12.256		12.178		12.112
Agua abs. :		26		34		135
% agua ab.:		0,52		0,69		2,84
PORCENTAJE DE COMPACTACION:						
DENSIDAD MAX.:	1898,0	kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA:	13,2	%	

MEDIDA DE LOS ESPONJAMIENTOS

Tabla 2.16: Detalle de los Esponjamientos medidos en el CBR

Elaborado por : Capt Diego López

ESPONJAMIENTO:						
MOLDE No.:	3		4		5	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0

TABULACIÓN DE DATOS PRESIÓN VS PENETRACION

Tabla 2.17: Datos Obtenidos para el gráfico presión vs penetración

Elaborado por : Capt. Diego López

TIEMPO	PENETRACIÓN	MOLDE No 1					MOLDE No 2					MOLDE No 0					
		CARGA	PRESION	PRESION CORREGIDA	PRESION ESTÁNDAR	VALOR CBR	CARGA	PRESION	PRESION CORREGIDA	PRESION ESTÁNDAR	VALOR CBR	CARGA	PRESION	PRESION CORREGIDA	PRESION ESTÁNDAR	VALOR CBR	
min	pulg	dial	lbs	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²	dial	lbs	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²	dial	lbs	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²	
0,00	0	0	0	0			0	0	0			0	0	0			
0,30	25	6	45	15			55	414	138			11	83	28			
1,00	50	19	143	48			110	828	276			20	151	50			
1,30	75	41	309	103			157	1182	394			27	203	68			
2,00	100	67	505	168	500	1000	202	1521	507	360	1000	30	226	75	75	1000	7,5
3,00	150	146	1099	366			286	2154	718			41	309	103			
4,00	200	233	1755	585			367	2764	921			50	377	126			
5,00	250	341	2568	856			451	3396	1132			64	482	161			
6,00	300	430	3238	1079			523	3938	1313			72	542	181			
8,00	400	627	4721	1574			674	5075	1692			93	700	233			
10,00	500	808	6084	2028			807	6077	2026			119	896	299			

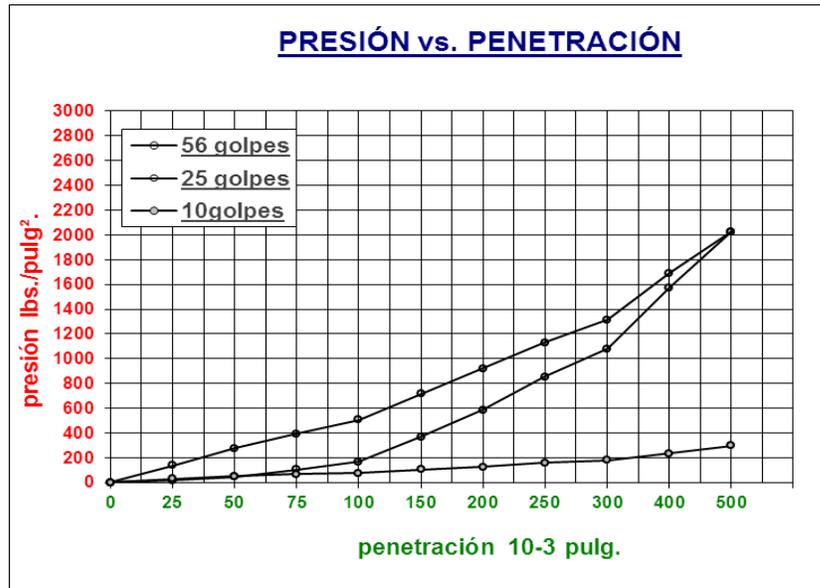


Figura 2.106: Gráfico presión vs penetración.
Elaborado por : Capt. Diego López

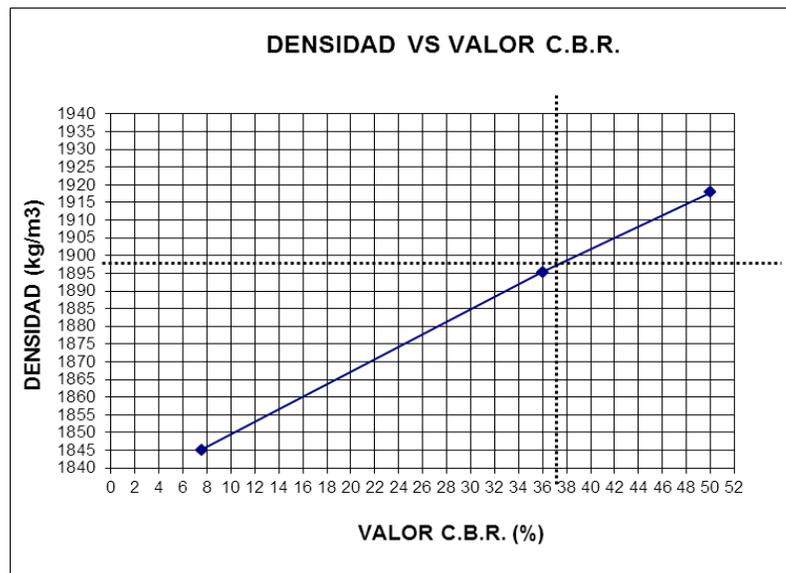


Figura 2.107: Gráfico Densidad vs CBR
Elaborado por : Capt. Diego López

Una vez moldeado el CBR y ejecutando su ensayo de acuerdo al procedimiento descrito anteriormente y con la tabulación de datos respectiva se obtiene la Figura 2.107: Gráfico en la cual el valor C.B.R al 95% de la máxima densidad es 37 %.

2.12.2 Ensayo CBR del Material Identificado para Base

A continuación se presentan los resultados del material identificado para base; los resultados y sus respectivos cálculos se presentan como anexo al final del presente documento. (VER ANEXO "H" ENSAYO CBR DEL MATERIAL IDENTIFICADO PARA BASE).

Tabla 2.18: Ensayo CBR del Material Identificado para Base

Elaborado por: Capt. Diego López.

UBICACIÓN : YATZAPUZAN
LOCALIZACIÓN : (Dm 34.000 al Dm 35.000).
MUESTRA : No 1
FECHA : 9 de Enero de 2014
REALIZADO POR : Capt. Diego López
SOLICITADO POR : Cuerpo de Ingenieros del Ejército

TABULACIÓN DE DATOS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD

DATOS DEL MOLDEO	No. DE CAPAS = 5			PESO MARTILLO = 4.5 Kg.		
MOLDE No.:	1	2	0			
Golpes/capa	56	25	10			
Peso comp. gr:	12.635	12.397	12.235			
Peso molde gr:	7.287	7.122	7.057			
Peso suelo gr:	5.348	5.275	5.178			
Volumen cm ³ :	2.302	2.302	2.302			
Dens. Hum Kg/m ³ :	2.323	2.291	2.249			
CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO:						
	E7	E4	J5	J12	E1	E2
W. humedo+Wcap. gr :	280,27	284,77	261,00	248,40	265,45	261,44
W. Seco+Wcap gr :	254,99	258,37	238,02	228,21	246,24	240,41
W. capsula gr:	33,87	34,11	33,82	33,46	33,71	33,56
w (%) :	11,43	11,77	11,25	10,37	9,04	10,17
w(%) prom.:		11,60		10,81		9,60
Dens. Seca Kg/m ³ :		2.082		2.068		2.052
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION:						
	A8	A60	A6	A100	A2	A50
W. humedo+Wcap gr :	450,77	410,68	465,49	484,22	471,20	475,56
W. Seco+Wcap. gr :	423,03	383,33	434,61	449,36	445,34	440,76
W. capsula gr:	101,68	102,65	102,83	102,90	102,56	102,74
w (%) :	8,63	9,74	9,31	10,06	7,54	10,30
w(%) prom.:		9,19		9,68		8,92
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA:						
Peso satr.:		12.738		12.498		12.398
Agua abs. :		103		101		163
% agua ab.:		1,93		1,91		3,15
PORCENTAJE DE COMPACTACION:						
DENSIDAD MAX.:	2080,0 kg/m3			HUMEDAD OPTIMA: 11,6 %		

MEDIDA DE LOS ESPONJAMIENTOS

Tabla 2.19: Detalle de los Esponjamientos medidos en el CBR

Elaborado por : Capt Diego López

ESPONJAMIENTO:						
MOLDE No.:	3		4		5	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0

TABULACIÓN DE DATOS PRESIÓN VS PENETRACIÓN

Tabla 2.20: Datos Obtenidos para el gráfico presión vs penetración

Elaborado por : Capt. Diego López

TIEMPO	PENETRACIÓN	MOLDE No 1					MOLDE No 2					MOLDE No 0							
		CARGA	PRESION	PRESION CORREGIDA	PRESION ESTÁNDAR	VALOR CBR	CARGA	PRESION	PRESION CORREGIDA	PRESION ESTÁNDAR	VALOR CBR	CARGA	PRESION	PRESION CORREGIDA	PRESION ESTÁNDAR	VALOR CBR			
min	pulg	dial	lbs	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²	dial	lbs	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²	dial	lbs	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²			
0,00	0	0	0	0			0	0	0			0	0	0					
0,30	25	80	602	201			32	241	80			56	422	141					
1,00	50	155	1167	389			68	512	171			108	813	271					
1,30	75	215	1619	540			115	866	289			155	1167	389					
2,00	100	263	1980	660	660	1000	66,0	164	1235	412	600	1000	60,0	207	1559	520	520	1000	52,0
3,00	150	335	2523	841			291	2191	730			287	2161	720					
4,00	200	510	3840	1280			422	3178	1059			382	2876	959					
5,00	250	618	4654	1551			541	4074	1358			478	3599	1200					
6,00	300	745	5610	1870			641	4827	1609			562	4232	1411					
8,00	400	956	7199	2400			821	6182	2061			717	5399	1800					
10,00	500	1120	8434	2811			956	7199	2400			853	6423	2141					

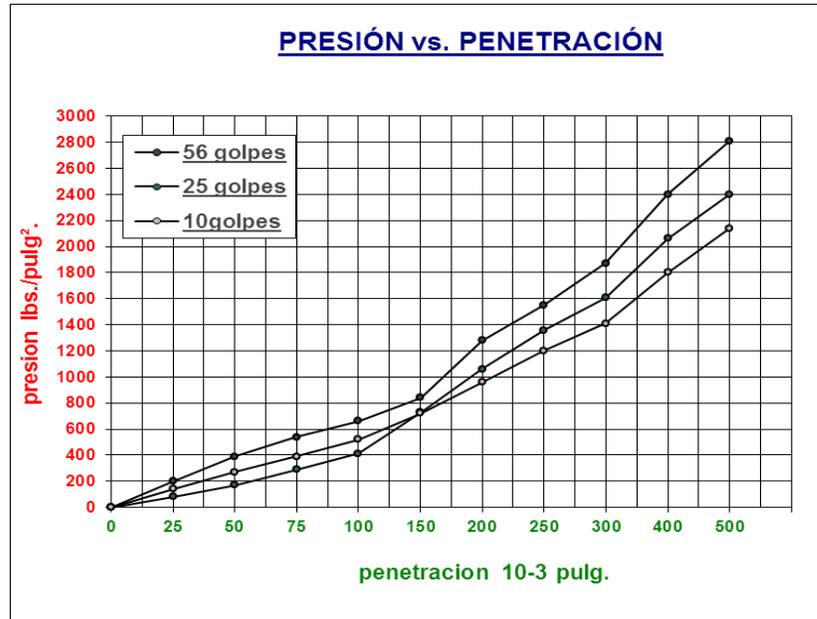


Figura 2.108: Gráfico presión vs penetración.
Elaborado por : Capt. Diego López

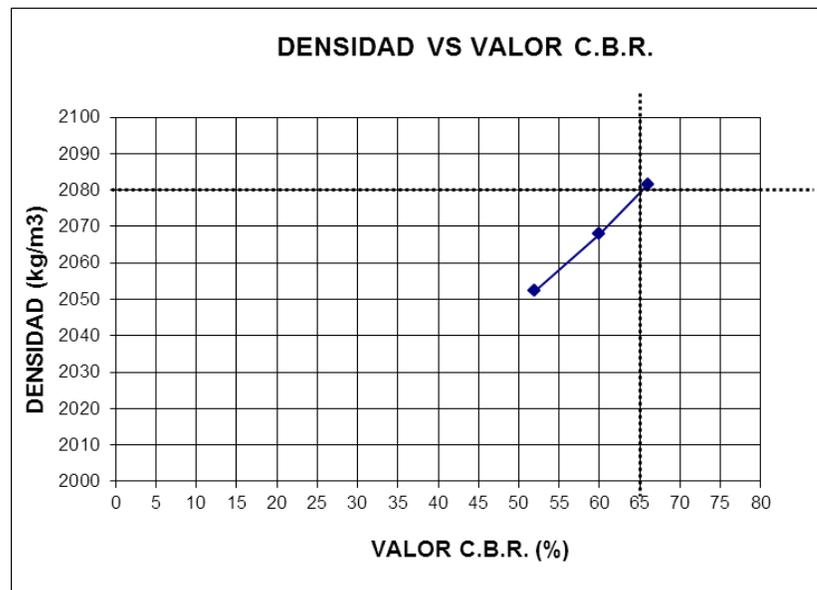


Figura 2.109: Gráfico Densidad vs CBR
Elaborado por : Capt. Diego López

Una vez moldeado el CBR y ejecutando su ensayo de acuerdo al procedimiento descrito anteriormente y con la tabulación de datos respectiva se obtiene la Figura 2.107: Gráfico en la cual el valor C.B.R al 95% de la máxima densidad es 66 %.

2.12.3 Ensayo CBR del Material de la Mina Colorado

A continuación se presentan los resultados del material de la mina colorado; los resultados y sus respectivos cálculos se presentan como anexo al final del presente documento. (VER ANEXO "I" ENSAYO CBR DEL MATERIAL DE LA MINA COLORADO).

Tabla 2.21: Ensayo CBR del Material de la Mina Colorado

Elaborado por: Capt. Diego López.

UBICACIÓN	: Aproximadamente a 9 Km de la Vía Ambato- Guaranda abscisa 30.000 (9 851 697 N / 738 134 E)
LOCALIZACIÓN	: Mina Colorado
MUESTRA	: No 1
FECHA	: 16 de Enero de 2014
REALIZADO POR	: Capt. Diego López
SOLICITADO POR	: Cuerpo de Ingenieros del Ejército

TABULACIÓN DE DATOS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD

DATOS DEL MOLDEO	No. DE CAPAS = 5			PESO MARTILLO = 4.5 Kg.		
MOLDE No.:	1	2	3			
Golpes/capa	56	25	10			
Peso comp gr:	13.246	13.056	12.996			
Peso molde gr:	7.287	7.122	7.194			
Peso suelo gr:	5.959	5.934	5.802			
Volumen cm ³ :	2.302	2.302	2.302			
Dens. Hum Kg/m ³ :	2.589	2.578	2.520			
CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO:						
	H1	H7	H17	H19	H15	H20
W. humedo gr:	171,46	181,56	196,23	193,92	193,09	193,62
W. seco gr :	163,17	172,44	186,89	184,65	183,21	182,66
W. capsula gr:	43,17	42,08	53,18	52,90	54,57	42,57
w (%) :	6,91	7,00	6,99	7,04	7,68	7,82
w(%) prom.:		6,95		7,01		7,75
Dens. Seca Kg/m ³ :		2.420		2.409		2.339
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION:						
	J13	E6	J2	E5	J12	E3
W. humedo+Wcap. gr :	285,02	279,59	246,51	254,31	278,12	253,46
W. Seco+ WCAP. gr :	273,91	268,94	235,87	242,37	269,14	244,48
W. capsula gr:	33,80	32,85	33,31	34,13	33,47	32,73
w (%) :	4,63	4,51	5,25	5,73	3,81	4,24
w(%) prom.:		4,57		5,49		4,03
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA:						
Peso saturado.:		13.347		13.184		13.158
Agua abs. :		101		128		162
% agua ab.:		1,69		2,16		2,79
PORCENTAJE DE COMPACTACION:						
DENSIDAD MAX.:		2416,0 kg/m ³		HUMEDAD OPTIMA:		7,65 %

MEDIDA DE LOS ESPONJAMIENTOS

Tabla 2.22: Detalle de los Esponjamientos medidos en el CBR

Elaborado por : Capt Diego López

ESPONJAMIENTO:						
MOLDE No.:	3		4		5	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0

TABULACIÓN DE DATOS PRESIÓN VS PENETRACION

Tabla 2.23: Datos Obtenidos para el gráfico presión vs penetración.

Elaborado por : Capt. Diego López

TIEMPO	PENETRACIÓN	MOLDE No 1					MOLDE No 2					MOLDE No 0							
		CARGA	PRESION	PRESION CORREGIDA	PRESION ESTÁNDAR	VALOR CBR	CARGA	PRESION	PRESION CORREGIDA	PRESION ESTÁNDAR	VALOR CBR	CARGA	PRESION	PRESION CORREGIDA	PRESION ESTÁNDAR	VALOR CBR			
min	pulg	dial	lbs	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²	dial	lbs	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²	dial	lbs	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²			
0,00	0	0	0	0			0	0	0			0	0	0					
0,30	25	80	602	201			32	241	80			56	422	141					
1,00	50	155	1167	389			68	512	171			108	813	271					
1,30	75	215	1619	540			115	866	289			155	1167	389					
2,00	100	263	1980	660	660	1000	66,0	164	1235	412	600	1000	60,0	207	1559	520	520	1000	52,0
3,00	150	335	2523	841			291	2191	730			287	2161	720					
4,00	200	510	3840	1280			422	3178	1059			382	2876	959					
5,00	250	618	4654	1551			541	4074	1358			478	3599	1200					
6,00	300	745	5610	1870			641	4827	1609			562	4232	1411					
8,00	400	956	7199	2400			821	6182	2061			717	5399	1800					
10,00	500	1120	8434	2811			956	7199	2400			853	6423	2141					

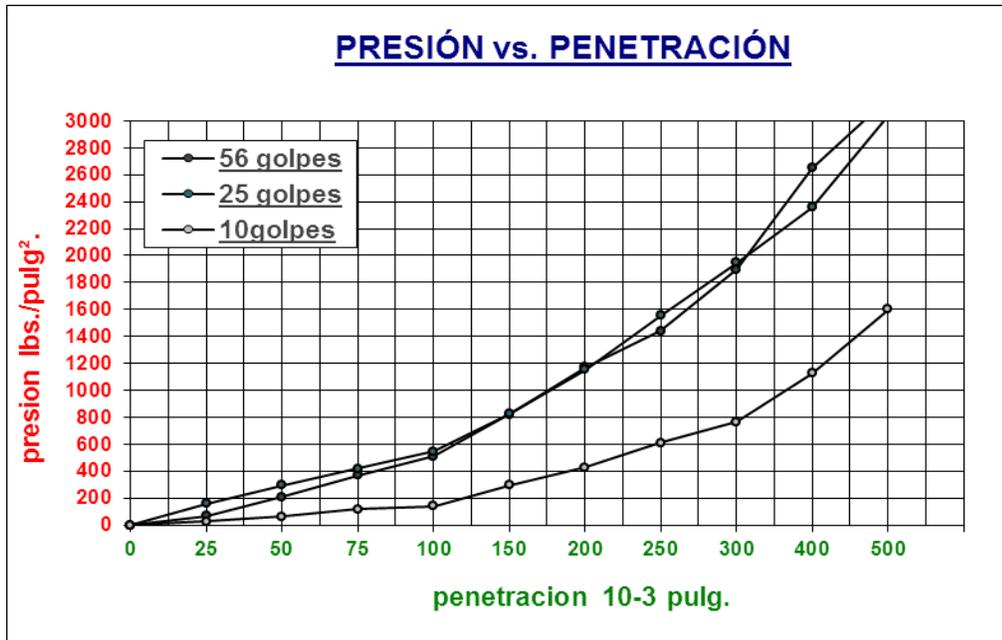


Figura 2.110: Gráfico presión vs penetración.

Elaborado por : Capt. Diego López

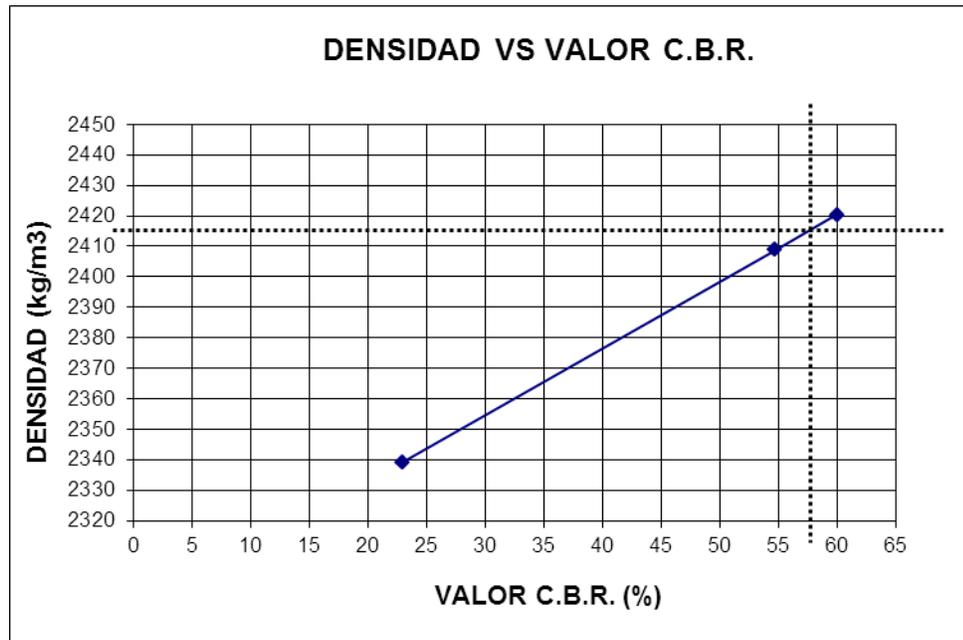


Figura 2.111: Gráfico Densidad vs CBR

Elaborado por : Capt. Diego López

Una vez moldeado el CBR y ejecutando su ensayo de acuerdo al procedimiento descrito anteriormente y con la tabulación de datos respectiva se obtiene la Figura 2.107: Gráfico en la cual el valor C.B.R al 95% de la máxima densidad es 57 %.

En resumen y para continuar con el Diseño del pavimento podemos citar los resultados de los diferentes materiales que detallo a continuación:

El material reciclado, de acuerdo a los ensayos realizados resultó con un CBR de 37%, la misma que sirve para la estructura del pavimento.

Adicionalmente se comprobó por medio de la Abrasión un desgaste del 35% utilizando el Método A; debido al peso de la carga abrasiva y al peso del material secado al horno del material reciclado.

El material reciclado debe ser utilizado como Sub-Base Clase 1, porque se encuentra gradado uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 1.

El material identificado como Base de acuerdo a los ensayos realizados resultó con un CBR de 66%,

Adicionalmente se comprobó por medio del ensayo de Abrasión un desgaste del 22%, utilizando el Método A; debido al peso de la carga abrasiva y al peso del material secado al horno del material identificado como Base.

El material destinado para Base, debe ser utilizado como Base Clase 3 Tipo A, porque se encuentra gradado uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Tipo A.

El material escarificado de la Mina Colorado, obtuvo un CBR de 57%, y un desgaste del 13% de acuerdo al ensayo de Abrasión utilizando el Método A; debido al peso de la

carga abrasiva y al peso del material secado al horno del material identificado como Base.

También podemos concluir que en los diferentes materiales ensayados no existió esponjamiento.

Además se concluyó que los materiales ensayados tienen una Matriz compuesta por Gruesos y Finos Arenosos sin Plasticidad.

CAPÍTULO III

IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES Y DISEÑO DEL PAVIMENTO

3.1 Identificar los materiales para las diferentes capas del pavimento.

Los materiales para este trabajo pueden ser explotados de canteras fuera de los límites del proyecto, o pueden provenir de la excavación del propio camino.

Los áridos no necesitan ser tratados, pero se los tamiza para separar las partículas gruesas que salgan de los límites granulométricos.

Los agregados gruesos son partículas resistentes y durables que tengan un porcentaje de desgaste a la abrasión de 50 % como máximo y las partículas finas son una mezcla de arena y arcilla o limo, y no deberán contener material vegetal. (Nevi12-MTOP, 2013)

3.1.1 Sub-base de Agregados

Descripción.- Este trabajo consiste en la provisión, mezclado, colocación, humedecido o aireación, extensión y conformación, compactación y terminado del material de sub-base granular compuestas por agregados obtenidos de trituración o de cribado, y deben cumplir los requerimientos especificados en la Sección 816.

Materiales.- Las sub-bases de agregados se clasifican como se indica a continuación, de acuerdo con los materiales a emplearse y al tipo de pavimento del cual forman parte.

La clase de sub-base que deba utilizarse en la obra debe estar especificada en los documentos contractuales. De todos modos, los agregados que se empleen deben tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles y la porción que pase el tamiz N° 40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25.

La capacidad de soporte corresponde a un CBR igual o mayor del 30%, que deben cumplir de acuerdo a las especificaciones que se especifican en la tabla 25.

Tabla 3.1: Granulometría de las Sub-bases Granulares.

Elaborado por : Especificaciones para la construcción de caminos y puentes NEVI-12, Volumen 3, pp 341.

TAMIZ	SUB-BASE CLASE I		SUB-BASE CLASE II		SUBBASE CLASE III		
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
3 "	76.2 mm					100,0	
2 "	50.4 mm			100,0			
1 1/2 "	38.1 mm	100,0	70,0	100,0			
No 4	4.75 mm	30,0	70,0	30,0	70,0	30,0	70,0
No 40	0.425 mm	10,0	35,0	15,0	40,0		
No 200	0.075 mm	0,0	15,0	0,0	20,0	0,0	20,0

3.1.2 Base de Agregados.

Descripción.- Este trabajo consiste en la construcción de capas de base compuestas por agregados triturados total o parcialmente o cribados, estabilizados con agregado fino procedente de la trituración, o suelos finos seleccionados, o ambos.

La capa de base se coloca sobre una sub-base terminada y aprobada, o en casos especiales sobre una subrasante previamente preparada y aprobada, y de acuerdo con los alineamientos, pendientes y sección transversal establecida en los planos o en las disposiciones especiales.

Materiales.- La clase y tipo de base que deba utilizarse en la obra estará especificada en los documentos contractuales, en concordancia con el tipo de vía y su utilización.

En todo caso, el límite líquido de la fracción que pase el tamiz N° 40 deberá ser menor de 25 y el índice de plasticidad menor de 6. El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menor del 40% y el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor al 80%.

A continuación se incluye una tabla con las recomendaciones para el uso de los diferentes tipos de material de base.

Tabla 3.2: Recomendaciones para uso de material de base.

Elaborado por: Tomado de Especificaciones para la construcción de caminos y puentes NEVI-12, Volumen 3, pp 372

MATERIAL ESPECIFICADO	TIPO DE CARRETERA	No CARRILES	TPDA
BASE CLASE 1	Para uso principalmente en aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico.	8 a 12	> 50.000
BASE CLASE 2	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3.65. Se incluye franja central desde 2 a 4 m	2 a 6	8000 - 50.000
BASE CLASE 3	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de tráfico	2 a 4	1.000 - 8.000
BASE CLASE 4	Caminos vecinales	2	< 1.000

Los agregados serán elementos limpios, sólidos y resistentes, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas. Las especificaciones del material Sub-base clase 1 y 2, se presentan a continuación:

Tabla 3.3: Porcentaje en peso que pasa a través de tamices para Sub-Base Clase 1.

Elaborado por: Especificaciones para la construcción de caminos y puentes NEVI-12, Volumen 3, pp 374.

TAMIZ	SUB-BASE CLASE 1	
	Min	Máx
2 "	50,4 mm	-
1 1/2 "	38,1 mm	100
No 4	4.75 mm	30,0
No 40	0.425 mm	10,0
No 200	0.075 mm	0,0

Tabla 3.4: Porcentaje en peso que pasa a través de tamices para Sub-Base Clase 2.

Elaborado por: Especificaciones para la construcción de caminos y puentes NEVI-12, Volumen 3, pp 374

TAMIZ		SUB-BASE CLASE 2	
		Min	Máx
3 "	25 mm	-	-
2 "	50,4 mm	-	100
1 1/2 "	38,1 mm	70	100
No 4	4.75 mm	30,0	70,0
No 40	0.425 mm	15,0	40,0
No 200	0.075 mm	0,0	20,0

3.1.3 Carpeta Asfáltica.

Descripción.- Este trabajo consiste en la colocación de una capa asfáltica bituminosa fabricada en caliente, y construida sobre una superficie debidamente preparada e imprimada, de acuerdo con la presente especificación. Las mezclas bituminosas para empleo en pavimentos en caliente se compondrán de agregados minerales gruesos, finos, filler mineral y material bituminoso.

3.2 Diseño del Pavimento.

El diseño de pavimentos tanto en los pavimentos flexibles como en los pavimentos rígidos y semirrígidos en carreteras y aeropuertos requiere del estudio a detalle y preciso de los materiales empleados en las capas del pavimento, su comportamiento bajo cargas y bajo todas las condiciones climatológicas del sitio para el cual se desea el pavimento.

El diseño de pavimentos lleva consigo propuestas del uso de ciertos materiales y especificaciones para la construcción del pavimento como son:

- Diseño de la Mezcla Asfáltica
- Material de base o sub-base
- Resistencia del material
- Acomodo de capas

Los métodos de guías de diseño están prescritos en el tipo y calidad de materiales requeridos para una estructura de pavimento conveniente, las mismas que entregan una lista de tipos de pavimentos para condiciones de soporte y capacidades de tráfico dadas.

Las condiciones de soporte usadas para el diseño necesitan ser analizadas en base a las opciones de diseño para las cuales fueron desarrolladas. Por esta naturaleza, el reciclado en frío ofrece un rango de soluciones de pavimentos, de las cuales muy pocas pueden ser proporcionadas en una guía.

Por lo tanto cuando la capa es reciclada, se dispone de las siguientes opciones:

- Aumentar el espesor de la capa, esto resulta una mayor profundidad de corte, la cual puede incorporar diferentes materiales (usualmente de mala calidad) del pavimento subyacente, y cuando el cambio del material es significativo, el diseño de mezclas debe ser repetido para determinar las propiedades correctas.
- Mezclar el material reciclado con agregados nuevos, cuando sea obvio que el reciclado indica un déficit en las propiedades del material, se puede mezclar con agregados importados de mejor calidad.

El paso final es ingresar los parámetros de resistencia del material en los procedimientos de diseño de pavimentos, y confirmar el espesor de la capa estabilizada que logra las exigencias de capacidad estructural.

3.2.1 Tipos de Pavimentos

Históricamente los pavimentos se han dividido en dos tipos:

Flexibles y Rígidos.



Figura 3.1: Pavimento Flexible y Rígido
Elaborado por: Capt Diego López.

3.2.2 Cargas de Tránsito en Pavimentos

De los aspectos anteriores podemos decir que las cargas de tránsito es el más importante, pero no el único. Las cargas del tránsito varían en función de su configuración, su magnitud, y sus repeticiones.

Existen Tres (3) formas de considerar el efecto que el tráfico y el vehículo tienen en el diseño de pavimentos, éstos son: Tránsito Fijo, Vehículo Fijo, Vehículo y/o Tráfico Variable.

3.2.2.1 Tránsito Fijo

El espesor del pavimento es gobernado por una carga de llanta-simple. Si el pavimento está sujeto a llantas-múltiples hay que convertir todas las cargas en llanta-

simple-equivalente mediante el factor (ESWL), de tal forma que el método de diseño de llanta-simple sea aplicado.

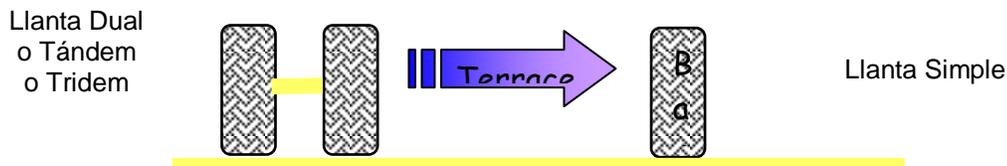


Figura 3.2: Tránsito Fijo.

Elaborado por: Tomado de Manual de diseño de pavimentos de la AASHTO 1993

3.2.2.2 Vehículo Fijo

El espesor del pavimento es regido por el número de repeticiones de un Eje Estándar de un vehículo de 8.2 toneladas (80 KN), $W_{8.2}$, lo que es igual a 18,000 libras, W_{18} .

3.2.2.3 Vehículo y Tráfico Variable.

Las cargas se dividen por número de grupos, y los esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones de cada grupo pueden ser evaluados con el fin de ser empleadas en el diseño. Este procedimiento es típico de los Métodos de Diseño Mecanicistas, donde la respuesta del pavimento bajo diferentes estados de cargas puede ser evaluada por medio de programas computacionales.

3.2.3 Datos de Ingeniería de Tránsito requeridos en el Diseño de Pavimentos.

1. El tránsito promedio diario anual, TPDA, vehículos/día.
2. La distribución vehicular por sentido de circulación.
3. La distribución vehicular por carriles, poniendo cuidado en el carril de proyecto.
4. La distribución vehicular por tipo de vehículo.
5. EL crecimiento vehicular a lo largo del período de análisis.

3.2.3.1 Tránsito Promedio Diario Anual, (TPDA).

El TPDA es el promedio del tránsito total diario (24 horas) que cruza por la sección transversal de una vía durante los 365 días del año. Este valor puede ser proporcionado por el Ministerio de Transportes. Para el caso de diseño de un camino nuevo, los valores de TPDA de tramos conocidos con características socioeconómicas similares, se tomarán como base de cálculo, pero en el caso de no existir datos se tomará valores que vayan acorde con la realidad y uso.

3.2.3.2 Distribución Vehicular por Sentido de Circulación o Dirección Fd.

En períodos de tiempo cortos, de horas por ejemplo, en los caminos el tránsito no siempre es el mismo en los dos sentidos. Los flujos vehiculares mayores se dan en un sentido por la mañana y en el sentido contrario por la tarde. Al extrapolar a un período de tiempo de un año y de varios años, el flujo vehicular por sentido en la sección transversal de un camino puede ser el mismo, o sea, por ambos puntos pasaron el mismo número de ejes con el valor de $F_d = 0.50$.

3.2.3.3 Distribución Vehicular por Carriles, Fc.

Cuando por sentido existen 2 o más carriles, uno de estos carriles es el que está sujeto a mayores cargas y regularmente es el carril derecho o hacia el acotamiento de la sección.

Los métodos de diseño consideran un factor de distribución por carril de diseño F_c , diferente con el cual se selecciona una fracción del volumen vehicular por sentido para ser considerado en el carril crítico o de diseño.

Tabla 3.5: Factor de Distribución por Carril

Elaborado por : Diseño estructural de caminos método AASHTO 93

No CARRILES EN CADA SENTIDO	PORCENTAJE DE W_{18} EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4 o más	50 - 75

3.2.3.4 Distribución Vehicular por Tipo de Vehículo.

A continuación se presentan los tipos de vehículos de diseño que constan en la norma NEVI-12 y que constituye la base para el cálculo del diseño del pavimento.

- Tipo A: Automóvil y Camioneta.
- Tipo B: Autobuses.
- Tipo C: Camiones.
- Tipo TS: Tractocamión con Semirremolque.
- Tipo TSR: Tractocamión con Semirremolque y Remolque.

3.2.3.5 Crecimiento Vehicular a lo largo del Período de Análisis.

El objetivo es calcular el número acumulado de vehículos o ejes equivalentes que circularán por el carril de diseño, durante el período de análisis. Para cumplir con este objetivo se requiere básicamente conocer el tipo de crecimiento del tránsito vehicular, así como el ritmo o tasa de crecimiento.

3.2.4 Condiciones Climatológicas

Al emplearse diferentes materiales en la construcción del pavimento, hay que tener en cuenta la presencia de agentes climatológicos que pueden influir en la durabilidad de los mismos. Se debe tener cuidado con la temperatura del aire, temperatura del pavimento y humedad de los materiales que son parámetros que influyen directamente en el diseño del pavimento y que deben ser tomados en cuenta por el Ingeniero.

3.2.5 Materiales para Capas del Pavimento

El diseño de pavimentos debe llevar consigo propuestas del uso de los materiales adecuados y especificaciones para la construcción del pavimento. El pavimento es una superficie que debe permitir la circulación del tránsito mixto, en condiciones de seguridad, confort y comodidad, bajo cualquier condición climática, (Nevi 12-MTOP, 2013) por lo cual se deben cumplir con los requisitos para cada una de las partes que conforman la estructura del pavimento en cuanto a sus agregados en función del uso de la vía.

3.3 Pavimentos Flexibles.

Son aquellos que tienden a deformarse y recuperarse después de sufrir deformación, transmitiendo la carga en forma lateral al suelo a través de sus capas. Está compuesto por una delgada capa de mezclas asfálticas, colocada sobre capas de base y sub-base, generalmente granulares. En el pavimento flexible el esfuerzo de las ruedas es transmitido hacia las capas inferiores (Base, Sub-base y Sub-rasante).



Figura 3.3: Tendido de Pavimento Flexible.
Elaborado por: Capt. Diego López.

3.3.1 El Asfalto

El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro; su consistencia es variable, está constituido mayoritariamente por una mezcla de hidrocarburos pesados. Se encuentra en yacimientos naturales o se obtiene por refinación del petróleo y es usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras o autopistas (entendiéndose como aglomerante aquellos materiales capaces de generar fuerzas para unir fragmentos de una o varias sustancias o materiales y dar cohesión al conjunto).

También es utilizado en impermeabilizantes, material en forma de placa o lámina de distinta naturaleza (filtros asfálticos, materiales de polímeros sintéticos, membranas de fibras orgánicas, etc.), destinado a impedir el paso del agua. (Torres, 2010)

3.3.2 Diseño Estructural.

Los pavimentos flexibles están conformados estructuralmente por capas de materiales granulares compactados y una superficie de rodadura (construida normalmente a base de concreto asfáltico) la cual forma parte de la estructura del pavimento. La superficie de rodadura al tener menos rigidez se deforma más y se producen mayores tensiones en la sub-rasante.

3.3.2.1 Método AASHTO para Diseño de Pavimentos.

El procedimiento que se presenta a continuación, se encuentra basado en resultados obtenidos de una pista de prueba que tuvo lugar en Ottawa, Illinois cuando casi terminaban los años cincuenta. Las ecuaciones empíricas en las que se basa este método, fueron diseñadas para el lugar en la que se efectuó la prueba, sin embargo a través del tiempo han sido adaptadas para que su uso en primera instancia sea para los Estados Unidos y luego para el resto del mundo.

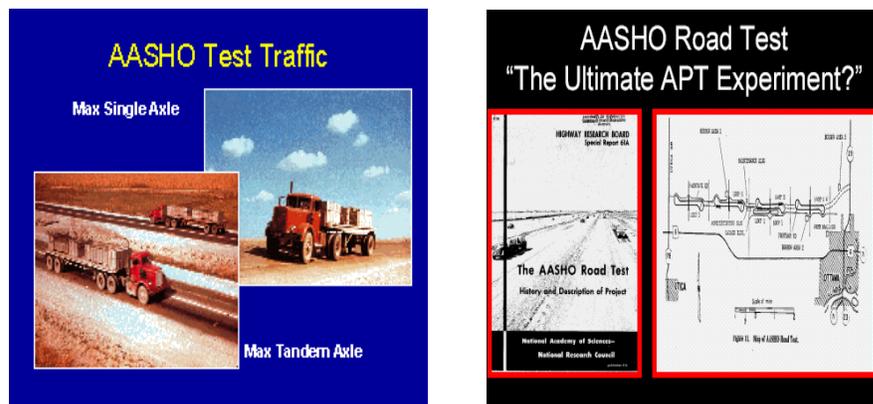


Figura 3.4: Ensayo Vial AASHTO.

Elaborado por : Manual de diseño AASHTO de pavimentos en 1993

Para el caso de la vía que se desea diseñar y observando los valores de CBR de los diferentes materiales obtenidos en las pruebas de laboratorio; se puede observar el suelo por tener las características de ser Arenoso sin Plasticidad, en toda la configuración del tramo en estudio donde se desea asentar la vía.

Tabla 3.6: Resumen de los valores CBR obtenidos en el laboratorio de ensayos.

Elaborado por: Capt. Diego López

ORD	MATERIAL	PORCENTAJE DEL ENSAYO	VALOR CBR OBTENIDO
1	Material Reciclado	95 %	37 %
2	Material Identificado para Base	95 %	66 %
3	Material de la Mina Colorado	95 %	57 %

El valor K que se constituye en el Módulo de reacción de Westergaard, que debe ser calculado por medio del ensayo de placa, pero al ser muy costoso y demorado, puede ser estimado mediante los valores CBR, obtenidos en los ensayos de laboratorio. El método de correlación CBR-K es bueno porque da una buena apreciación de K y cambios leves no afectan los valores de espesor requerido. El módulo de reacción k representa el soporte del terreno (natural o terraplén) y puede ser incrementado con la construcción de una capa de sub-base o base.

Según un estudio realizado por la Portland Cement Association, nos indica por medio de un ejemplo, que si se tiene un CBR de 10 % e ingreso al gráfico de la Figura 3.5 se obtiene un valor de $K= 50$, ver figura 128.

Con el valor del CBR obtenido de los diferentes materiales en estudio, se ingresa a la Figura 3.5, para obtener el valor de K que nos permita continuar con la aplicación del método AASHTO que se propone en el presente documento.

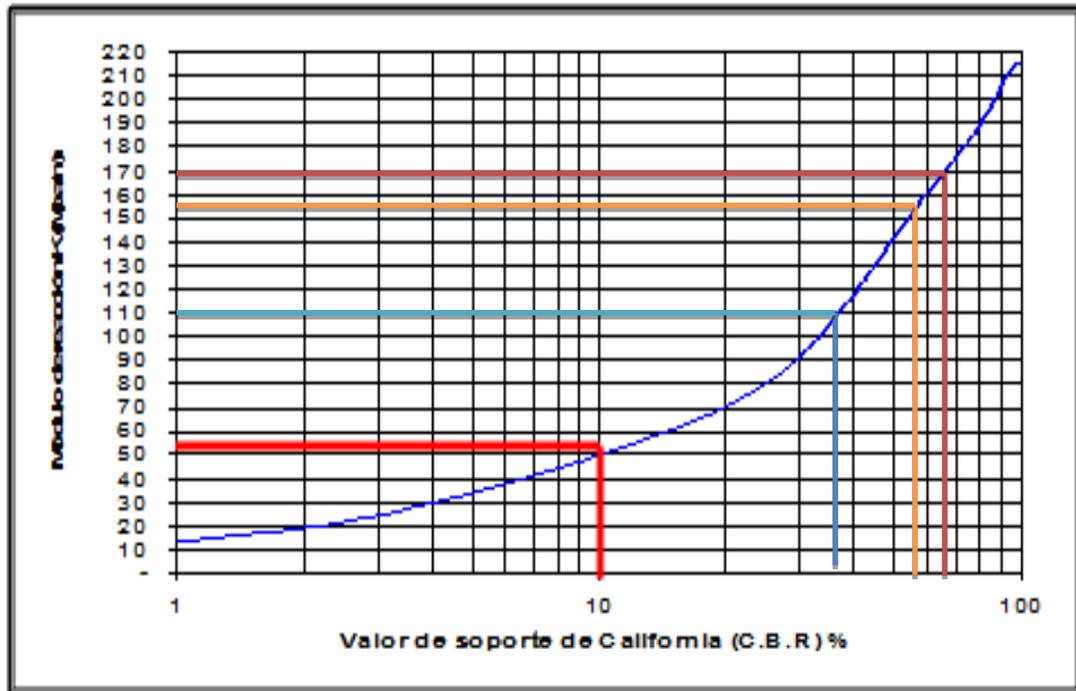


Figura 3.5: Grafico Módulo de reacción vs CBR
Elaborado por: Portland Cement Association

Tabla 3.7: Resumen de los valores K de acuerdo a los CBR obtenidos en el laboratorio de ensayos.

Elaborado por: Capt. Diego López

ORD	MATERIAL	VALOR CBR OBTENIDO	VALOR K
1	Material Reciclado	37 %	110
2	Material Identificado para Base	66 %	170
3	Material de la Mina Colorado	57 %	155

De los datos obtenidos del CBR, ya se puede iniciar el diseño, valor CBR de 37% del material Reciclado, valor CBR de 66% del material Identificado para Sub-Base, valor CBR de 57% del material de la Mina Colorado.

Además como datos iniciales, se tiene el conteo del tráfico para el valor de TPDAo, obtenida del Censo Estación No 2, y de Origen y Destino (O/D), en los dos sentidos, situado en el sector de Yatzapuzan, proporcionado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

Tabla 3.8: El TPDAo obtenida del Censo.

Elaborado por: Capt. Diego López

Vía	Vehículos
Ambato-Guaranda	491
Guaranda-Ambato	439
Total (TPDAo)	930

3.3.2.2 Confiabilidad

La selección del nivel apropiado de confiabilidad para el diseño de un pavimento está dictada por el uso esperado de ese pavimento. Un nivel de confiabilidad alto implica un pavimento más costoso y por lo tanto mayores costos iniciales, pero también pasará más tiempo hasta que ese pavimento necesite una reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores.

Con el concepto antes anotado se trata de integrar en el proceso de diseño cierto grado de incertidumbre con la finalidad de asegurar que la alternativa de diseño escogida alcance el tiempo para el cual se proyecta su durabilidad.

Tabla 3.9: Niveles de confiabilidad aconsejados por AASHTO.

Elaborado por: Diseño Estructural de caminos Método AASHTO 93.

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	NIVEL DE CONFIANZA RECOMENDADOS	
	URBANO	RURAL
Interestatal y Autopista	85 - 99.9	80 - 99.9
Arteria Principales	80 - 99	75 - 99
Calles Colectoras	80 - 95	75 - 95
Calles Locales	50 - 80	50 - 80

3.5.2.3 Desviación Normal (S_o) y Estándar (Z_r)

Los valores recomendados según el método AASHTO se presentan a continuación:

Tabla 3.10: Desviación Estándar.

Elaborado por: Diseño Estructural de caminos Método AASHTO 93.

Valores de Desviación Normal Estándar (Z_r)	VALORES DE ERROR ESTÁNDAR	
	SIN	CON
	ERRORES DE TRÁNSITO	ERRORES DE TRÁNSITO
90	-1,282	
95	-1,645	$0,44 < S_o < 0,34$
98	-2,054	$0,49 < S_o < 0,39$

Como se indicó anteriormente en los datos iniciales para el diseño de esta vía se conoce el valor del $TPDA_0$, por lo tanto el valor de desviación estándar a tomarse deberá ser el que fluctúa entre 0.44 y 0.34.

3.5.2.4 Período de Vida.

Es el tiempo que existe entre la condición inicial de la estructura del pavimento hasta el instante en que ésta necesita de rehabilitación.

También se puede definir como el tiempo entre:

- Serviciabilidad inicial (PSI) (entre 4.2 y 4.5) y la;
- Serviciabilidad final (Pt):

Para autopistas $Pt = 3.0$

Para carreteras de importancia media $Pt = 2.5$

Para carreteras de importancia baja $Pt = 2.0$

Como dato de recomendación en la literatura del modelo de cálculo de la AASHTO 93 indica que se deben tomar 4.2 como PSI inicial y 2.5 como PSI final.

3.5.2.5 Período de Análisis.

Es el tiempo que se tiene como estrategia de diseño del pavimento, el cual puede ser igual al período de vida ya definido. Este período puede ser en muchas ocasiones mayor al período de vida ya que existen variables en los procesos de selección de materiales, los procedimientos de construcción o condiciones climáticas difíciles de considerar en el diseño y que pueden hacer que la duración de los pavimentos sea menor que el período de análisis considerado.

Tabla 3.11: Recomendaciones AASHTO 93 para el período de Análisis.**Elaborado por:** Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO 93.

Condiciones del Camino	Período de Análisis (años)
Alto Volumen Urbano	30 – 50
Alto Volumen Rural	20 – 50
Bajo Volumen Pavimentado	15 - 25
Bajo Volumen Revestido	10 - 20

3.5.2.6 Cálculo para el Diseño del Pavimento.

Una vez analizados los datos se procede al cálculo de las capas de la estructura del pavimento flexible.

Datos:

Periodo de Diseño = 20 años.

Desviación Estándar = 0.44

Confiabilidad (R) = 90%

3.5.2.6.1 Cálculo del TPDA final (TPDAf)

Se debe aplicar la siguiente fórmula que es la misma que se aplica en matemática financiera:

$$TPDA_f = TPDA_o * (1 + i)^n \quad (\text{Ecuación No 1})$$

Donde

TPDA _f	Tráfico Promedio Diario Anual Final.
TPDA _o	Tráfico Promedio Diario Anual Inicial.
i	Tasa de incremento.
n	Período de Diseño en Años de Operación

Se define como años de operación (n), al tiempo comprendido desde la inauguración del proyecto hasta el término de su vida útil teniendo las siguientes consideraciones:

Proyecto de rehabilitación y mejoras	n=20 años
Proyectos especiales de nuevas vías	n= 30 años
Proyectos Nacionales	n= 50 años.

Cabe recalcar que para el Ecuador en el caso de la tasa de incremento utilizada varía entre (4.0 % y 4.5%), por lo que se toma un promedio de 4.3% y reemplazando en la Ecuación No 1 se obtiene:

$$TPDA_f = 930 * \left(1 + \left(\frac{4.3}{100} \right) \right)^{20} = 2158,58 \text{ Vehículos}$$

Para normalizar, la estructura de la red vial del país de este siglo se ha clasificado a las carreteras de acuerdo al volumen de tráfico que procesa o que se estima procesará en el año horizonte o de diseño, la tabla 3.12 presenta la clasificación funcional propuesta de las carreteras y caminos en función del TPDA.

Tabla 3.12: Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA.

Elaborado por: La Norma para Estudios y Diseños Viales NEVI 12-MTOP.

Clasificación Funcional de la Vía en base al TPDA			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) al año de horizonte	
		Límite Inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 Carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Como podemos observar nuestro TPDA calculado anteriormente es de 2158,58, y aplicando la tabla 3.12 de la Clasificación Funcional, se considera como una Carretera de 2 Carriles C1.

C1=Equivale a una carretera de mediana capacidad.

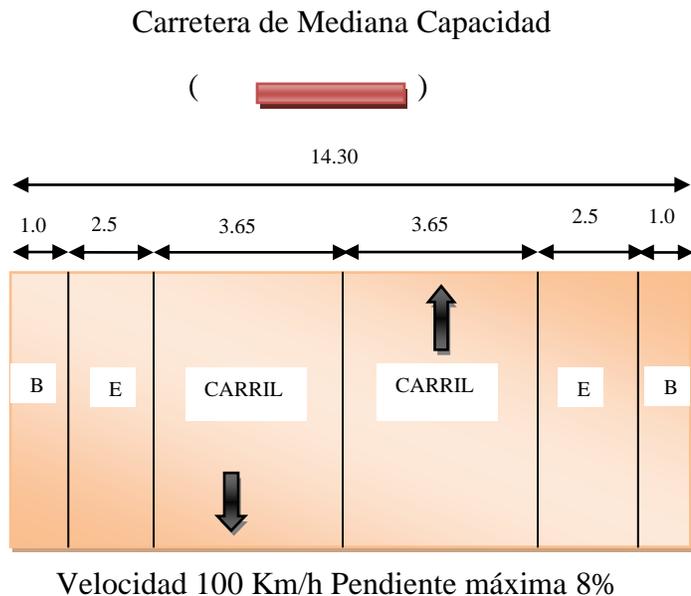


Figura 3.6: Tomado de Norma para Diseño Vial, Volumen 2 Libro A
Elaborado por: Capt. Diego López

3.5.2.6.2 Factor de Carga Equivalente.

Los "Factores de Equivalencia" para los ejes simples y tándem (dobles y triples) son los derivados empíricamente en el Ensayo Vial AASHO en función no solo de la magnitud de la carga y la configuración del eje que la transmite al pavimento, sino también del tipo de pavimento (flexible o rígido), del espesor del pavimento y de la condición final de calidad de rodaje del pavimento para el momento final del periodo de diseño y obedecen en una forma muy simplificada, a la relación exponencial siguiente:

A continuación se presenta un esquema en el cual se observa los datos a ser empleados al aplicar las ecuaciones sugeridas para el diseño AASHO.

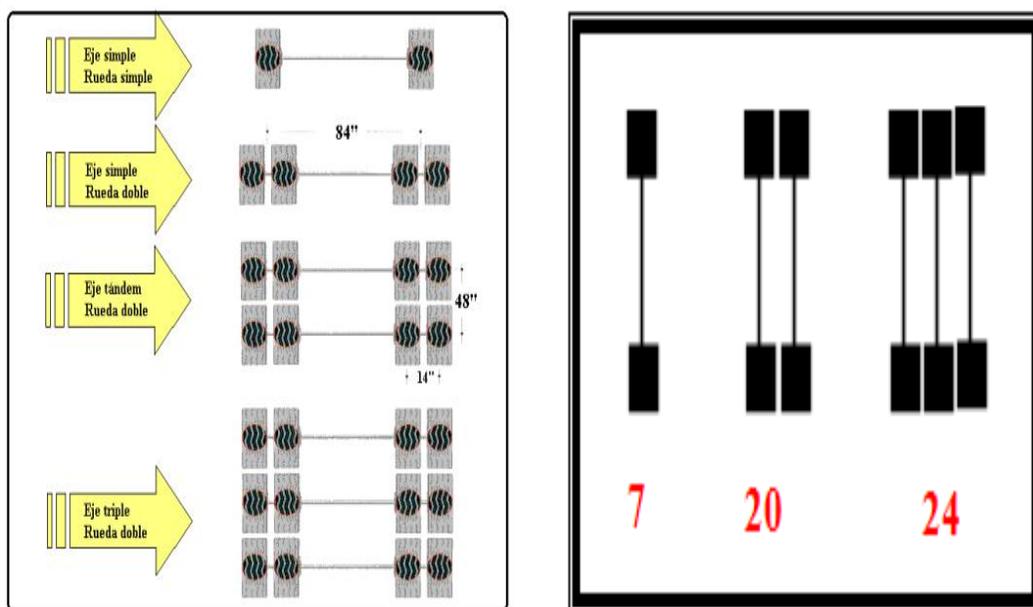


Figura 3.7: Número de Ejes que se representan en planta del camión tipo de cálculo.

Elaborado por: Capt. Diego López

$$F_{ss} = \left[\frac{L_{ss}}{6.6} \right]^4 = \left[\frac{7}{6.6} \right]^4 = 1.265 \quad (\text{FQE para Eje Simple llanta simple})$$

$$F_{st} = \left[\frac{L_t}{15} \right]^4 = \left[\frac{20}{15} \right]^4 = 3.160 \quad (\text{FQE para Eje Tándem rueda doble})$$

$$F_{tr} = \left[\frac{L_{tr}}{23} \right]^4 = \left[\frac{24}{23} \right]^4 = 1.186 \quad (\text{ FQE para Eje Triple rueda doble})$$

$$FQE = F_{ss} + F_{st} + F_{tr} \quad (\text{ Factor de Carga Equivalente Total})$$

$$FQE = 1.265 + 3.160 + 1.186 = 5.611$$

3.5.2.6.3 Distribución de Tráfico

El factor de distribución por sentido (Dt) permite cuantificar la fracción del total del tránsito que circula en el sentido de diseño, y sus valores son los que se indican en la siguiente tabla y tiene mucho que ver el modo de medición del tránsito.

Tabla 3.13: Valores de Distribución de Trafico por sentido de Circulación.

Elaborado por : Diseño estructural de caminos

Modo de Medición	Dt
En Ambos Sentidos	0.50
Por sentido de circulación	1.00

3.5.2.6.4 Número de Ejes Equivalentes de 8,2 Ton.

Sin lugar a duda el método más efectivo para obtener las características del tránsito real respecto al eje sencillo de 8,2 Ton, sería el pesaje del vehículo pero esto demandaría costos elevados, en tal virtud se va a proceder a realizar su cálculo según la siguiente ecuación:

$$N_{8,2} = \left[\frac{TPDA_f + TPDA_o}{2} \right] * n * 365 * Dt * FQE$$

Dónde:

TPDA _f	Tráfico Promedio Diario Anual Final.
TPDA _o	Tráfico Promedio Diario Anual Inicial.
Dt	Distribución de Tráfico.
n	Período de Diseño en Años.
FQE	Factor de Carga Equivalente.

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$W_{8,2} = \left[\frac{2158.58 + 930}{2} \right] * 20 * 365 * 0.50 * 5.611 = 31627290.84$$

$$w_{8,2} = 3.2 * 10^7$$

3.5.2.6.5 Método del Diseño Elástico para Pavimentos Flexibles

Está sustentado en resultados experimentales y consiste en la obtención de los espesores de cada una de las capas del pavimento por medio del retrocálculo.

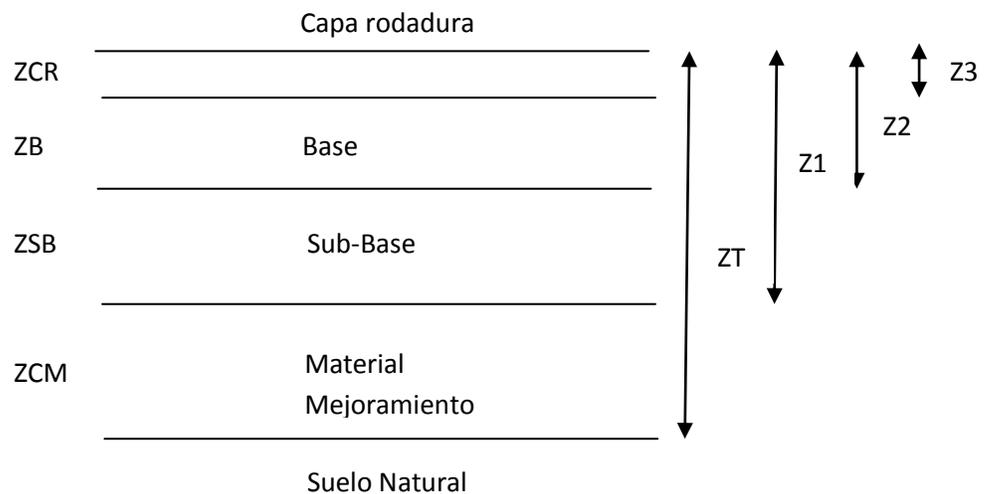


Figura 3.8: Diseño Elástico del Pavimento Flexible
Elaborado por: Capt. Diego López

Procedimiento del Diseño Elástico

1) Capacidad de Carga de la Sub-rasante

Tomando en cuenta que tenemos un CBR de la Sub-rasante del 3% que es muy bajo para la resistencia al corte, esta información fue proporcionada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, que se necesita para realizar el cálculo de la presión admisible.

$$\sigma_{adm} = \frac{0.1(\text{CBR})^{1.2}}{(\text{Nt})^{0.23}}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.1(3)^{1.2}}{(3.2 * 10^7)^{0.23}} = 7.04 * 10^{-3} \text{ MPa}$$

2) Espesor total (ZT)

Cálculo del espesor total del pavimento necesario para soportar las cargas generadas por el paso de vehículos, para lo cual necesitamos:

Radio de huella $r = 15 \text{ cm}$ y

Esfuerzo de contacto $\sigma_c = 7 \text{ Kg/cm}^2$ o su equivalente 0.686 MPa . (El esfuerzo de contacto se hace referencia al inflado de la llanta con un valor de 7 Kg/cm^2).

$$ZT = \frac{r}{\left[\frac{1}{\left[1 - \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_c} \right]^{0.67}} - 1 \right]^{0.5}}$$

$$ZT = \frac{r}{\left[\frac{1}{\left[1 - \frac{7.04 * 10^{-3}}{0.686} \right]^{0.67}} - 1 \right]^{0.5}} = 180.14 \text{ cm}$$

$$ZT = 180 \text{ cm}$$

3) Espesor de la Capa de Mejoramiento (ZCM)

Sólo se recomienda si el CBR de la sub-rasante es < 10 caso contrario no es necesario tender una capa de mejoramiento.

En nuestro caso tenemos un CBR de la Sub-rasante de 3%, por lo tanto calculamos la tensión de fatiga del mejoramiento, con un CBR de 10% del material de mejoramiento proporcionado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

$$\sigma_f, \text{cm} = \frac{0.03(\text{CBR})}{1 + 0.3 \log Nt}$$

$$\sigma_f, \text{cm} = \frac{0.03(10)}{1 + 0.3 \log 3.2 * 10^7} = 0.102 \text{ MPa}$$

Cálculo del espesor de la capa de mejoramiento a través del cálculo de Z1.

$$Z1 = \frac{r}{\left[\frac{1}{\left[1 - \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_c} \right]^{0.67}} - 1 \right]^{0.5}}$$

$$Z1 = \frac{15}{\left[\frac{1}{\left[1 - \frac{0.102}{0.686} \right]^{0.67}} - 1 \right]^{0.5}} = 44.45 \text{ cm}$$

$$Z1 = 44 \text{ cm}$$

Luego el espesor de la capa de mejoramiento es:

$$Z_{cm} = Z_T - Z1$$

$$Z_{cm} = 180 - 44$$

$$Z_{cm} = 136 \text{ cm}$$

Por método constructivo se considera un espesor de $Z_{cm} = 135 \text{ cm}$ para la capa de mejoramiento.

4) Espesor de la capa de Sub- base (ZSB)

Es un material de reciclado que da una granulometría de Sub-base Clase 1, por efecto del envejecimiento

Cálculo de la presión de fatiga.

$$\sigma_f, \text{ cm} = \frac{0.03(\text{CBR})}{1 + 0.3 \log Nt}$$

$$\sigma_f, \text{ cm} = \frac{0.03(37)}{1 + 0.3 \log 3.2 * 10^7} = 0.376 \text{ MPa}$$

Cálculo del espesor de la Sub-base según la fórmula:

$$Z2 = \frac{r}{\left[\frac{1}{\left[1 - \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_c} \right]^{0.67}} - 1 \right]^{0.5}}$$

$$Z2 = \frac{15}{\left[\frac{1}{\left[1 - \frac{0.376}{0.686} \right]^{0.67}} - 1 \right]^{0.5}} = 17.89 \text{ cm}$$

$$Z2 = 18 \text{ cm}$$

Luego el espesor de la capa de Sub-base es:

$$ZSB = Z1 - Z2$$

$$ZSB = 44 - 18$$

$$ZSB = 26 \text{ cm}$$

Por método constructivo se considera un espesor de ZSB= 25cm para la capa de Sub-base.

5) Espesor de la capa de Base (ZB)

Cálculo de la presión de fatiga a nivel de la base.

$$\sigma_f, \text{ cm} = \frac{0.03(\text{CBR})}{1 + 0.3 \log Nt}$$

$$\sigma_f, \text{ cm} = \frac{0.03(66)}{1 + 0.3 \log 3.2 * 10^7} = 0.671 \text{ MPa}$$

Cálculo del espesor sobre la capa del material reciclado (Sub-base clase 1).

$$Z3 = \frac{r}{\left[\frac{1}{\left[1 - \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_c} \right]^{0.67}} - 1 \right]^{0.5}}$$

$$Z3 = \frac{r}{\left[\frac{1}{[1 - 0.686]^{0.67}} - 1 \right]^{0.5}} = 4.35 \text{ cm}$$

$$Z3 = 5 \text{ cm}$$

Espesor de la capa de base granular es:

$$ZB = Z2 - Z3$$

$$ZB = 18 - 5$$

$$ZB = 13 \text{ cm}$$

Por método constructivo trabajamos con un espesor de $ZB = 15 \text{ cm}$, para un mejor soporte y cohesión de la capa de base granular.

6) Espesor de la capa de Rodadura (ZCR).

El proceso termina determinando que el material a colocar sobre la capa de base es ($Z3$) y corresponde al espesor de la capa de rodadura, es decir:

$$ZCR = Z3$$

$$ZCR = 5 \text{ cm}$$

Diseño Propuesto de Estructura

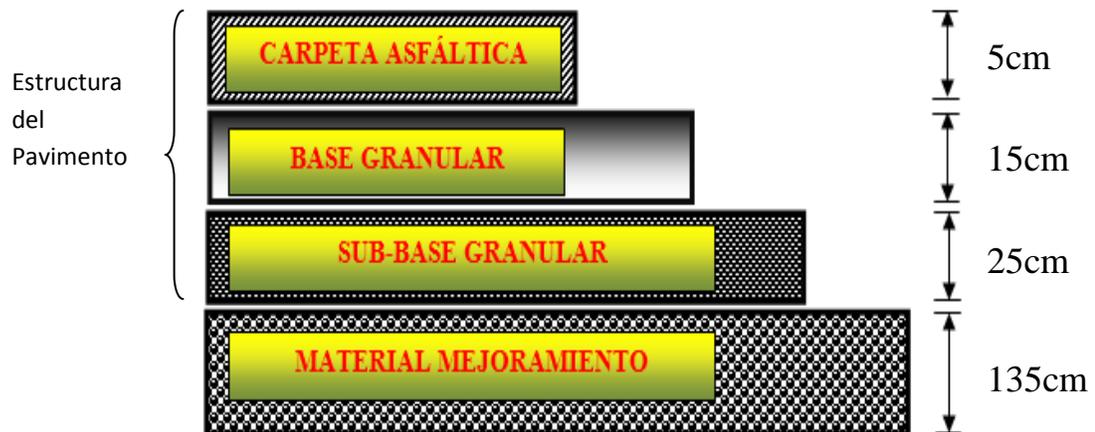


Figura 3.9: Diseño Propuesto de la Estructura

Elaborado por: Capt. Diego López

3.5.2.7 Valores Admisibles de Deformaciones, Esfuerzos y Deflexión en Estructuras de Pavimentos Flexibles.

3.5.2.7.1 Criterios Fundamentales para el Diseño de un Pavimento (H., 2000)

En el diseño de una estructura de pavimento se deben controlar tres factores:

1) Control de Fatiga

La deformación radial de tracción actuante en la capa bituminosa ϵ_r , deberá ser menor a la deformación radial de tracción admisible ϵ_{radm} , con el fin de controlar la fatiga de la capa bituminosa ante las sollicitaciones de carga impuestas por el tránsito, es decir, los daños estructurales.

$$\epsilon_r < \epsilon_{radm}$$

Fórmula de la CRR de Bélgica para calcular la deformación por tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica.

$$\epsilon_r = 1.60 * 10^{-3} (N^{-0.21})$$

$$\epsilon_r = 1.60 * 10^{-3} * (3.2 * 10^7)^{-0.21}$$

$$\epsilon_r = 4.25 * 10^{-5}$$

$$\epsilon_{radm} = 8.075 * 10^{-5}$$

$$4.25 * 10^{-5} < 8.075 * 10^{-5}$$

Cumple con el criterio de Control de Fatiga.

2) Control de Ahuellamiento

La deformación vertical de compresión ϵ_z , presente sobre la capa de sub-rasante deberá ser menor a la deformación vertical de compresión admisible ϵ_z adm, con el fin de controlar el ahuellamiento y la deformación de la estructura del pavimento, es decir, los daños funcionales.

$$\epsilon_z < \epsilon_z \text{ adm}$$

Fórmula de la CRR de Bélgica para calcular la deformación por compresión sobre la sub-rasante.

$$\epsilon_z = 1.10 * 10^{-2} (N^{-0.23})$$

$$\epsilon_z = 1.10 * 10^{-2} * (3.2 * 10^7)^{-0.23}$$

$$\epsilon_z = 2.07 * 10^{-4}$$

$$\epsilon_{zadm} = 4.177 * 10^{-4}$$

$$2.07 * 10^{-4} < 4.177 * 10^{-4}$$

Cumple con el criterio de Control de Ahuellamiento.

3) Control de la Deflexión

La deflexión vertical Δz , presente en la superficie de la estructura deberá ser menor a la deflexión vertical admisible Δz_{adm} , con el fin de controlar el ahuellamiento y la deformación de la estructura del pavimento, es decir los daños funcionales.

$$\Delta z < \Delta z_{adm}$$

Fórmula de Huang para calcular la deflexión vertical en la superficie de la estructura.

$$\Delta z = 26.32202 (N^{-0.2438})$$

$$\Delta z = 26.32202 (3.2 * 10^7)^{-0.2438}$$

$$\Delta z = 0.389 \text{ mm}$$

$$\Delta z_{adm} = 0.822 \text{ mm}$$

$$0.389 < 0.822 \text{ mm}$$

Cumple con el criterio de Control de la Deflexión

3.5.2.8 Diseño del Pavimento Flexible empleando el Método AASHTO 1993

Procedimiento

1) Índice de servicio inicial $P_o = 4.2$

Índice de servicio final $P_t = 2.5$

ΔPSI = Diferencia entre el índice inicial de servicio (p_i) y el índice final de servicio (p_f) del pavimento.

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.5 = 1.7 \cong 2.0$$

2) CBR de los Materiales

CBR de la Sub-rasante 3%

CBR de la Sub-base 37%

CBR de la Base 66%

3) Coeficientes de Drenaje

Los coeficientes de drenaje recomendados por el método se pueden obtener de la siguiente tabla, y se considera un drenaje Bueno con períodos de evacuación de agua de 1 día y además se calcula en función del porcentaje los índices de lluvia que se presentan; el valor es mayor al 25% ya que de los doce meses del año al menos llueven 5; por lo tanto $m=1$.

Tabla 3.14: Coeficientes de Drenaje.

Elaborado por: Diseño de pavimentos y carreteras.

Calidad del Drenaje		Porcentajes del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercana a saturación			
Condición	Extracción del agua	Menor que 1 %	1 % - 5 %	5 % -25 %	Mayor que 25 %
Excelente	2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1 día	1.25 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1 Semana	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80
Malo	1 Mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy malo	No Drena	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

4) Número de Ejes Equivalentes de 8,2 Ton.

$$w_{8.2} = 3.2 * 10^7$$

5) Módulos Resilientes

Dado a que no siempre se cuenta con el equipo necesario para el ejecución del ensayo del módulo resiliente, por lo que resulta conveniente relacionarlo con otras variables como por ejemplo el valor del CBR que se obtiene en el laboratorio de lo cual se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$M_R = 1900 * CBR \text{ (CBR < 7) ; (Psi)}$$

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64} \text{ (CBR > 7) ; (Psi)}$$

De acuerdo a lo anotado en la Tabla 3.6 Resumen de los valores CBR obtenidos en el laboratorio de ensayos de los diferentes materiales que se utilizan como dato para el diseño, se tiene:

Material Identificado Base

$$M_R = 2555 * (66)^{0.64} = 37316.34 \text{ (Psi)}$$

Material Reciclado

$$M_R = 2555 * (37)^{0.64} = 25765.58 \text{ (Psi)}$$

6) Cálculo de los Números Estructurales Propuesto por la AASHTO 1993.

Una vez ejecutados los cálculos anteriores simplemente nos resta por determinar los números estructurales (SN) de cada una de las capas que conformarán el pavimento ya diseñado para las cargas y sollicitaciones del proyecto.

Carpeta Asfáltica

Módulo resiliente = 30000 psi (206.82 Mpa)

$a_1 = 0.35$ (Instrucciones para el Diseño de Pavimentos Flexibles, coeficientes para vías a rehabilitar, Método AASHTO 1993).

$m_1 = 1.0$

Material Identificado para Base (Base Clase 3 Tipo A)

CBR = 66%

Módulo resiliente = **37316.34** psi (257.26 Mpa)

$a_2 = 0,128$ (Instrucciones para el Diseño de Pavimentos Flexibles, coeficientes de las capas granulares en función del CBR, Método AASHTO 1993).

$m_2 = 1.0$

Material Reciclado (Sub-base Clase 1)

CBR = 37%

Módulo resiliente = **25765.58** psi (177.63 Mpa)

$a_3 = 0.117$

$m_3 = 1.0$

Método de Cálculo del Número estructural mediante las Gráficas siguientes:

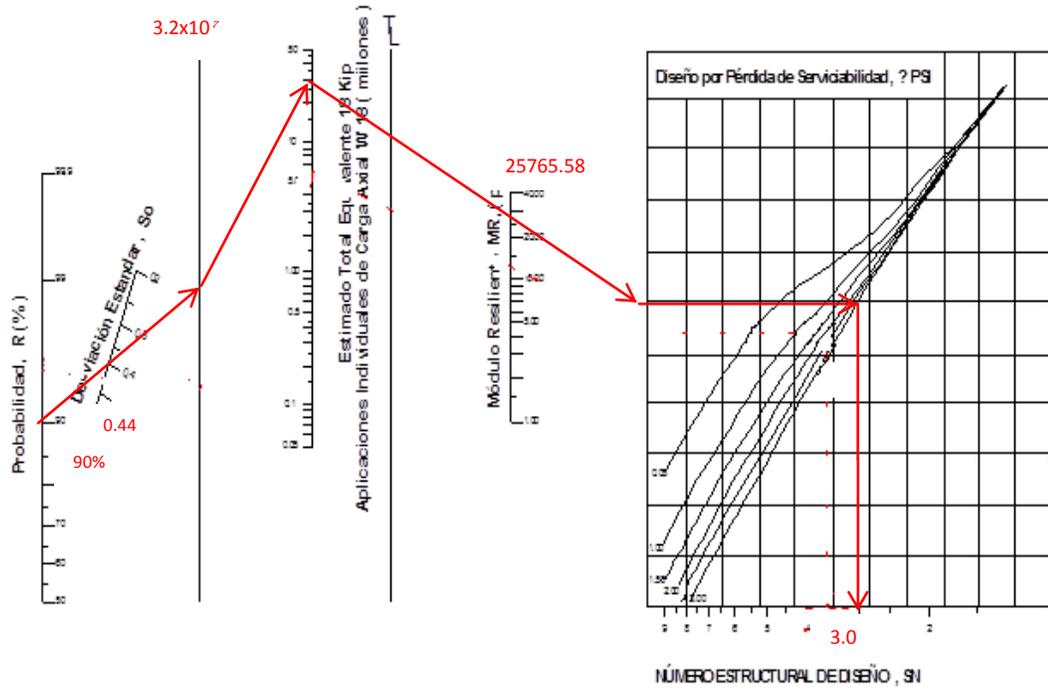


Figura 3.10: Método de Cálculo del Número estructural del Material Reciclado (Sub-base Clase 1)

Elaborado por: Capt. Diego López

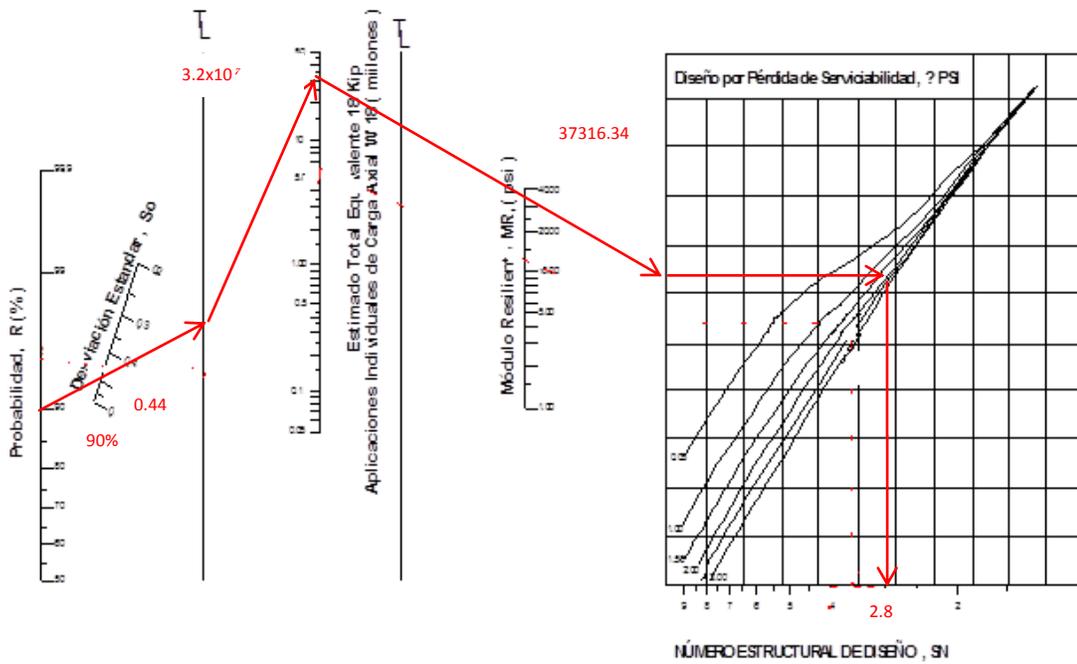


Figura 3.11: Método de Cálculo del Número estructural de la Base Clase 3 Tipo A

Elaborado por: Capt. Diego López

Cálculo del Número Estructural mediante el Método AASHTO 93 para Carpeta Asfáltica (a_1).

Figura 3.12: Cálculo del Número Estructural de la Carpeta Asfáltica.
Elaborado por : Capt. Diego López

Cálculo del Número Estructural para Material Reciclado (Sub-base Clase 1) (a_2).

Figura 3.13: Cálculo del Número Estructural del Material Reciclado
Elaborado por : Capt. Diego López

Cálculo del Número Estructural del Material Identificado como Base (a₃).

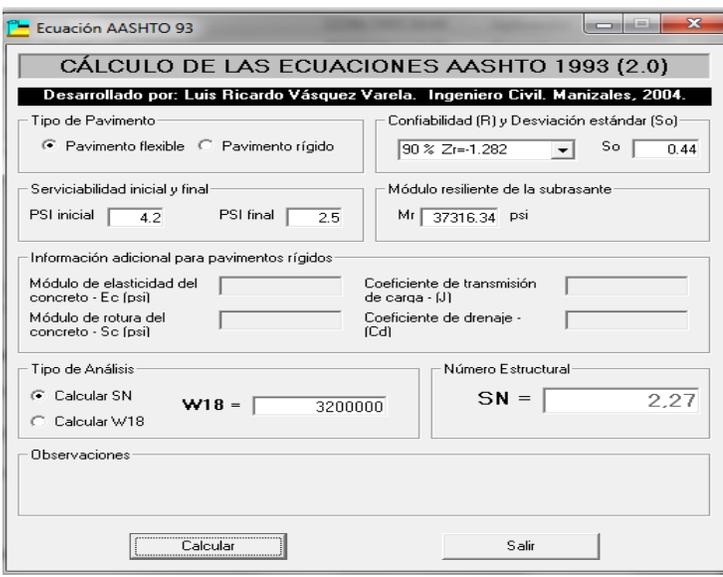


Figura 3.14: Cálculo del Número Estructural de la Base
Elaborado por: Capt. Diego López

En las figuras anteriores, se obtienen los números estructurales para el diseño en forma gráfica, y se realiza su respectiva comprobación con los valores calculados en el programa AASHTO 1993.

Tabla 3.15: Resumen de los resultados de los números estructurales.

Elaborado por: Capt. Diego López

Material	Gráfica (SN)	Programa AASHTO 1993 (SN)
Material Reciclado (Sub-Base Clase 1)	3.00	2.61
Material Identificado como Base (Base Clase 3 Tipo A)	2.80	2.27

Paso No 1.- Con el valor de $SN_1 = 2.47$ se procede aplicar la Ecuación No 10 para el cálculo del espesor de a_1 :

$$D_1 = \frac{(SN_1)}{a_1 * m_1}$$

$$D_1 = \frac{(2.47)}{0.35 * 1.0} = 7.06 \text{ cm}$$

$$D_1 = 7.0 \text{ cm}$$

Paso No 2.- Con el valor de $SN_2 = 2.61$ se procede aplicar la Ecuación No 12 para el cálculo del espesor de a_2 .

$$D_2 = \frac{(SN_2)}{a_2 * m_2}$$

$$D_2 = \frac{(2.27)}{0.128 * 1.0} = 17.73 \text{ cm}$$

$$D_2 = 18 \text{ cm}$$

Paso No 3.- Con el valor de $SN_3 = 2.61$ se procede aplicar la Ecuación No 11 para el cálculo del espesor de a_2 .

$$D_3 = \frac{(SN_3)}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{(2.61)}{0.117 * 1.0} = 22.31 \text{ cm}$$

$$D_3 = 22 \text{ cm}$$

Por situaciones constructivas la sección típica de la estructura del pavimento debe tener un espesor $D_1 = 10 \text{ cm}$ (Carpeta Asfáltica), $D_2 = 20 \text{ cm}$ (Base Clase 2 Tipo A), $D_3 = 25 \text{ cm}$ (Sub-Base Clase 1), de acuerdo al método ASSHTO 1993.

Diseño Propuesto de la Estructura del Pavimento

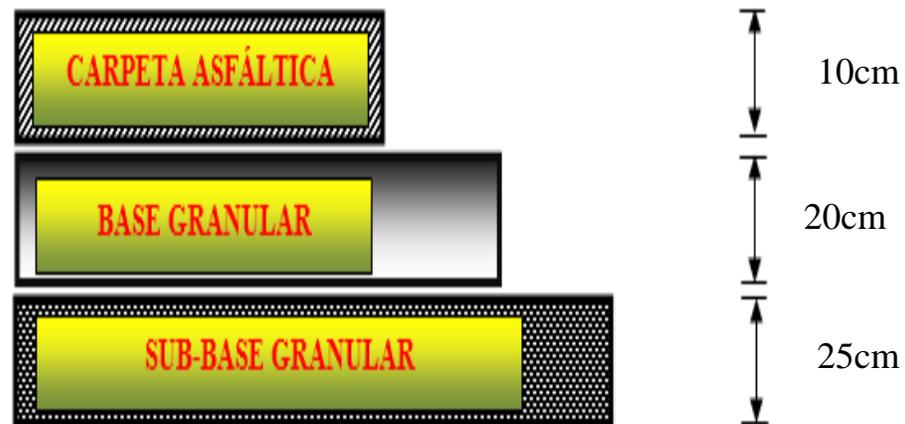


Figura 3.15: Resultados de los cálculos efectuados.

Elaborado por: Capt. Diego López

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En conclusión el reciclado de pavimento constituye un procedimiento técnico y práctico para la rehabilitación de pavimentos deteriorados que permiten aprovechar los materiales existentes en la estructura del pavimento.
- El reciclado permite un ahorro en las capas superiores que serán de menor espesor.
- Los aspectos socio ambientales más importantes del reciclado es que no existe desecho asfáltico, menor cantidad de material de canteras y menor uso de botaderos.

4.2 Recomendaciones

- De acuerdo a las gráficas de granulometría del material reciclado, es importante recomendar que se agregue material granular en un 20%.
- De acuerdo a las gráficas de granulometría del material identificado como base, es importante recomendar que se agregue arena en un 10% para una mejor cohesión.
- Es importante recomendar que de acuerdo al TPDAf calculado anteriormente, la Clasificación Funcional de la vía se debe considerar una Carretera de 2 Carriles C1: equivalente a una carretera de mediana capacidad para una velocidad de 100 Km/h y una pendiente máxima 8%

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

- Acesa. (1983). Conservación y rehabilitación estructurales de pavimentos de aglomerado asfáltico sobre bases granulares o aglomeradas con cemento. Barcelona: Edit. Ten. Aosoc S.A.
- Crespo, C. (2008). Suelos y Cimentaciones. México: Limusa.
- G., Jaramillo. (1991). Curso Post Universitario de Fiscalización en la Construcción de Carreteras. Santiago de Cali: Santillana.
- H., H. Y. (2000). Pavement analysis and desing. New Jersey: Assistant
- Juan, M. (2002). Manual para diseño de carreteras. Colombia: (Sic) Editorial Ltda.
- Nevi 12-MTOP. (2013). Procedimientos para proyectos viales. Quito: MTOP.
- Nevi 12-MTOP. (2013). Normas para estudios y diseño vial (Vol. 2B). Quito: MTOP.

- Nevi 12-MTOP. (2013). Procedimientos para proyectos viales (Vol. 2A). Quito: MTOP.
- Nevi12-MTOP. (2013). Clasificación según desempeño de las carreteras (Vol. 2A). Quito: MTOP.
- Nevi12-MTOP. (2013). Especificaciones generales para construcción de caminos y puentes. Quito: MTOP.
- Nevi12-MTOP. (2013). Procedimientos para proyectos viales (Vol. 2A). Quito: MTOP.
- Vásquez, L. R. (1998). Diseño Estructural de Caminos. Pensilvania: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE).

“ANEXOS”

ANEXO “A” CÁLCULOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL RECICLADO.

Contenido de Humedad de la Muestra Natural
TABLA A.1

	Molde	
	D.1	D.8
PMH+R(gr)	453,73	446,20
PMS+R(gr)	444,73	437,20
PA(gr)	9,00	9,00
PR(gr)	60,01	59,96
PMS(gr)	384,72	377,24
CH	0,023	0,024
% W	2,339	2,386
Promedio CH	0,024	
Promedio % W	2,36	
Ps(gr)	384,720	377,240
Prom.Ps(gr)	380,980	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 453,73 - 60,01 \\ PMS &= 384,72 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 444,73 - 59,96 \\ PMS &= 377,24 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 453,73 - 444,73 \\ PA &= 9 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 446,20 - 437,20 \\ PA &= 9 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{9}{384,72} = 0,023$$

$$CH = \frac{9}{377,24} = 0,024$$

$$\% w = 0,023 * 100 = 2,339$$

$$\% w = 0,024 * 100 = 2,386$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{393,72}{1+0,023} = 384,72 \text{ gr}$$

$$Ps = \frac{386,24}{1+0,024} = 377,24 \text{ gr}$$

$$\text{Prom. Ps} = \frac{Ps1+Ps2}{2}$$

$$Ps = \frac{384,72+377,24}{2} = 380,98 \text{ gr}$$

GRANULOMETRÍA GRUESA Y FINA

ENSAYO N.- 1

TABLA A.2

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
1½	37,50	486,00	486,00	2	98
1	24,40	967,00	1453,00	4	96
¾	19,00	1449,00	2902,00	7	93
½	12,50	2269,00	5171,00	12	88
⅜	9,50	2377,00	7548,00	18	82
No. 4	4,75	5247,00	12795,00	30	70
Pasa N.4		30488,00	43283,00	100	0
Total Muestra(gr)			43283,00		

Cálculos:

$$M.Ret.Acum = M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum = 967 + 486$$

$$M.Ret.Acum = 1453 \text{ gr}$$

$$\%Ret = \frac{M.Ret.Acum}{Total Muestra} * 100$$

$$\%Ret = \frac{1453}{43283} * 100 = 4$$

$$\%Pasa = 100 - \%Ret$$

$$\%Pasa = 100 - 4$$

$$\%Pasa = 96$$

Pasante N.4 Contenido de Humedad del Material Fino

TABLA A.3

	Molde	
	S.2	S.4
PMH+R(gr)	67,37	67,18
PMS+R(gr)	61,71	61,63
PA(gr)	5,66	5,55
PR(gr)	17,55	17,98
PMS(gr)	44,16	43,65
CH	0,128	0,127
%W	12,817	12,715
Promedio CH	0,128	
Promedio %W	12,766	
Ps(gr)	44,160	43,650
PsI(gr)	43,905	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 61,71 - 17,55 \\ PMS &= 44,16 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 61,63 - 17,98 \\ PMS &= 43,65 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 67,37 - 61,71 \\ PA &= 5,66 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 67,18 - 61,63 \\ PA &= 5,55 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{5,66}{44,16} = 0,128$$

$$CH = \frac{5,55}{43,65} = 0,127$$

$$\%w = 0,128 * 100 = 12,817$$

$$\%w = 0,127 * 100 = 12,715$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{49,82}{1+0,128} = 44,16 \text{ gr}$$

$$Ps = \frac{49,20}{1+0,127} = 43,65 \text{ gr}$$

$$Ps1 = \frac{Ps1+Ps2}{2}$$

$$Ps1 = \frac{44,16+43,65}{2} = 43,905 \text{ gr}$$

Muestra del Pasante N.4**TABLA A.4**

	Molde
	M-1
PMHnatural(gr)	451,22
PMS1(gr)	393,46

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= PMH - (PMH * \text{Prom. CH.}) \\ PMS &= 451,22 - (451,22 * 0,128) \\ PMS &= 393,46 \text{ gr} \end{aligned}$$

Pasante N. 4 Lavado de la Muestra y al horno**TABLA A.5**

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret.		% del Pasante
			Acum(gr)	% Retenido	
10	2,000	82,70	82,70	49	51
40	0,450	113,11	195,81	75	25
200	0,075	110,58	306,39	100	0
Total Muestra seca(gr)		306,39			

Cálculos:

$$M.Ret.Acum = M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum = 113,11 + 82,70$$

$$M.Ret.Acum = 195,81 \text{ gr}$$

$$\%Pasa = \% \text{ Pasa No 4} - \left(\frac{\% \text{ Pasa No 4}}{\text{Total Muestra seca}} \right) * M.Ret.Acum$$

$$\%Pasa = 70 - \left(\frac{70}{306,39} \right) * 195,81 = 25$$

$$\%Ret = 100 - \%Pasa$$

$$\%Ret = 100 - 25$$

$$\%Ret = 75$$

ENSAYO N.- 2**TABLA A.6**

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
1½	37,50	321,00	321,00	1	99
1	24,40	865,00	1186,00	3	97
¾	19,00	1183,00	2369,00	5	95
½	12,50	3069,00	5438,00	12	88
¾	9,50	2342,00	7780,00	16	84
No. 4	4,75	6591,00	14371,00	30	70
Pasa N.4		34679,00	49050,00	100	0
Total Muestra(gr)		49050,00			

Cálculos:

$$M.Ret.Acum = M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum = 865 + 321$$

$$M.Ret.Acum = 1186 \text{ gr}$$

$$\%Ret = \frac{M.Ret.Acum}{\text{Total Muestra}} * 100$$

$$\%Ret = \frac{1186}{49050} * 100 = 3$$

$$\%Pasa = 100 - \%Ret$$

$$\%Pasa = 100 - 3$$

$$\%Pasa = 97$$

Pasante N.4 Contenido de Humedad del Material Fino
TABLA A.7

	Molde	
	24	119
PMH+R(gr)	70,52	72,12
PMS+R(gr)	65,03	66,49
PA(gr)	5,49	5,63
PR(gr)	18,18	18,24
PMS(gr)	46,85	48,25
CH	0,1172	0,1167
% W	11,718	11,668
Promedio CH	0,117	
Promedio %W	11,693	
Ps(gr)	46,850	48,250
Ps2(gr)	47,550	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 70,52 - 18,18 \\ PMS &= 46,85 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 72,12 - 18,24 \\ PMS &= 48,25 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 70,52 - 65,03 \\ PA &= 5,49 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 72,12 - 66,49 \\ PA &= 5,63 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{5,49}{46,85} = 0,1172$$

$$CH = \frac{5,63}{48,25} = 0,1167$$

$$\% w = 0,1172 * 100 = 11,718$$

$$\% w = 0,1167 * 100 = 11,668$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{52,34}{1+0,1172} = 46,85 \text{ gr}$$

$$Ps = \frac{53,88}{1+0,1167} = 48,25 \text{ gr}$$

$$Ps2 = \frac{Ps1+Ps2}{2}$$

$$Ps2 = \frac{46,85+48,25}{2} = 47,55 \text{ gr}$$

Muestra del Pasante N.4**TABLA A. 8**

	Molde
	D.4
PMHnatural(gr)	538,5
PMS2(gr)	475,49

Cálculos:

$$PMS = PMH - (PMH * \text{Prom. CH.})$$

$$PMS = 538,5 - (538,5 * 0,117)$$

$$PMS = 475,49 \text{ gr}$$

Pasante N. 4 Lavado de la Muestra y al horno**TABLA A.9**

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret.		% Retenido	% del Pasante
				Acum(gr)		
10	2,000	65,52		65,52	44	56
40	0,450	132,66		198,18	73	27
200	0,075	128,08		326,26	100	0
Total Muestra seca(gr)				326,26		

Cálculos:

$$M.\text{Ret. Acum} = M.\text{Ret} + M.\text{Ret. Acum.}$$

$$M.\text{Ret. Acum} = 132,66 + 65,52$$

$$M.\text{Ret. Acum} = 198,18 \text{ gr}$$

$$\% \text{Pasa} = \% \text{ Pasa No 4} - \left(\frac{\% \text{ Pasa No 4}}{\text{Total Muestra seca}} \right) * M.\text{Ret. Acum}$$

$$\% \text{Pasa} = 70 - \left(\frac{70}{326,26} \right) * 198,18 = 27$$

$$\% \text{Ret} = 100 - \% \text{Pasa}$$

$$\% \text{Ret} = 100 - 27$$

$$\% \text{Ret} = 73$$

Cálculos:

$$\text{Prom. Ps} = \frac{Ps1 + Ps2}{2}$$

$$\text{Prom. PMS} = \frac{PMS1 + PMS2}{2}$$

$$\text{Prom. Ps} = \frac{43,905 + 47,55}{2} = 45,73 \text{ gr}$$

$$\text{Prom. PMS} = \frac{393,46 + 475,49}{2} = 434,475 \text{ gr}$$

Simbología

PMH	Peso de la Muestra Húmeda
PMS	Peso de la Muestra Seca
PA	Peso del Agua
PR	Peso del Recipiente
R	Recipiente
CH	Contenido de Humedad
%W	Porcentaje de Humedad
σ_h	Densidad Húmeda
σ_s	Densidad seca
Ps	Peso seco
M	Masa
Ret	Retenido
Acum	Acumulada

ANEXO “B” CÁLCULOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL IDENTIFICADO PARA BASE.

**Contenido de
Humedad
TABLA B.1**

	Molde	
	D-9	D-2
PMH+R(gr)	1068,00	955,00
PMS+R(gr)	1050,00	937,00
PA(gr)	18,00	18,00
PR(gr)	59,00	60,00
PMS(gr)	991,00	877,00
CH	0,018	0,021
% W	1,816	2,052
Promedio CH	0,019	
Promedio % W	1,934	
Peso seco(gr)	991,000	877,000
Prom.Ps (gr)	934,000	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 1068 - 59 \\ PMS &= 991 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 955 - 60 \\ PMS &= 877 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 1068 - 1050 \\ PA &= 18 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 955 - 937 \\ PA &= 18 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{18}{991} = 0,018$$

$$CH = \frac{18}{877} = 0,021$$

$$\% w = 0,018 * 100 = 1,816$$

$$\% w = 0,021 * 100 = 2,052$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{1009}{1+0,018} = 991 \text{ gr}$$

$$Ps = \frac{895}{1+0,021} = 877 \text{ gr}$$

$$\text{Prom. Ps} = \frac{Ps1+Ps2}{2}$$

$$\text{Prom. Ps} = \frac{991+877}{2} = 934 \text{ gr}$$

GRANULOMETRÍA GRUESA Y FINA
ENSAYO N.- 1
TABLA B.2

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
1½		37,50	3150,00	3150,00	11 89
1		24,40	3877,00	7027,00	25 75
¾		19,00	3132,00	10159,00	35 65
½		12,50	4325,00	14484,00	50 50
⅜		9,50	2529,00	17013,00	59 41
No. 4		4,75	2429,00	19442,00	67 33
Pasa N.4			9775,00	29217,00	100 0
Total Muestra(gr)			29217,00		

Cálculos:

$$M.Ret.Acum = M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum = 3877 + 3150$$

$$M.Ret.Acum = 7027 \text{ gr}$$

$$\%Ret = \frac{M.Ret.Acum}{Total Muestra} * 100$$

$$\%Ret = \frac{7027}{29217} * 100 = 25$$

$$\%Pasa = 100 - \%Ret$$

$$\%Pasa = 100 - 25$$

$$\%Pasa = 75$$

Pasante N.4 Contenido de Humedad del Material Fino
TABLA B.3

	Molde	
	16	27
PMH+R(gr)	96,01	112,83
PMS+R(gr)	94,17	110,63
PA(gr)	1,84	2,20
PR(gr)	17,83	17,62
PMS(gr)	76,34	93,01
CH	0,024	0,024
% W	2,410	2,365
Promedio CH	0,024	
Promedio % W	2,388	
Ps(gr)	76,340	93,010
Ps1(gr)	84,675	

Cálculos:

$$PMS=(PMS+R) - PR$$

$$PMS= 94,17 - 17,83$$

$$PMS= 76,34 \text{ gr}$$

$$PMS=(PMS+R) - PR$$

$$PMS= 110,63 - 17,62$$

$$PMS= 93,01 \text{ gr}$$

$$PA=(PMH+R) - (PMS+R)$$

$$PA= 96,01 - 94,17$$

$$PA= 1,84 \text{ gr}$$

$$PA=(PMH+R) - (PMS+R)$$

$$PA= 112,83 - 110,63$$

$$PA= 2,20 \text{ gr}$$

$$CH=\frac{PA}{PMS}$$

$$CH=\frac{PA}{PMS}$$

$$CH=\frac{1,84}{76,34}=0,024$$

$$CH=\frac{2,20}{93,01} = 0,024$$

$$\%w=0,024*100= 2,41$$

$$\%w=0,024*100= 2,365$$

$$Ps=\frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps=\frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps=\frac{78,18}{1+0,024}= 76,34 \text{ gr}$$

$$Ps=\frac{95,21}{1+0,024}= 93,01 \text{ gr}$$

$$Ps1=\frac{Ps1+Ps2}{2}$$

$$Ps1=\frac{76,340+93,01}{2}=84,675 \text{ gr}$$

Muestra del Pasante N.4
TABLA B.4

	Molde D.13
PMHnatural(gr)	532,2
PMS 1(gr)	519,492

Cálculos:

$$PMS=PMH - (PMH*Prom. CH.)$$

$$PMS= 532,20- (532,20*0,024)$$

$$PMS= 519,492 \text{ gr}$$

Pasante N. 4 Lavado de la Muestra y al horno de secado
TABLA B.5

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
10	2,000	88,54	88,54	74,00	26
40	0,450	159,10	247,64	87,00	13
200	0,075	161,40	409,04	100,00	0
Total Muestra seca(gr)		409,04			

Cálculos:

$$M.Ret.Acum = M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum = 159,10 + 88,54$$

$$M.Ret.Acum = 247,64 \text{ gr}$$

$$\%Pasa = \% \text{ Pasa No 4} - \left(\frac{\% \text{ Pasa No 4}}{\text{Total Muestra seca}} \right) * M.Ret.Acum$$

$$\%Pasa = 33 - \left(\frac{33}{409,04} \right) * 247,64 = 13$$

$$\%Ret = 100 - \%Pasa$$

$$\%Ret = 100 - 13$$

$$\%Ret = 87$$

ENSAYO N.- 2**TABLA B.6**

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
1½	37,50	3030,00	3030,00	10	90
1	24,40	3867,00	6897,00	23	77
¾	19,00	3574,00	10471,00	35	65
½	12,50	4048,00	14519,00	49	51
⅜	9,50	2499,00	17018,00	57	43
No. 4	4,75	2741,00	19759,00	66	34
Pasa N.4		10349,00	30108,00	100	0
Total Muestra(gr)		30108,00			

Cálculos:

$$M.Ret.Acum = M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum = 3867 + 3030$$

$$M.Ret.Acum = 6897 \text{ gr}$$

$$\%Ret = \frac{M.Ret.Acum}{\text{Total Muestra}} * 100$$

$$\%Ret = \frac{6897}{30108} * 100 = 23$$

$$\%Pasa = 100 - \%Ret$$

$$\%Pasa = 100 - 23$$

$$\%Pasa = 77$$

Pasante N.4 Contenido de Humedad del Material Fino

TABLA B.7

	Molde	
	100	124
PMH+R(gr)	100,20	106,18
PMS+R(gr)	98,30	104,19
PA(gr)	1,90	1,99
PR(gr)	18,64	17,67
PMS(gr)	79,66	86,52
CH	0,024	0,023
% W	2,385	2,300
Promedio CH	0,023	
Promedio % W	2,343	
Ps(gr)	79,660	86,520
Ps2(gr)	83,090	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 98,30 - 18,64 \\ PMS &= 79,66 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 104,19 - 17,67 \\ PMS &= 86,52 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 100,20 - 98,30 \\ PA &= 1,90 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 106,18 - 104,19 \\ PA &= 1,99 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{1,90}{79,66} = 0,024$$

$$CH = \frac{1,99}{86,52} = 0,023$$

$$\% w = 0,024 * 100 = 2,385$$

$$\% w = 0,023 * 100 = 2,30$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{81,56}{1+0,024} = 79,66 \text{ gr}$$

$$Ps = \frac{88,51}{1+0,023} = 86,52 \text{ gr}$$

$$Ps2 = \frac{Ps1+Ps2}{2}$$

$$Ps2 = \frac{79,66+86,52}{2} = 83,09 \text{ gr}$$

Muestra del Pasante N.4**TABLA B. 8**

	Molde D.18
PMHnatural(gr)	526,47
PMS2 (gr)	514,14

Cálculos:

$$PMS=PMH - (PMH*Prom. CH.)$$

$$PMS=526,47-(526,47*0,023)$$

$$PMS= 514,14 \text{ gr}$$

Pasante N. 4 Lavado de la Muestra y al horno de secado**TABLA B.9**

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
10	2,000	79,66	79,66	73	27
40	0,450	153,94	233,60	86	14
200	0,075	166,08	399,68	100	0
Total Muestra seca(gr)		399,68			

Cálculos:

$$M.Ret.Acum= M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum= 153,94 + 79,66$$

$$M.Ret.Acum= 233,60 \text{ gr}$$

$$\%Pasa= \% \text{ Pasa No 4} - \left(\frac{\% \text{ Pasa No 4}}{\text{Total Muestra seca}} \right) * M.Ret.Acum$$

$$\%Pasa= 34 - \left(\frac{34}{399,68} \right) * 233,60 = 14$$

$$\%Ret= 100 - \%Pasa$$

$$\%Ret= 100 - 14$$

$$\%Ret= 86$$

Cálculos:

$$Prom.Ps = \frac{Ps1 + Ps2}{2}$$

$$Prom.Ps = \frac{84,675 + 83,09}{2} = 83,88 \text{ gr}$$

$$Prom.PMS = \frac{PMS1 + PMS2}{2}$$

$$Prom.PMS = \frac{519,492 + 514,14}{2} = 516,81 \text{ gr}$$

Simbología

PMH	Peso de la Muestra Húmeda
PMS	Peso de la Muestra Seca
PA	Peso del Agua
PR	Peso del Recipiente
R	Recipiente
CH	Contenido de Humedad
%W	Porcentaje de Humedad
σ_h	Densidad Húmeda
σ_s	Densidad seca
Ps	Peso seco
Prom	Promedio

ANEXO "C" CÁLCULOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL DE LA MINA COLORADO.

GRANULOMETRÍA GRUESA Y FINA
ENSAYO N.- 1
TABLA C.1

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
1½	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1	24,40	0,00	0,00	0,00	100,00
¾	19,00	5265,00	5265,00	9,00	91,00
½	12,50	16832,00	22097,00	38,00	62,00
⅜	9,50	5621,00	27718,00	48,00	52,00
No. 4	4,75	8437,00	36155,00	62,00	38,00
Pasa N.4		22391,00	58546,00	100,00	0,00
Total Muestra(gr)		58546,00			

Cálculos:

$$M.Ret.Acum = M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum = 16832 + 5265$$

$$M.Ret.Acum = 22097 \text{ gr}$$

$$\%Ret = \frac{M.Ret.Acum}{Total Muestra} * 100$$

$$\%Ret = \frac{22097}{58546} * 100 = 38$$

$$\%Pasa = 100 - \%Ret$$

$$\%Pasa = 100 - 38$$

$$\%Pasa = 62$$

Pasante N.4 Contenido de Humedad del Material Fino
TABLA C.2

	Molde	
	D20	D21
PMH+R(gr)	500,02	502,25
PMS+R(gr)	494,29	496,59
PA(gr)	5,73	5,66
PR(gr)	57,64	61,53
PMS(gr)	436,65	435,06
CH	0,013	0,013
%W	1,312	1,301
Promedio CH	0,013	
Promedio %W	1,31	
Ps(gr)	436,65	435,06
Ps1(gr)	435,86	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 494,29 - 57,64 \\ PMS &= 436,65 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 496,59 - 61,53 \\ PMS &= 435,06 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 500,02 - 494,29 \\ PA &= 5,73 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 502,25 - 496,59 \\ PA &= 5,66 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{5,73}{436,65} = 0,013$$

$$CH = \frac{5,66}{435,06} = 0,013$$

$$\%w = 0,013 * 100 = 1,312$$

$$\%w = 0,013 * 100 = 1,301$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{442,38}{1+0,013} = 436,65 \text{ gr}$$

$$Ps = \frac{440,72}{1+0,013} = 435,06 \text{ gr}$$

$$Ps1 = \frac{Ps1+Ps2}{2}$$

$$Ps1 = \frac{436,65+435,06}{2} = 435,86 \text{ gr}$$

Muestra del Pasante N.4**TABLA C.3**

	Molde D17
PMHnatural(gr)	500,0
PMS1(gr)	493,5

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= PMH - (PMH * \text{Prom. CH.}) \\ PMS &= 500 - (500 * 0,013) \\ PMS &= 493,5 \text{ gr} \end{aligned}$$

Pasante N. 4 Lavado de la Muestra y al horno de secado**TABLA C.4**

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
10	2,000	160,82	160,82	79	21
40	0,450	139,37	300,19	93	7
200	0,075	69,58	369,77	100	0
Total Muestra seca(gr)		369,77			

Cálculos:

$$M.Ret.Acum = M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum = 139,37 + 160,82$$

$$M.Ret.Acum = 300,19 \text{ gr}$$

$$\%Pasa = \% \text{ Pasa No 4} - \left(\frac{\% \text{ Pasa No 4}}{\text{Total Muestra seca}} \right) * M.Ret.Acum$$

$$\%Pasa = 38 - \left(\frac{38}{369,77} \right) * 300,19 = 7$$

$$\%Ret = 100 - \%Pasa$$

$$\%Ret = 100 - 7$$

$$\%Ret = 93$$

ENSAYO N.- 2**TABLA C.5**

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
1½	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1	24,40	0,00	0,00	0,00	100,00
¾	19,00	7376,00	7376,00	13,00	87,00
½	12,50	11947,00	19323,00	32,00	68,00
⅜	9,50	4331,00	23654,00	39,00	61,00
No. 4	4,75	8556,00	32210,00	53,00	47,00
Pasa N.4		28818,00	61028,00	100,00	0,00
Total Muestra(gr)		61028,00			

Cálculos:

$$M.Ret.Acum = M.Ret + M.Ret.Acum.$$

$$M.Ret.Acum = 11947 + 7376$$

$$M.Ret.Acum = 19323 \text{ gr}$$

$$\%Ret = \frac{M.Ret.Acum}{\text{Total Muestra}} * 100$$

$$\%Ret = \frac{19323}{61028} * 100 = 32$$

$$\%Pasa = 100 - \%Ret$$

$$\%Pasa = 100 - 32$$

$$\%Pasa = 68$$

Pasante N.4 Contenido de Humedad del Material Fino

TABLA C.6

	Molde	
	D9	D19
PMH+R(gr)	500,00	499,63
PMS+R(gr)	493,51	493,86
PA(gr)	6,49	5,77
PR(gr)	59,24	54,19
PMS(gr)	434,27	439,67
CH	0,015	0,013
%W	1,49	1,31
Promedio CH	0,014	
Promedio %W	1,40	
Ps(gr)	434,27	439,67
Ps2(gr)	436,97	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 493,51 - 59,24 \\ PMS &= 434,27 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 493,86 - 54,19 \\ PMS &= 439,67 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 500 - 493,86 \\ PA &= 6,49 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 499,63 - 493,86 \\ PA &= 5,77 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{6,49}{434,27} = 0,015$$

$$CH = \frac{5,77}{439,67} = 0,013$$

$$\%w = 0,015 * 100 = 1,49$$

$$\%w = 0,013 * 100 = 1,31$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{PMH}{1+CH}$$

$$Ps = \frac{440,76}{1+0,015} = 434,27 \text{ gr}$$

$$Ps = \frac{445,44}{1+0,013} = 439,67 \text{ gr}$$

$$Ps2 = \frac{Ps1 + Ps2}{2}$$

$$Ps2 = \frac{434,27 + 439,67}{2} = 436,97 \text{ gr}$$

Muestra del Pasante N.4**TABLA C.7**

	Molde D2
PMHnatural(gr)	500,0
PMS2(gr)	493,0

Cálculos:

$$PMS = PMH - (PMH * \text{Prom. CH.})$$

$$PMS = 500 - (500 * 0,014)$$

$$PMS = 493 \text{ gr}$$

Pasante N. 4 Lavado de la Muestra y al horno de secado**TABLA C.8**

TAMIZ (pulg)	Tamaño (mm)	M. Retenida(gr)	M. Ret. Acum(gr)	% Retenido	% del Pasante
10	2,000	156,36	156,36	71	29
40	0,450	174,29	330,65	90	10
200	0,075	86,17	416,82	100	0
Total Muestra seca(gr)		416,82			

Cálculos:

$$M.\text{Ret. Acum} = M.\text{Ret} + M.\text{Ret. Acum.}$$

$$M.\text{Ret. Acum} = 174,29 + 156,36$$

$$M.\text{Ret. Acum} = 330,65 \text{ gr}$$

$$\% \text{Pasa} = \% \text{ Pasa No 4} - \left(\frac{\% \text{ Pasa No 4}}{\text{Total Muestra seca}} \right) * M.\text{Ret. Acum}$$

$$\% \text{Pasa} = 47 - \left(\frac{47}{416,82} \right) * 330,65 = 10$$

$$\% \text{Ret} = 100 - \% \text{Pasa}$$

$$\% \text{Ret} = 100 - 10$$

$$\% \text{Ret} = 90$$

Cálculos:

$$\text{Prom. Ps} = \frac{Ps1 + Ps2}{2}$$

$$\text{Prom. PMS} = \frac{PMS1 + PMS2}{2}$$

$$\text{Prom. Ps} = \frac{435,86 + 436,97}{2} = 436,41 \text{ gr}$$

$$\text{Prom. PMS} = \frac{493,5 + 493}{2} = 493,25 \text{ gr}$$

Simbología

PMH	Peso de la Muestra Húmeda
PMS	Peso de la Muestra Seca
PA	Peso del Agua
PR	Peso del Recipiente
R	Recipiente
CH	Contenido de Humedad
%W	Porcentaje de Humedad
σ_h	Densidad Húmeda
σ_s	Densidad seca
Ps	Peso seco

ANEXO “D” CÁLCULOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN DEL MATERIAL RECICLADO.

Pasante 3/4" de la sumatoria de los ensayos N.- 1 y 2 (granulometría)

El porcentaje retenido lo divido para 100 y lo multiplico por 7000gr para obtener el peso que necesitamos para el ensayo de compactación.

El porcentaje del pasante lo divido para 100 y lo multiplico por 7000gr para obtener el peso que necesitamos para el ensayo de compactación.

$$0,93 * 7000 = 6510 \text{ gr}$$

$$0,07 * 7000 = 490 \text{ gr}$$

Pasante 3/4"(gr)	6510
Retenido N.-4(gr)	490
Total(gr)	7000

Método Modificado D

Molde	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	56	10 lb

ENSAYO N.- 1

TABLA D.1

PUNTO N.-1

Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	10965
PMH (gr)	4409

Cálculos:

$$V=(0,02*7000)$$

$$V= 140 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH}=(\text{PMH}+\text{P.Molde}) - (\text{P. Molde})$$

$$\text{PMH}= 10965 - 6556$$

$$\text{PMH}= 4409 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad

TABLA D.2

	Molde	
	H19	H13
PMH+R(gr)	199,31	173,25
PMS+R(gr)	184,29	161,38
PA(gr)	15,02	11,87
PR(gr)	52,91	52,14
PMS(gr)	131,38	109,24
CH	0,114	0,109
%W	11,432	10,866
Promedio CH	0,111	
Promedio %W	11,149	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 184,29 - 52,91 \\ PMS &= 131,38 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 161,38 - 52,14 \\ PMS &= 109,24 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 199,31 - 184,29 \\ PA &= 15,02 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 173,25 - 161,38 \\ PA &= 11,87 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{15,02}{131,38} = 0,114$$

$$CH = \frac{11,87}{109,24} = 0,109$$

$$\%w = 0,114 * 100 = 11,432$$

$$\%w = 0,109 * 100 = 10,866$$

TABLA D.3

PUNTO.-2	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11154
PMH (gr)	4598

Cálculos:

$$V=(0,02*7000)$$

$$V= 140 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH}=(\text{PMH}+\text{P.Molde}) - (\text{P. Molde})$$

$$\text{PMH}= 11154 - 6556$$

$$\text{PMH}= 4598 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA D.4**

	Molde	
	H0	H7
PMH+R(gr)	153,09	169,93
PMS+R(gr)	139,97	154,76
PA(gr)	13,12	15,17
PR(gr)	43,48	42,10
PMS(gr)	96,49	112,66
CH	0,136	0,135
% W	13,597	13,465
Promedio CH	0,135	
Promedio % W	13,531	

Cálculos:

$$\text{PMS}=(\text{PMS}+\text{R}) - \text{PR}$$

$$\text{PMS}= 139,97 - 43,48$$

$$\text{PMS}= 96,49 \text{ gr}$$

$$\text{PMS}=(\text{PMS}+\text{R}) - \text{PR}$$

$$\text{PMS}= 154,76 - 42,10$$

$$\text{PMS}= 112,66 \text{ gr}$$

$$\text{PA}=(\text{PMH}+\text{R}) - (\text{PMS}+\text{R})$$

$$\text{PA}= 153,09 - 139,97$$

$$\text{PA}= 13,12 \text{ gr}$$

$$\text{PA}=(\text{PMH}+\text{R}) - (\text{PMS}+\text{R})$$

$$\text{PA}= 169,93 - 154,76$$

$$\text{PA}= 15,17 \text{ gr}$$

$$\text{CH}=\frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH}=\frac{13,12}{96,49}=0,136$$

$$\% w=0,136*100= 13,597$$

$$\text{CH}=\frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH}=\frac{15,17}{112,66}=0,135$$

$$\% w=0,135*100= 13,465$$

TABLA D.5

PUNTO.-3	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11022
PMH (gr)	4466

Cálculos:

$$V=(0,02*7000)$$

$$V= 140 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH}=(\text{PMH}+\text{P.Molde}) - (\text{P. Molde})$$

$$\text{PMH}=11022 - 6556$$

$$\text{PMH}= 4466 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad

TABLA D.6

	Molde	
	J50	J6
PMH+R(gr)	236,85	279,97
PMS+R(gr)	211,04	247,34
PA(gr)	25,81	32,63
PR(gr)	34,41	33,49
PMS(gr)	176,63	213,85
CH	0,146	0,153
% W	14,612	15,258
Promedio CH	0,149	
Promedio % W	14,935	

Cálculos:

$$\text{PMS}=(\text{PMS}+\text{R}) - \text{PR}$$

$$\text{PMS}= 211,04 - 34,41$$

$$\text{PMS}= 176,63 \text{ gr}$$

$$\text{PMS}=(\text{PMS}+\text{R}) - \text{PR}$$

$$\text{PMS}= 247,34 - 33,49$$

$$\text{PMS}= 213,85 \text{ gr}$$

$$\text{PA}=(\text{PMH}+\text{R}) - (\text{PMS}+\text{R})$$

$$\text{PA}= 236,85 - 211,04$$

$$\text{PA}= 25,81 \text{ gr}$$

$$\text{PA}=(\text{PMH}+\text{R}) - (\text{PMS}+\text{R})$$

$$\text{PA}= 279,97 - 247,34$$

$$\text{PA}= 32,63 \text{ gr}$$

$$\text{CH}=\frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH}=\frac{25,81}{176,63}=0,146$$

$$\% w=0,146*100= 14,612$$

$$\text{CH}=\frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH}=\frac{32,63}{213,85}=0,153$$

$$\% w=0,153*100= 15,258$$

DENSIDADES ENSAYO No 1

TABLA D.7

PUNTO N.- 1	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,080
Promedio% CH.=	11,149
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	1,871
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	1871

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4409}{2120} = 2,080 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,080}{1+0,1114} = 1,871 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 1,871 * 1000 = 1871 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA D.8

PUNTO N.- 2	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,169
Promedio% CH.=	13,531
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	1,910
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	1910

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4598}{2120} = 2,169 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,169}{1+0,1353} = 1,910 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 1,910 * 1000 = 1910 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA D.9

PUNTO N.- 3	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,107
Promedio% CH.=	14,935
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	1,833
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	1833

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_h = \frac{4466}{2120} = 2,107 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_s = \frac{2,107}{1+0,1493} = 1,833 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\sigma_s = 1,833 * 1000 = 1833 \text{ Kg/m}^3$$

ENSAYO No 2

$$0,95 * 7000 = 6650 \text{ gr}$$

$$0,05 * 7000 = 350 \text{ gr}$$

Pasante 3/4"(gr)	6650
Retenido N.-4(gr)	350
Total(gr)	7000

TABLA D.10**PUNTO N.-1**

Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	10795
PMH (gr)	4239

Cálculos:

$$V = (0,02 * 7000)$$

$$V = 140 \text{ cm}^3$$

$$PMH = (PMH + P.Molde) - (P. Molde)$$

$$PMH = 10795 - 6556$$

$$PMH = 4239 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA D.11**

	Molde	
	J10	J8
PMH+R(gr)	205,58	234,74
PMS+R(gr)	190,15	216,76
PA(gr)	15,43	17,98
PR(gr)	33,99	33,97
PMS(gr)	156,16	182,79
CH	0,099	0,098
%W	9,881	9,836
Promedio CH	0,099	
Promedio %W	9,859	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 190,15 - 33,99 \\ PMS &= 156,16 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 216,76 - 33,97 \\ PMS &= 182,79 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 205,58 - 190,15 \\ PA &= 15,43 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 234,74 - 216,76 \\ PA &= 17,98 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{15,43}{156,16} = 0,099$$

$$CH = \frac{17,98}{182,79} = 0,098$$

$$\%w = 0,099 * 100 = 9,881$$

$$\%w = 0,098 * 100 = 9,836$$

TABLA D.12

PUNTO.-2	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11071
PMH (gr)	4515

Cálculos:

$$V = (0,02 * 7000)$$

$$V = 140 \text{ cm}^3$$

$$PMH = (PMH+P.Molde) - (P. Molde)$$

$$PMH = 11071 - 6556$$

$$PMH = 4515 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA D.13**

	Molde	
	E2	E1
PMH+R(gr)	218,81	222,13
PMS+R(gr)	198,25	200,25
PA(gr)	20,56	21,88
PR(gr)	34,76	34,58
PMS(gr)	163,49	165,67
CH	0,126	0,132
%W	12,576	13,207
Promedio CH	0,129	
Promedio %W	12,891	

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\ \text{PMS} &= 198,25 - 34,76 \\ \text{PMS} &= 163,49 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\ \text{PMS} &= 200,25 - 34,58 \\ \text{PMS} &= 165,67 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\ \text{PA} &= 218,81 - 198,25 \\ \text{PA} &= 20,56 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\ \text{PA} &= 222,13 - 200,25 \\ \text{PA} &= 21,88 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{20,56}{163,49} = 0,126$$

$$\text{CH} = \frac{21,88}{165,67} = 0,132$$

$$\% w = 0,126 * 100 = 12,576$$

$$\% w = 0,132 * 100 = 13,207$$

TABLA D.14

PUNTO.-3	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11052
PMH (gr)	4496

Cálculos:

$$V = (0,02 * 7000)$$

$$V = 140 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH} = (\text{PMH} + \text{P.Molde}) - (\text{P. Molde})$$

$$\text{PMH} = 11052 - 6556$$

$$\text{PMH} = 4496 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA D.15**

	Molde	
	E8	J3
PMH+R(gr)	284,56	275,20
PMS+R(gr)	252,72	243,38
PA(gr)	31,84	31,82
PR(gr)	35,32	34,35
PMS(gr)	217,40	209,03
CH	0,146	0,152
% W	14,646	15,223
Promedio CH	0,149	
Promedio % W	14,934	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 252,72 - 35,32 \\ PMS &= 217,40 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 243,38 - 34,35 \\ PMS &= 209,03 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 284,56 - 252,72 \\ PA &= 31,84 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 275,20 - 243,38 \\ PA &= 31,82 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{31,84}{217,40} = 0,146$$

$$CH = \frac{31,82}{209,03} = 0,152$$

$$\%w = 0,146 * 100 = 14,646$$

$$\%w = 0,152 * 100 = 15,223$$

DENSIDADES ENSAYO No 2**TABLA D.16**

PUNTO N.- 1	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3) =$	2,000
Promedio% CH. =	9,859
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3) =$	1,820
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3) =$	1820

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4239}{2120} = 2,000 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,000}{1+0,0985} = 1,820 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 1,820 * 1000 = 1820 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA D.17

PUNTO N.- 2	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3) =$	2,130
Promedio% CH. =	12,891
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3) =$	1,887
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3) =$	1887

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4515}{2120} = 2,130 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,130}{1+0,1289} = 1,887 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 1,887 * 1000 = 1887 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA D.18

PUNTO N.- 3	
$\sigma_h(\text{gr}/\text{cm}^3)=$	2,121
Promedio% CH.=	14,934
$\sigma_s(\text{gr}/\text{cm}^3)=$	1,845
$\sigma_s(\text{Kg}/\text{m}^3)=$	1845

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4496}{2120} = 2,121 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,121}{1+0,1493} = 1,845 \text{ (gr}/\text{cm}^3)$$

$$\sigma_s = 1,845 * 1000 = 1845 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

Simbología

PMH	Peso de la Muestra Húmeda
PMS	Peso de la Muestra Seca
PA	Peso del Agua
PR	Peso del Recipiente
R	Recipiente
CH	Contenido de Humedad
%W	Porcentaje de Humedad
σ_h	Densidad Húmeda
σ_s	Densidad seca
Ps	Peso seco
V	Volumen

**ANEXO "E" CÁLCULOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN DEL
MATERIAL IDENTIFICADO PARA BASE.**

Pasante 3/4" de la sumatoria de los ensayos N.- 1 y 2 (granulometría)

El porcentaje retenido lo divido para 100 y lo multiplico por 7000gr para obtener el peso que necesitamos para el ensayo de compactación.

El porcentaje del pasante lo divido para 100 y lo multiplico por 7000gr para obtener el peso que necesitamos para el ensayo de compactación.

$$0,65 * 7000 = 4550 \text{ gr}$$

$$0,35 * 7000 = 2450 \text{ gr}$$

Pasante 3/4"(gr)	4550
Retenido N.-4(gr)	<u>2450</u>
Total(gr)	7000

Método Modificado D

Molde	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	56	10 lb

TABLA E.1

PUNTO N.-1	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	10917
PMH (gr)	<u>4361</u>

Cálculos:

$$V=(0,02*7000)$$

$$V= 140 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH}=(\text{PMH}+\text{P.Molde}) - (\text{P. Molde})$$

$$\text{PMH}= 10917 - 6556$$

$$\text{PMH}= 4361 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA E.2**

	Molde	
	H12	H20
PMH+R(gr)	197,46	173,83
PMS+R(gr)	191,73	168,58
PA(gr)	5,73	5,25
PR(gr)	53,22	42,57
PMS(gr)	138,51	126,01
CH	0,041	0,042
% W	4,137	4,166
Promedio CH	0,042	
Promedio % W	4,152	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 191,73 - 53,22 \\ PMS &= 138,51 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 168,58 - 42,57 \\ PMS &= 126,01 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 197,46 - 191,73 \\ PA &= 5,73 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 173,83 - 168,58 \\ PA &= 5,25 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{5,73}{138,51} = 0,041$$

$$CH = \frac{5,25}{126,01} = 0,042$$

$$\%w = 0,041 * 100 = 4,137$$

$$\%w = 0,042 * 100 = 4,166$$

TABLA E.3

PUNTO.-2	
Porcentaje de agua(%)	3
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	210
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11140
PMH (gr)	4584

Cálculos:

$$\begin{aligned} V &= (0,03 * 7000) \\ V &= 210 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMH &= (PMH+P.Molde) - (P. Molde) \\ PMH &= 11140 - 6556 \\ PMH &= 4584 \text{ gr} \end{aligned}$$

Contenido de Humedad**TABLA E.4**

	Molde	
	H21	H15
PMH+R(gr)	221,66	220,71
PMS+R(gr)	209,81	208,78
PA(gr)	11,85	11,93
PR(gr)	42,22	54,56
PMS(gr)	167,59	154,22
CH	0,071	0,077
% W	7,071	7,736
Promedio CH	0,074	
Promedio % W	7,403	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 209,81 - 42,22 \\ PMS &= 167,59 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 208,78 - 54,56 \\ PMS &= 154,22 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 221,66 - 209,81 \\ PA &= 11,85 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 220,71 - 208,78 \\ PA &= 11,93 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{11,85}{167,59} = 0,071$$

$$CH = \frac{11,93}{154,22} = 0,077$$

$$\% w = 0,071 * 100 = 7,071$$

$$\% w = 0,077 * 100 = 7,736$$

TABLA E.5

PUNTO.-3	
Porcentaje de agua(%)	3
Muestra(gr)	7000
Agua(cm³)	210
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11296
PMH (gr)	4740

Cálculos:

$$V = (0,03 * 7000)$$

$$V = 210 \text{ cm}^3$$

$$PMH = (PMH+P.Molde) - (P. Molde)$$

$$PMH = 11296 - 6556$$

$$PMH = 4740 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA E.6**

	Molde	
	H5	H1
PMH+R(gr)	227,76	205,68
PMS+R(gr)	212,26	192,45
PA(gr)	15,50	13,23
PR(gr)	54,36	43,16
PMS(gr)	157,90	149,29
CH	0,098	0,089
% W	9,816	8,862
Promedio CH		0,093
Promedio % W		9,339

Cálculos:

$$PMS=(PMS+R) - PR$$

$$PMS= 212,26 - 54,36$$

$$PMS= 157,90 \text{ gr}$$

$$PA=(PMH+R) - (PMS+R)$$

$$PA= 227,76 - 212,26$$

$$PA= 15,50 \text{ gr}$$

$$CH=\frac{PA}{PMS}$$

$$CH=\frac{15,50}{157,90}=0,098$$

$$\% w=0,098*100= 9,816$$

$$PMS=(PMS+R) - PR$$

$$PMS= 192,45 - 43,16$$

$$PMS= 149,29 \text{ gr}$$

$$PA=(PMH+R) - (PMS+R)$$

$$PA= 205,68 - 192,45$$

$$PA= 13,23 \text{ gr}$$

$$CH=\frac{PA}{PMS}$$

$$CH=\frac{13,23}{149,29}=0,089$$

$$\% w=0,089*100= 8,862$$

TABLA E.7

PUNTO.-4	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11477
PMH (gr)	4921

Cálculos:

$$V=(0,02*7000)$$

$$V= 140 \text{ cm}^3$$

$$PMH=(PMH+P.Molde) - (P. Molde)$$

$$PMH=11477- 6556$$

$$PMH= 4921 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA E.8**

	Molde	
	H4	H17
PMH+R(gr)	258,30	236,40
PMS+R(gr)	236,45	217,75
PA(gr)	21,85	18,65
PR(gr)	52,37	53,18
PMS(gr)	184,08	164,57
CH	0,119	0,113
% W	11,870	11,333
Promedio CH		0,116
Promedio % W		11,601

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 236,45 - 52,37 \\ PMS &= 184,08 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 217,75 - 53,18 \\ PMS &= 164,57 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 258,30 - 236,45 \\ PA &= 21,85 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 236,40 - 217,75 \\ PA &= 18,65 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{21,85}{184,08} = 0,119$$

$$CH = \frac{18,65}{164,57} = 0,113$$

$$\% w = 0,119 * 100 = 11,87$$

$$\% w = 0,113 * 100 = 11,33$$

TABLA E.9

PUNTO.-5	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(cm ³)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11545
PMH (gr)	4989

Cálculos:

$$V = (0,02 * 7000)$$

$$V = 140 \text{ cm}^3$$

$$PMH = (PMH+P.Molde) - (P. Molde)$$

$$PMH = 11545 - 6556$$

$$PMH = 4989 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad
TABLA E.10

	Molde	
	J11	J4
PMH+R(gr)	372,46	366,02
PMS+R(gr)	331,21	324,85
PA(gr)	41,25	41,17
PR(gr)	34,46	34,07
PMS(gr)	296,75	290,78
CH	0,139	0,142
% W	13,901	14,158
Promedio CH	0,140	
Promedio % W	14,030	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 331,21 - 34,46 \\ PMS &= 296,75 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 324,85 - 34,07 \\ PMS &= 290,78 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 372,46 - 331,21 \\ PA &= 41,25 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 366,02 - 324,85 \\ PA &= 41,17 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{41,25}{296,75} = 0,139$$

$$CH = \frac{41,17}{290,78} = 0,142$$

$$\% w = 0,139 * 100 = 13,901$$

$$\% w = 0,142 * 100 = 14,158$$

DENSIDADES DEL MATERIAL IDENTIFICADO PARA BASE

TABLA E.11
PUNTO N.- 1

σ_h (gr/cm ³)=	2,057
Promedio% CH.=	4,152
σ_s (gr/cm ³)=	1,975
σ_s (Kg/m ³)=	1975

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4361}{2120} = 2,057 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,057}{1+0,04151} = 1,975 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 1,975 * 1000 = 1975 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA E.12

PUNTO N.- 2	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,162
Promedio% CH.=	7,403
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	2,013
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	2013

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4584}{2120} = 2,162 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,162}{1+0,07403} = 2,013 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 2,013 * 1000 = 2013 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA E.13

PUNTO N.- 3	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,236
Promedio% CH.=	9,339
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	2,045
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	2045

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4740}{2120} = 2,236 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,236}{1+0,0933} = 2,045 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 2,045 * 1000 = 2045 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA E.14

PUNTO N.-4	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,321
Promedio% CH.=	11,601
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	2,080
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	2080

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4921}{2120} = 2,321 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,321}{1+0,116} = 2,080 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 2,080 * 1000 = 2080 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA E.15

PUNTO N.-5	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,353
Promedio% CH.=	14,030
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	2,064
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	2064

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_h = \frac{4989}{2120} = 2,353 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_s = \frac{2,353}{1+0,1403} = 2,064 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\sigma_s = 2,064 * 1000 = 2064 \text{ Kg/m}^3$$

Simbología

PMH	Peso de la Muestra Húmeda
PMS	Peso de la Muestra Seca
PA	Peso del Agua
PR	Peso del Recipiente
R	Recipiente
CH	Contenido de Humedad
%W	Porcentaje de Humedad
σ_h	Densidad Húmeda
σ_s	Densidad seca
Ps	Peso seco
V	Volumen

**ANEXO “F” CÁLCULOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN DEL
MATERIAL DE LA MINA COLORADO.**

Pasante 3/4" de la sumatoria de los ensayos N.- 1 y 2 (granulometría)

El porcentaje retenido lo divido para 100 y lo multiplico por 7000gr para obtener el peso que necesitamos para el ensayo de compactación.

El porcentaje del pasante lo divido para 100 y lo multiplico por 7000gr para obtener el peso que necesitamos para el ensayo de compactación.

ENSAYO N.-1

$$0,91 * 7000 = 6370 \text{ gr}$$

$$0,09 * 7000 = 630 \text{ gr}$$

Pasante 3/4"(gr)	6370
Retenido N.-4(gr)	<u>630</u>
Total(gr)	7000

Método Modificado D

Molde	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	56	10lb

TABLA F.1

PUNTO N.-1	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(ml)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11479
PMH (gr)	<u>4923</u>

Cálculos:

$$V=(0,02*7000)$$

$$V= 140 \text{ ml}$$

$$\text{PMH}=(\text{PMH}+\text{P.Molde}) - (\text{P. Molde})$$

$$\text{PMH}= 11479 - 6556$$

$$\text{PMH}= 4923 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA F.2**

	Molde	
	H0	H15
PMH+R(gr)	224,78	215,40
PMS+R(gr)	216,58	208,46
PA(gr)	8,20	6,94
PR(gr)	43,47	54,59
PMS(gr)	173,11	153,87
CH	0,047	0,045
%W	4,737	4,510
Promedio CH	0,046	
Promedio %W	4,624	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 216,58 - 43,47 \\ PMS &= 173,11 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 208,46 - 54,59 \\ PMS &= 153,87 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 224,78 - 216,58 \\ PA &= 6,94 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 173,83 - 168,58 \\ PA &= 5,25 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{5,73}{138,51} = 0,041$$

$$CH = \frac{5,25}{126,01} = 0,042$$

$$\% w = 0,041 * 100 = 4,137$$

$$\% w = 0,042 * 100 = 4,166$$

TABLA F.3

PUNTO.-2	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(ml)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11682
PMH (gr)	5126

Cálculos:

$$\begin{aligned} V &= (0,02 * 7000) \\ V &= 140 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMH &= (PMH+P.Molde) - (P. Molde) \\ PMH &= 11682 - 6556 \\ PMH &= 5126 \text{ gr} \end{aligned}$$

Contenido de Humedad**TABLA F.4**

	Molde	
	H18	H13
PMH+R(gr)	270,68	252,09
PMS+R(gr)	258,20	240,88
PA(gr)	12,48	11,21
PR(gr)	52,08	51,94
PMS(gr)	206,12	188,94
CH	0,061	0,059
%W	6,055	5,933
Promedio CH	0,060	
Promedio %W	5,994	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 209,81 - 42,22 \\ PMS &= 167,59 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 208,78 - 54,56 \\ PMS &= 154,22 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 221,66 - 209,81 \\ PA &= 11,85 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 220,71 - 208,78 \\ PA &= 11,93 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{11,85}{167,59} = 0,071$$

$$CH = \frac{11,93}{154,22} = 0,077$$

$$\%w = 0,071 * 100 = 7,071$$

$$\%w = 0,077 * 100 = 7,736$$

TABLA F.5

PUNTO.-3	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(ml)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	12031
PMH (gr)	5475

Cálculos:

$$V = (0,03 * 7000)$$

$$V = 140 \text{ ml}$$

$$PMH = (PMH+P.Molde) - (P. Molde)$$

$$PMH = 11296 - 6556$$

$$PMH = 4740 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad
TABLA F.6

	Molde	
	H21	H4
PMH+R(gr)	269,67	256,29
PMS+R(gr)	252,25	242,54
PA(gr)	17,42	13,75
PR(gr)	42,23	52,59
PMS(gr)	210,02	189,95
CH	0,083	0,072
%W	8,294	7,239
Promedio CH	0,078	
Promedio %W	7,767	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 212,26 - 54,36 \\ PMS &= 157,90 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 192,45 - 43,16 \\ PMS &= 149,29 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 227,76 - 212,26 \\ PA &= 15,50 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 205,68 - 192,45 \\ PA &= 13,23 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{15,50}{157,90} = 0,098$$

$$CH = \frac{13,23}{149,29} = 0,089$$

$$\%w = 0,098 * 100 = 9,816$$

$$\%w = 0,089 * 100 = 8,862$$

TABLA F.7

PUNTO.-4	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(ml)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	12004
PMH (gr)	5448

Cálculos:

$$V = (0,02 * 7000)$$

$$V = 140 \text{ ml}$$

$$PMH = (PMH+P.Molde) - (P. Molde)$$

$$PMH = 12004 - 6556$$

$$PMH = 5448 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA F.8**

	Molde	
	H1	H12
PMH+R(gr)	185,75	178,45
PMS+R(gr)	167,19	171,20
PA(gr)	18,56	7,25
PR(gr)	43,17	53,23
PMS(gr)	124,02	117,97
CH	0,150	0,061
%W	14,965	6,146
Promedio CH	0,106	
Promedio %W	10,555	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 236,45 - 52,37 \\ PMS &= 184,08 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 217,75 - 53,18 \\ PMS &= 164,57 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 258,30 - 236,45 \\ PA &= 21,85 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 236,40 - 217,75 \\ PA &= 18,65 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{21,85}{184,08} = 0,119$$

$$CH = \frac{18,65}{164,57} = 0,113$$

$$\%w = 0,119 * 100 = 11,87$$

$$\%w = 0,113 * 100 = 11,33$$

DENSIDADES ENSAYO No 1**TABLA F.9**

PUNTO N.- 1	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3) =$	2,322
Promedio% CH. =	4,624
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3) =$	2,220
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3) =$	2220

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4923}{2120} = 2,322 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,322}{1+0,04624} = 2,220 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 2,220 * 1000 = 2220 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA F.10

PUNTO N.- 2	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,418
Promedio% CH.=	5,994
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	2,281
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	2281

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{5126}{2120} = 2,418 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,418}{1+0,0599} = 2,281 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 2,281 * 1000 = 2281 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA F.11

PUNTO N.- 3	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,583
Promedio% CH.=	7,767
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	2,396
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	2396

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{5475}{2120} = 2,583 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,583}{1+0,07767} = 2,396 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 2,396 * 1000 = 2396 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA F.12

PUNTO N.-4	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,570
Promedio% CH.=	10,555
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	2,324
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	2324

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{5448}{2120} = 2,570 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,570}{1+0,1055} = 2,324 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 2,324 * 1000 = 2324 \text{ Kg/m}^3$$

ENSAYO N.-2

$$0,87 * 7000 = 6090 \text{ gr}$$

$$0,13 * 7000 = 910 \text{ gr}$$

Pasante 3/4"(gr)	6090
Retenido N.-4(gr)	910
Total(gr)	7000

Método Modificado D

Molde	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	56	10lb

TABLA F.13

PUNTO N.-1	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(ml)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11433
PMH (gr)	4877

Cálculos:

$$V=(0,02*7000)$$

$$V= 140 \text{ ml}$$

$$PMH=(PMH+P.Molde) - (P. Molde)$$

$$PMH= 11433 - 6556$$

$$PMH= 4877 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA F.14**

	Molde	
	H5	H19
PMH+R(gr)	155,14	149,14
PMS+R(gr)	151,23	146,00
PA(gr)	3,91	3,14
PR(gr)	54,35	52,91
PMS(gr)	96,88	93,09
CH	0,040	0,034
% W	4,036	3,373
Promedio CH	0,037	
Promedio % W	3,705	

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\ \text{PMS} &= 151,23 - 54,35 \\ \text{PMS} &= 96,88 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\ \text{PMS} &= 146 - 52,91 \\ \text{PMS} &= 93,09 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\ \text{PA} &= 155,14 - 151,23 \\ \text{PA} &= 3,91 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\ \text{PA} &= 149,14 - 146 \\ \text{PA} &= 3,14 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{3,91}{96,88} = 0,40$$

$$\text{CH} = \frac{3,14}{93,09} = 0,034$$

$$\% w = 0,040 * 100 = 4,036$$

$$\% w = 0,034 * 100 = 3,373$$

TABLA F.15

PUNTO.-2	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(ml)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	11787
PMH (gr)	5231

Cálculos:

$$\begin{aligned} V &= (0,02 * 7000) \\ V &= 140 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PMH} &= (\text{PMH} + \text{P.Molde}) - (\text{P.Molde}) \\ \text{PMH} &= 11787 - 6556 \\ \text{PMH} &= 5231 \text{ gr} \end{aligned}$$

Contenido de Humedad**TABLA F.16**

	Molde	
	H17	J100
PMH+R(gr)	167,04	171,71
PMS+R(gr)	161,98	165,76
PA(gr)	5,06	5,95
PR(gr)	53,19	34,81
PMS(gr)	108,79	130,95
CH	0,047	0,0454
% W	4,651	4,544
Promedio CH	0,046	
Promedio % W	4,597	

Cálculos:

$$\begin{aligned}
 \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} & \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\
 \text{PMS} &= 161,98 - 53,19 & \text{PMS} &= 165,76 - 34,81 \\
 \text{PMS} &= 108,79 \text{ gr} & \text{PMS} &= 130,95 \text{ gr} \\
 \\
 \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) & \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\
 \text{PA} &= 167,04 - 160,58 & \text{PA} &= 171,71 - 164,01 \\
 \text{PA} &= 5,06 \text{ gr} & \text{PA} &= 5,95 \text{ gr} \\
 \\
 \text{CH} &= \frac{\text{PA}}{\text{PMS}} & \text{CH} &= \frac{\text{PA}}{\text{PMS}} \\
 \\
 \text{CH} &= \frac{5,06}{108,79} = 0,047 & \text{CH} &= \frac{5,95}{130,95} = 0,0454 \\
 \\
 \% w &= 0,047 * 100 = 4,651 & \% w &= 0,0454 * 100 = 4,544
 \end{aligned}$$

TABLA F.17

PUNTO.-3	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(ml)	210
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	12016
PMH (gr)	5460

Cálculos:

$$\begin{aligned}
 V &= (0,03 * 7000) \\
 V &= 210 \text{ ml} \\
 \\
 \text{PMH} &= (\text{PMH} + \text{P.Molde}) - (\text{P.Molde}) \\
 \text{PMH} &= 12016 - 6556 \\
 \text{PMH} &= 5460 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

Contenido de Humedad**TABLA F.18**

	Molde	
	H7	H20
PMH+R(gr)	163,37	173,07
PMS+R(gr)	155,77	165,04
PA(gr)	7,60	8,03
PR(gr)	42,10	42,57
PMS(gr)	113,67	122,47
CH	0,067	0,066
% W	6,686	6,557
Promedio CH	0,066	
Promedio % W	6,621	

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\ \text{PMS} &= 155,77 - 42,10 \\ \text{PMS} &= 113,67 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\ \text{PMS} &= 165,04 - 42,57 \\ \text{PMS} &= 122,47 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\ \text{PA} &= 163,37 - 155,77 \\ \text{PA} &= 7,60 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\ \text{PA} &= 173,07 - 165,04 \\ \text{PA} &= 8,03 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{7,60}{113,67} = 0,067$$

$$\text{CH} = \frac{8,03}{122,47} = 0,066$$

$$\% w = 0,067 * 100 = 6,686$$

$$\% w = 0,066 * 100 = 6,557$$

TABLA F.19

PUNTO.-4	
Porcentaje de agua(%)	2
Muestra(gr)	7000
Agua(ml)	140
P.Molde(gr)	6556
Volumen(cm ³)	2120
PMH+P.Molde (gr)	12095
PMH (gr)	5539

Cálculos:

$$V = (0,02 * 7000)$$

$$V = 140 \text{ ml}$$

$$\text{PMH} = (\text{PMH} + \text{P.Molde}) - (\text{P.Molde})$$

$$\text{PMH} = 12095 - 6556$$

$$\text{PMH} = 5539 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA F.20**

	Molde	
	E7	J5
PMH+R(gr)	216,70	201,35
PMS+R(gr)	200,31	187,76
PA(gr)	16,39	13,59
PR(gr)	33,85	33,84
PMS(gr)	166,46	153,92
CH	0,098	0,088
% W	9,846	8,829
Promedio CH	0,093	
Promedio % W	9,338	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 200,31 - 33,85 \\ PMS &= 166,46 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 187,76 - 33,84 \\ PMS &= 153,92 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 216,70 - 200,31 \\ PA &= 16,39 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 201,35 - 187,76 \\ PA &= 13,59 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{16,39}{166,46} = 0,098$$

$$CH = \frac{13,59}{153,92} = 0,088$$

$$\%w = 0,098 * 100 = 9,846$$

$$\%w = 0,088 * 100 = 8,829$$

DENSIDADES ENSAYO No 2**TABLA F.21****PUNTO N.- 1**

σ_h (gr/cm ³)=	2,300
Promedio% CH.=	3,705
σ_s (gr/cm ³)=	2,218
σ_s (Kg/m ³)=	2218

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{4877}{2120} = 2,300 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,300}{1+0,03705} = 2,218 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\sigma_s = 2,218 * 1000 = 2218 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA F.22**PUNTO N.- 2**

σ_h (gr/cm ³)=	2,467
Promedio% CH.=	4,597
σ_s (gr/cm ³)=	2,359
σ_s (Kg/m ³)=	2359

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{5231}{2120} = 2,467 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,467}{1+0,04609} = 2,359 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\sigma_s = 2,359 * 1000 = 2359 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA F.23

PUNTO N.- 3	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,575
Promedio% CH.=	6,621
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	2,416
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	2416

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{5460}{2120} = 2,575 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,575}{1+0,06621} = 2,416 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 2,416 * 1000 = 2416 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA F.24

PUNTO N.-4	
$\sigma_h(\text{gr/cm}^3)=$	2,613
Promedio% CH.=	9,338
$\sigma_s(\text{gr/cm}^3)=$	2,390
$\sigma_s(\text{Kg/m}^3)=$	2390

Cálculos:

$$\sigma_h = \frac{PMH}{V}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_h}{1+CH}$$

$$\sigma_h = \frac{5539}{2120} = 2,613 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_s = \frac{2,613}{1+0,09338} = 2,390 \text{ (gr/cm}^3)$$

$$\sigma_s = 2,390 * 1000 = 2390 \text{ Kg/m}^3$$

ANEXO "G" CÁLCULOS DEL ENSAYO CBR DEL MATERIAL RECICLADO.

ENSAYO No 1

Molde 3	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	56	10 lb

Resultados del porcentaje de contenido de humedad y humedad óptima, obtenidos en el Ensayo de Compactación calculados anteriormente:

DATOS:

Prom.% W del ensayo 1	11,14
Prom.% W del ensayo 2	9,85
Prom.Humedad Óptima (%)	13,2
Cantidad de Agua (%)	2
Peso Natural de la Muestra (gr)	7000

Cálculos:

$$\text{Prom\% W} = (11,14 + 9,85) / 2 = 10,50 \%$$

$$(10,50 \% - 2 \%) = 8,50 \%$$

$$(13,2 - 8,50) = 4,70 \% \text{ Humedad Inicial de la Muestra}$$

$$4,70 / 100 = 0,047$$

$$0,047 * 7000 = 329 \text{ ml}$$

TABLA G.1

PUNTO N.-1	
Peso Muestra Natural(gr)	7000
Peso Molde(gr)	7194
Agua(ml)	329
Altura Molde(cm)	17,7
Altura Pesa Falsa (cm)	5,08
Diámetro (cm)	15,24
Volumen(cm³)	2302
PMH+P.Molde (gr)	12055
PMH (gr)	4861

Cálculos:

$$V = 3,14,15 * R * R * H$$

$$V = 3,1415 * \left(\frac{15,24}{2}\right) * \left(\frac{15,24}{2}\right) * (17,7 - 5,08)$$

$$V = 2302 \text{ cm}^3$$

$$PMH = (PMH + P.MOLDE) - (P.MOLDE)$$

$$PA = 12055 - 7194$$

$$PA = 4861 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA G.2**

	Molde	
	A30	A1
PMH+R(gr)	384,88	384,71
PMS+R(gr)	350,20	350,13
PA(gr)	34,68	34,58
PR(gr)	103,37	104,44
PMS(gr)	246,83	245,69
CH	0,141	0,141
% W	14,10	14,10
Promedio CH	0,1410	
Promedio % W	14,10	

Cálculos:

$$PMS = (PMS + R) - PR$$

$$PMS = 350,20 - 103,37$$

$$PMS = 246,83 \text{ gr}$$

$$PA = (PMH + R) - (PMS + R)$$

$$PA = 384,88 - 350,20$$

$$PA = 34,68 \text{ gr}$$

$$PMS = (PMS + R) - PR$$

$$PMS = 350,13 - 104,44$$

$$PMS = 245,69 \text{ gr}$$

$$PA = (PMH + R) - (PMS + R)$$

$$PA = 384,71 - 350,13$$

$$PA = 34,58 \text{ gr}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{34,68}{246,83} = 0,141$$

$$CH = \frac{34,58}{245,69} = 0,141$$

$$\% w = 0,141 * 100 = 14,10$$

$$\% w = 0,141 * 100 = 14,10$$

Cálculos del Ensayo de Penetración

Constante = 7,5301 lbs

Área del Dial = 3 pulg²

TABLA G.3

TIEMPO PENETRACIÓN		CARGA		PRESIÓN
min	pulg	dial	lbs	lb/pulg ²
0,00	0	0	0	0
0,30	25	6	45	15
1,00	50	19	143	48
1,30	75	41	309	103
2,00	100	67	505	168
3,00	150	146	1099	366
4,00	200	233	1755	585
5,00	250	341	2568	856
6,00	300	430	3238	1079
8,00	400	627	4721	1574
10,00	500	808	6084	2028

Cálculos:

$$\text{Carga (lbs)} = \text{dial} * \text{Constante}$$

$$\text{Carga (lbs)} = 6 * 7,5301 = 45 \text{ lbs}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Carga}}{\text{área dial}}$$

$$\text{Presión} = \frac{45}{3} = 15 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{PMHS} + \text{P.Molde (gr)} = 12085$$

$$\text{PMHS} = (\text{PMHS} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMHS} = 12085 - 7194$$

$$\text{PMHS} = 4891 \text{ gr}$$

**Contenido de Humedad de la
Muestra Saturada**

TABLA G.4

	Molde	
	A30	A1
PMH+R(gr)	395,58	384,81
PMS+R(gr)	357,21	346,15
PA(gr)	38,37	38,66
PR(gr)	64,74	64,64
PMS(gr)	292,47	281,51
CH	0,131	0,137
% W	13,11	13,73
Promedio CH	0,1342	
Promedio % W	13,42	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 357,21 - 64,74 \\ PMS &= 292,47 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 346,15 - 64,64 \\ PMS &= 281,51 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 395,58 - 357,21 \\ PA &= 38,37 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 384,81 - 346,15 \\ PA &= 38,66 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{38,37}{292,47} = 0,131$$

$$CH = \frac{38,66}{281,51} = 0,137$$

$$\%w = 0,131 * 100 = 13,11$$

$$\%w = 0,137 * 100 = 13,73$$

ENSAYO No 2

Molde 4	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	25	10 lb

Resultados del porcentaje de contenido de humedad y humedad óptima, obtenidos en el

Ensayo de Compactación calculados anteriormente:

DATOS:

Prom.% W del ensayo 1	11,14
Prom.% W del ensayo 2	9,85
Prom.Humedad Óptima (%)	13,2
Cantidad de Agua (%)	2
Peso Natural de la Muestra (gr)	7000

Cálculos:

$$\text{Prom\% W} = (11,14 + 9,85) / 2 = 10,50 \%$$

$$(10,50 - 2) = 8,50 \%$$

$$(13,2 - 8,50) = 4,70 \%$$
 Humedad Inicial de la Muestra

$$4,70 / 100 = 0,047$$

$$0,047 * 7000 = 329 \text{ ml}$$

TABLA G.5

PUNTO N.-2	
Peso Muestra Natural(gr)	7000
Peso Molde(gr)	7190
Agua(ml)	329
Altura Molde(cm)	17,7
Altura Pesa Falsa (cm)	5,08
Diámetro (cm)	15,24
Volumen(cm³)	2302
PMH+P.Molde (gr)	11983
PMH (gr)	4793

Cálculos:

$$V = 3,1415 * R * R * H$$

$$V = 3,1415 * \left(\frac{15,24}{2}\right) * \left(\frac{15,24}{2}\right) * (17,7 - 5,08)$$

$$V = 2302 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH} = (\text{PMH} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PA} = 11983 - 7190$$

$$\text{PA} = 4793 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad
TABLA G.6

	Molde	
	A2	A10
PMH+R(gr)	432,88	373,86
PMS+R(gr)	393,72	341,73
PA(gr)	39,16	32,13
PR(gr)	103,44	105,35
PMS(gr)	290,28	236,38
CH	0,135	0,136
% W	13,50	13,6
Promedio CH	0,1455	
Promedio % W	14,55	

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} & \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\ \text{PMS} &= 393,72 - 103,44 & \text{PMS} &= 341,73 - 105,35 \\ \text{PMS} &= 290,28 \text{ gr} & \text{PMS} &= 236,38 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) & \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\ \text{PA} &= 432,88 - 393,72 & \text{PA} &= 373,86 - 341,73 \\ \text{PA} &= 39,16 \text{ gr} & \text{PA} &= 32,13 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{39,16}{290,28} = 0,135$$

$$\text{CH} = \frac{32,13}{236,38} = 0,136$$

$$\% w = 0,135 * 100 = 13,50$$

$$\% w = 0,136 * 100 = 13,6$$

Cálculos del Ensayo de Penetración

Constante = 7,5301 lbs

Área del Dial = 3 pulg²

TABLA G.7

TIEMPO PENETRACIÓN		CARGA PRESIÓN		
min	pulg	dial	lbs	lb/pulg ²
0,00	0	0	0	0
0,30	25	55	414	138
1,00	50	110	828	276
1,30	75	157	1182	394
2,00	100	202	1521	507
3,00	150	286	2154	718
4,00	200	367	2764	921
5,00	250	451	3396	1132
6,00	300	523	3938	1313
8,00	400	674	5075	1692
10,00	500	807	6077	2026

Cálculos:

$$\text{Carga (lbs)} = \text{dial} * \text{Constante}$$

$$\text{Carga (lbs)} = 55 * 7,5301 = 414 \text{ lbs}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Carga}}{\text{área dial}}$$

$$\text{Presión} = \frac{414}{3} = 138 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{PMHS} + \text{P.Molde (gr)} = 12050$$

$$\text{PMHS} = (\text{PMHS} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMHS} = 12050 - 7190$$

$$\text{PMHS} = 4860 \text{ gr}$$

**Contenido de Humedad de la
Muestra Saturada
TABLA G.8**

	Molde	
	J14	J13
PMH+R(gr)	207,84	206,15
PMS+R(gr)	187,88	185,32
PA(gr)	19,96	20,83
PR(gr)	33,96	33,75
PMS(gr)	153,92	151,57
CH	0,1296	0,1374
% W	12,96	13,74
Promedio CH	0,1335	
Promedio % W	13,35	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 187,88 - 33,96 \\ PMS &= 153,92 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 185,32 - 33,75 \\ PMS &= 151,57 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 207,84 - 187,88 \\ PA &= 19,96 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 206,15 - 185,32 \\ PA &= 20,83 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{19,96}{153,92} = 0,1296$$

$$CH = \frac{20,83}{151,57} = 0,1374$$

$$\% w = 0,1296 * 100 = 12,96$$

$$\% w = 0,1374 * 100 = 13,74$$

ENSAYO No 3

Molde 5	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	10	10 lb

Resultados del porcentaje de contenido de humedad y humedad óptima, obtenidos en el

Ensayo de Compactación calculados anteriormente:

DATOS:

Prom.% W del ensayo 1	11,14
Prom.% W del ensayo 2	9,85
Prom.Humedad Óptima (%)	13,2
Cantidad de Agua (%)	2
Peso Natural de la Muestra (gr)	7000

Cálculos:

$$\text{Prom. \% W} = (11,14 + 9,85) / 2 = 10,50 \%$$

$$(10,50 - 2) = 8,50 \%$$

$$(13,2 - 8,50) = 4,70 \% \text{ Humedad Inicial de la Muestra}$$

$$4,70 / 100 = 0,047$$

$$0,047 * 7000 = 329 \text{ ml}$$

TABLA G.9

PUNTO N.-1	
Peso Muestra Natural(gr)	7000
Peso Molde(gr)	7229
Agua(ml)	329
Altura Molde(cm)	17,7
Altura Pesa Falsa (cm)	5,08
Diámetro (cm)	15,24
Volumen(cm ³)	2302
PMH+P.Molde (gr)	11577
PMH (gr)	4348

Cálculos:

$$V = 3,14,15 * R * R * H$$

$$V = 3,1415 * \left(\frac{15,24}{2}\right)^2 * (17,7 - 5,08)$$

$$V = 2302 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH} = (\text{PMH} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PA} = 11577 - 7229$$

$$\text{PA} = 4348 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA G.10**

	Molde	
	A3	A50
PMH+R(gr)	354,83	384,88
PMS+R(gr)	328,24	355,20
PA(gr)	26,59	29,68
PR(gr)	102,48	103,42
PMS(gr)	225,76	251,78
CH	0,1177	0,1179
% W	11,77	11,79
Promedio CH	0,1178	
Promedio % W	11,78	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 328,24 - 102,48 \\ PMS &= 225,76 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 355,20 - 103,42 \\ PMS &= 251,78 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 354,83 - 328,24 \\ PA &= 26,59 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 384,88 - 355,20 \\ PA &= 29,68 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{26,59}{225,76} = 0,1177$$

$$CH = \frac{29,68}{251,78} = 0,1179$$

$$\% w = 0,1177 * 100 = 11,77$$

$$\% w = 0,1179 * 100 = 11,79$$

Cálculos del Ensayo de Penetración

Constante = 7,5301 lbs

Área del Dial = 3 pulg²

TABLA G.11

TIEMPO		PENETRACIÓN		CARGA		PRESIÓN	
min	pulg	dial	lbs	dial	lbs	lb/pulg ²	
0,00	0	0	0	0	0	0	
0,30	25	11	83	28	83	28	
1,00	50	20	151	50	151	50	
1,30	75	27	203	68	203	68	
2,00	100	30	226	75	226	75	
3,00	150	41	309	103	309	103	
4,00	200	50	377	126	377	126	
5,00	250	64	482	161	482	161	
6,00	300	72	542	181	542	181	
8,00	400	93	700	233	700	233	
10,00	500	119	896	299	896	299	

Cálculos:

$$\text{Carga (lbs)} = \text{dial} * \text{Constante}$$

$$\text{Carga (lbs)} = 11 * 7,5301 = 83 \text{ lbs}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Carga}}{\text{Área dial}}$$

$$\text{Presión} = \frac{83}{3} = 28 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{PMHS} + \text{P.Molde (gr)} = 11818$$

$$\text{PMHS} = (\text{PMHS} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMHS} = 11818 - 7229$$

$$\text{PMHS} = 4589 \text{ gr}$$

**Contenido de Humedad de la
Muestra Saturada**

TABLA G.12

	Molde	
	J2	J7
PMH+R(gr)	210,55	223,16
PMS+R(gr)	186,88	196,93
PA(gr)	23,67	26,23
PR(gr)	33,31	33,46
PMS(gr)	153,57	163,47
CH	0,1541	0,1604
% W	15,41	16,04
Promedio CH	0,1573	
Promedio % W	15,73	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 186,88 - 33,31 \\ PMS &= 153,57 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 196,93 - 33,46 \\ PMS &= 163,47 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 210,55 - 186,88 \\ PA &= 23,67 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 223,16 - 196,93 \\ PA &= 26,23 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{23,67}{153,57} = 0,1541$$

$$CH = \frac{26,23}{163,47} = 0,1604$$

$$\% w = 0,1541 * 100 = 15,41$$

$$\% w = 0,1604 * 100 = 16,04$$

**ANEXO "H" CÁLCULOS DEL ENSAYO CBR DEL MATERIAL
IDENTIFICADO PARA BASE.**

ENSAYO No 1

Molde 1	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	56	10 lb

Resultados del porcentaje de contenido de humedad y humedad óptima, obtenidos en el Ensayo de Compactación calculados anteriormente:

DATOS:

Prom.% W del ensayo 1	4,1
Prom.Humedad Óptima (%)	11,6
Cantidad de Agua (%)	2
Peso Natural de la Muestra (gr)	7000

Cálculos:

$$\text{Prom\% W} = 4,1 \%$$

$$(4,1 - 2) = 2,1 \%$$
 Humedad Inicial de la Muestra

$$(11,6 \% - 2,1\%) = 9,5 \%$$

$$9,5 / 100 = 0,095$$

$$0,095 * 7000 = 665 \text{ ml}$$

TABLA H.1

PUNTO N.-1	
Peso Muestra Natural(gr)	7000
Peso Molde(gr)	7287
Agua(ml)	665
Altura Molde(cm)	17,7
Altura Pesa Falsa (cm)	5,08
Diámetro (cm)	15,24
Volumen(cm ³)	2302
PMH+P.Molde (gr)	12635
PMH (gr)	5348

Cálculos:

$$V = 3,14,15 * R * R * H$$

$$V = 3,1415 * \left(\frac{15,24}{2}\right) * \left(\frac{15,24}{2}\right) * (17,7 - 5,08)$$

$$V = 2302 \text{ cm}^3$$

$$PMH = (PMH + P.MOLDE) - (P.MOLDE)$$

$$PA = 12635 - 7287$$

$$PA = 5348 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA H.2**

	Molde	
	E7	E4
PMH+R(gr)	280,27	284,77
PMS+R(gr)	254,99	258,37
PA(gr)	25,28	26,4
PR(gr)	33,87	34,11
PMS(gr)	221,12	224,26
CH	0,1143	0,1177
% W	11,43	11,77
Promedio CH	0,116	
Promedio % W	11,60	

Cálculos:

$$PMS = (PMS + R) - PR$$

$$PMS = 254,99 - 33,87$$

$$PMS = 221,12 \text{ gr}$$

$$PMS = (PMS + R) - PR$$

$$PMS = 258,37 - 34,11$$

$$PMS = 224,26 \text{ gr}$$

$$PA = (PMH + R) - (PMS + R)$$

$$PA = 280,27 - 254,99$$

$$PA = 25,28 \text{ gr}$$

$$PA = (PMH + R) - (PMS + R)$$

$$PA = 284,77 - 258,37$$

$$PA = 26,4 \text{ gr}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{25,28}{221,12} = 0,1143$$

$$CH = \frac{26,4}{224,26} = 0,1177$$

$$\% w = 0,1143 * 100 = 11,43$$

$$\% w = 0,1177 * 100 = 11,77$$

Cálculos del Ensayo de Penetración

Constante = 7,5301 lbs

Área del Dial = 3 pulg²

TABLA H.3

TIEMPO		PENETRACIÓN			CARGA	PRESION
min	pulg	dial	lbs	lb/pulg ²		
0,00	0	0	0	0		
0,30	25	80	602	201		
1,00	50	155	1167	389		
1,30	75	215	1619	540		
2,00	100	263	1980	660		
3,00	150	335	2523	841		
4,00	200	510	3840	1280		
5,00	250	618	4654	1551		
6,00	300	745	5610	1870		
8,00	400	956	7199	2400		
10,00	500	1120	8434	2811		

Cálculos:

$$\text{Carga (lbs)} = \text{dial} * \text{Constante}$$

$$\text{Carga (lbs)} = 80 * 7,5301 = 602 \text{ lbs}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Carga}}{\text{Área dial}}$$

$$\text{Presión} = \frac{602}{3} = 201 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{PMHS} + \text{P.Molde (gr)} = 12738$$

$$\text{PMHS} = (\text{PMHS} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMHS} = 12738 - 7287$$

$$\text{PMHS} = 5451 \text{ gr}$$

**Contenido de Humedad de la
Muestra Saturada
TABLA H.4**

	Molde	
	A8	A60
PMH+R(gr)	450,77	410,68
PMS+R(gr)	423,03	383,33
PA(gr)	27,74	27,35
PR(gr)	101,68	102,65
PMS(gr)	321,35	280,68
CH	0,086	0,097
%W	8,63	9,74
Promedio CH	0,0919	
Promedio %W	9,19	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR & PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 423,03 - 101,68 & PMS &= 383,33 - 102,65 \\ PMS &= 321,35 \text{ gr} & PMS &= 280,68 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) & PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 450,77 - 423,03 & PA &= 410,68 - 383,33 \\ PA &= 27,74 \text{ gr} & PA &= 27,35 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{27,74}{321,35} = 0,0863 \qquad CH = \frac{27,35}{280,68} = 0,0974$$

$$\%w = 0,0863 * 100 = 8,63 \qquad \%w = 0,0974 * 100 = 9,74$$

ENSAYO No 2

Molde 2	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	25	10 lb

Resultados del porcentaje de contenido de humedad y humedad óptima, obtenidos en el Ensayo de Compactación calculados anteriormente:

DATOS:

Prom.% W del ensayo 1	4,1
Prom.Humedad Óptima (%)	11,6
Cantidad de Agua (%)	2
Peso Natural de la Muestra (gr)	7000

Cálculos:

$$\text{Prom\% W} = 4,1 \%$$

$$(4,1 - 2) = 2,1 \%$$
 Humedad Inicial de la Muestra

$$(11,6 \% - 2,1\%) = 9,5 \%$$

$$9,5 / 100 = 0,095$$

$$0,095 * 7000 = 665 \text{ ml}$$

TABLA H.5

PUNTO N.-1	
Peso Muestra Natural(gr)	7000
Peso Molde(gr)	7122
Agua(ml)	665
Altura Molde(cm)	17,7
Altura Pesa Falsa (cm)	5,08
Diámetro (cm)	15,24
Volumen(cm³)	2302
PMH+P.Molde (gr)	12397
PMH (gr)	5275

Cálculos:

$$V = 3,14,15 * R * R * H$$

$$V = 3,1415 * \left(\frac{15,24}{2}\right)^2 * \left(\frac{15,24}{2}\right) * (17,7 - 5,08)$$

$$V = 2302 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH} = (\text{PMH} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMH} = 12397 - 7122$$

$$\text{PMH} = 5275 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad
TABLA H.6

	Molde	
	J5	J12
PMH+R(gr)	261,00	248,40
PMS+R(gr)	238,02	228,21
PA(gr)	22,98	20,19
PR(gr)	33,82	33,46
PMS(gr)	204,2	194,75
CH	0,1125	0,1037
% W	11,25	10,37
Promedio CH	0,1081	
Promedio % W	10,81	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR & PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 238,02 - 33,82 & PMS &= 228,21 - 33,46 \\ PMS &= 204,2 \text{ gr} & PMS &= 194,75 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) & PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 261 - 238,02 & PA &= 248,40 - 228,21 \\ PA &= 22,98 \text{ gr} & PA &= 20,19 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{22,98}{204,2} = 0,1125$$

$$CH = \frac{20,19}{194,75} = 0,1037$$

$$\% w = 0,1125 * 100 = 11,25$$

$$\% w = 0,1037 * 100 = 10,37$$

Cálculos del Ensayo de Penetración

Constante = 7,5301 lbs

Área del Dial = 3 pulg²

TABLA H.7

TIEMPO PENETRACIÓN		CARGA		PRESIÓN
min	pulg	dial	lbs	lb/pulg ²
0,00	0	0	0	0
0,30	25	32	241	80
1,00	50	68	512	171
1,30	75	115	866	289
2,00	100	164	1235	412
3,00	150	291	2191	730
4,00	200	422	3178	1059
5,00	250	541	4074	1358
6,00	300	641	4827	1609
8,00	400	821	6182	2061
10,00	500	956	7199	2400

Cálculos:

$$\text{Carga (lbs)} = \text{dial} * \text{Constante}$$

$$\text{Carga (lbs)} = 32 * 7,5301 = 241 \text{ lbs}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Carga}}{\text{Área dial}}$$

$$\text{Presión} = \frac{241}{3} = 80 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{PMHS} + \text{P.Molde (gr)} = 12498$$

$$\text{PMHS} = (\text{PMHS} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMHS} = 12498 - 7122$$

$$\text{PMHS} = 5076 \text{ gr}$$

**Contenido de Humedad de la
Muestra Saturada**

TABLA H.8

	Molde	
	A6	A100
PMH+R(gr)	465,49	484,22
PMS+R(gr)	434,61	449,36
PA(gr)	30,88	34,86
PR(gr)	102,83	102,90
PMS(gr)	331,78	346,46
CH	0,093	0,1006
% W	9,31	10,06
Promedio CH	0,0968	
Promedio % W	9,68	

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} & \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\ \text{PMS} &= 434,61 - 102,83 & \text{PMS} &= 449,36 - 102,90 \\ \text{PMS} &= 331,78\text{gr} & \text{PMS} &= 346,46\text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) & \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\ \text{PA} &= 465,49 - 434,61 & \text{PA} &= 484,22 - 449,36 \\ \text{PA} &= 30,88\text{ gr} & \text{PA} &= 34,86\text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{30,88}{331,78} = 0,0931$$

$$\text{CH} = \frac{34,86}{346,46} = 0,1006$$

$$\% w = 0,0931 * 100 = 9,31$$

$$\% w = 0,1006 * 100 = 10,06$$

ENSAYO No 3

Molde 0	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	10	10 lb

Resultados del porcentaje de contenido de humedad y humedad óptima, obtenidos en el

Ensayo de Compactación calculados anteriormente:

DATOS:

Prom.% W del ensayo 1	4,1
Prom.Humedad Óptima (%)	11,6
Cantidad de Agua (%)	2
Peso Natural de la Muestra (gr)	7000

Cálculos:

$$\text{Prom\% W} = 4,1 \%$$

$$(4,1 - 2) = 2,1 \%$$
 Humedad Inicial de la Muestra

$$(11,6 \% - 2,1\%) = 9,5 \%$$

$$9,5 / 100 = 0,095$$

$$0,095 * 7000 = 665 \text{ ml}$$

TABLA H.9

PUNTO N.-1	
Peso Muestra Natural(gr)	7000
Peso Molde(gr)	7057
Agua(ml)	665
Altura Molde(cm)	17,7
Altura Pesa Falsa (cm)	5,08
Diámetro (cm)	15,24
Volumen(cm ³)	2302
PMH+P.Molde (gr)	12235
PMH (gr)	5178

Cálculos:

$$V = 3,14,15 * R * R * H$$

$$V = 3,1415 * \left(\frac{15,24}{2}\right)^2 * \left(\frac{15,24}{2}\right) * (17,7 - 5,08)$$

$$V = 2302 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH} = (\text{PMH} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMH} = 12235 - 7057$$

$$\text{PMH} = 5178 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad
TABLA H.10

	Molde	
	E1	E2
PMH+R(gr)	265,45	261,44
PMS+R(gr)	246,24	240,41
PA(gr)	19,21	24,57
PR(gr)	33,71	33,56
PMS(gr)	212,53	206,85
CH	0,0904	0,1017
% W	9,04	10,17
Promedio CH	0,096	
Promedio % W	9,60	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR & PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 246,24 - 33,71 & PMS &= 240,41 - 33,56 \\ PMS &= 212,53 \text{ gr} & PMS &= 206,85 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) & PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 265,45 - 246,24 & PA &= 261,44 - 240,41 \\ PA &= 19,21 \text{ gr} & PA &= 21,03 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{19,21}{212,53} = 0,0904$$

$$CH = \frac{21,03}{206,85} = 0,1017$$

$$\% w = 0,0904 * 100 = 9,04$$

$$\% w = 0,1017 * 100 = 10,17$$

Cálculos del Ensayo de Penetración

Constante = 7,5301 lbs

Área del Dial = 3 pulg²

TABLA H.11

TIEMPO		PENETRACIÓN		CARGA		PRESIÓN	
min	pulg	dial	lbs	lb/pulg ²			
0,00	0	0	0	0			
0,30	25	56	422	141			
1,00	50	108	813	271			
1,30	75	155	1167	389			
2,00	100	207	1559	520			
3,00	150	287	2161	720			
4,00	200	382	2876	959			
5,00	250	478	3599	1200			
6,00	300	562	4232	1411			
8,00	400	717	5399	1800			
10,00	500	853	6423	2141			

Cálculos:

$$\text{Carga (lbs)} = \text{dial} * \text{Constante}$$

$$\text{Carga (lbs)} = 56 * 7,5301 = 422 \text{ lbs}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Carga}}{\text{área dial}}$$

$$\text{Presión} = \frac{422}{3} = 141 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{PMHS} + \text{P.Molde (gr)} = 12398$$

$$\text{PMHS} = (\text{PMHS} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMHS} = 12398 - 7057$$

$$\text{PMHS} = 5341 \text{ gr}$$

**Contenido de Humedad de la
Muestra Saturada**

TABLA H.12

	Molde	
	A2	A50
PMH+R(gr)	471,20	475,56
PMS+R(gr)	445,34	440,76
PA(gr)	25,86	34,80
PR(gr)	102,56	102,74
PMS(gr)	342,78	338,02
CH	0,0754	0,103
% W	7,54	10,30
Promedio CH	0,0892	
Promedio % W	8,92	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 445,34 - 102,56 \\ PMS &= 342,78 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 440,76 - 102,74 \\ PMS &= 338,02 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 471,20 - 445,34 \\ PA &= 25,86 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 475,56 - 440,76 \\ PA &= 34,80 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{25,86}{342,78} = 0,075$$

$$CH = \frac{34,80}{338,02} = 0,103$$

$$\% w = 0,075 * 100 = 7,5$$

$$\% w = 0,103 * 100 = 10,3$$

**ANEXO "I" CÁLCULOS DEL ENSAYO CBR DEL MATERIAL DE LA MINA
COLORADO.**

ENSAYO No 1

Molde 1	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	56	10 lb

Resultados del porcentaje de contenido de humedad y humedad óptima, obtenidos en el Ensayo de Compactación calculados anteriormente:

DATOS:

Prom.% W del ensayo 1	4,63
Prom.% W del ensayo 2	3,7
Prom.Humedad Óptima (%)	7,18
Cantidad de Agua (%)	2
Peso Natural de la Muestra (gr)	7000

Cálculos:

$$\text{Prom. \% W} = (4,63 + 3,7) / 2 = 4,16 \%$$

$$(4,16 \% - 2\%) = 2,16 \%$$

$$(7,18 - 2,16) = 5,02 \% \text{ Humedad Inicial de la Muestra}$$

$$5,02 / 100 = 0,0502$$

$$0,0502 * 7000 = 351 \text{ ml}$$

TABLA I.1

PUNTO N.-1	
Peso Muestra Natural(gr)	7000
Peso Molde(gr)	7287
Agua(ml)	351
Altura Molde(cm)	17,7
Altura Pesa Falsa (cm)	5,08
Diámetro (cm)	15,24
Volumen(cm ³)	2302
PMH+P.Molde (gr)	13246
PMH (gr)	5959

Cálculos:

$$V = 3,14,15 * R * R * H$$

$$V = 3,1415 * \left(\frac{15,24}{2}\right)^2 * (17,7 - 5,08)$$

$$V = 2302 \text{ cm}^3$$

$$PMH = (PMH + P.MOLDE) - (P.MOLDE)$$

$$PMH = 13246 - 7287$$

$$PMH = 5959 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad**TABLA I.2**

	Molde	
	H1	H7
PMH+R(gr)	171,46	181,56
PMS+R(gr)	163,17	172,44
PA(gr)	8,29	9,12
PR(gr)	43,17	42,08
PMS(gr)	120	130,36
CH	0,069	0,0699
% W	6,91	6,99
Promedio CH	0,0695	
Promedio % W	6,95	

Cálculos:

$$PMS = (PMS + R) - PR$$

$$PMS = 163,17 - 43,17$$

$$PMS = 120 \text{ gr}$$

$$PMS = (PMS + R) - PR$$

$$PMS = 172,44 - 42,08$$

$$PMS = 130,36 \text{ gr}$$

$$PA = (PMH + R) - (PMS + R)$$

$$PA = 171,46 - 163,17$$

$$PA = 8,29 \text{ gr}$$

$$PA = (PMH + R) - (PMS + R)$$

$$PA = 181,56 - 172,44$$

$$PA = 9,12 \text{ gr}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{8,29}{120} = 0,0691$$

$$CH = \frac{9,12}{130,36} = 0,0699$$

$$\% w = 0,0691 * 100 = 6,91$$

$$\% w = 0,0699 * 100 = 6,99$$

Cálculos del Ensayo de Penetración

$$\text{Constante} = 7,5301 \text{ lbs}$$

$$\text{Área del Dial} = 3 \text{ pulg}^2$$

TABLA I.3

TIEMPO		PENETRACIÓN		
		CARGA		PRESIÓN
min	pulg	dial	lbs	lb/pulg ²
0,00	0	0	0	0
0,30	25	27	203	68
1,00	50	83	625	208
1,30	75	146	1099	366
2,00	100	203	1529	510
3,00	150	326	2455	818
4,00	200	467	3517	1172
5,00	250	574	4322	1441
6,00	300	756	5693	1898
8,00	400	1055	7944	2648
10,00	500	1263	9511	3170

Cálculos:

$$\text{Carga (lbs)} = \text{dial} * \text{Constante}$$

$$\text{Carga (lbs)} = 27 * 7,5301 = 203 \text{ lbs}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Carga}}{\text{área dial}}$$

$$\text{Presión} = \frac{203}{3} = 68 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{PMHS} + \text{P.Molde (gr)} = 13347$$

$$\text{PMHS} = (\text{PMHS} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMHS} = 13347 - 7287$$

$$\text{PMHS} = 6060 \text{ gr}$$

**Contenido de Humedad de la
Muestra Saturada**

TABLA I.4

	Molde	
	J13	E6
PMH+R(gr)	285,02	279,59
PMS+R(gr)	273,91	268,94
PA(gr)	11,11	10,65
PR(gr)	33,80	32,85
PMS(gr)	240,11	236,09
CH	0,0463	0,0451
% W	4,63	4,51
Promedio CH	0,0457	
Promedio % W	4,57	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 273,91 - 33,80 \\ PMS &= 240,11 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 268,94 - 32,85 \\ PMS &= 236,09 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 285,02 - 273,91 \\ PA &= 11,11 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 279,59 - 268,94 \\ PA &= 10,65 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{11,11}{240,11} = 0,0463$$

$$CH = \frac{10,65}{236,09} = 0,0451$$

$$\% w = 0,0463 * 100 = 4,63$$

$$\% w = 0,0451 * 100 = 4,51$$

ENSAYO No 2

Molde 2	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	25	10 lb

Resultados del porcentaje de contenido de humedad y humedad óptima, obtenidos en el Ensayo de Compactación calculados anteriormente:

DATOS:

Prom.%W del ensayo 1	4,63
Prom.%W del ensayo 2	3,7
Prom.Humedad Óptima (%)	7,18
Cantidad de Agua (%)	2
Peso Natural de la Muestra (gr)	7000

Cálculos:

$$\text{Prom. \% W} = (4,63 + 3,7) / 2 = 4,16 \%$$

$$(4,16 \% - 2\%) = 2,16 \%$$

$$(7,18 - 2,16) = 5,02 \% \text{ Humedad Inicial de la Muestra}$$

$$5,02 / 100 = 0,0502$$

$$0,0502 * 7000 = 351 \text{ ml}$$

TABLA I.5

PUNTO N.-1	
Peso Muestra Natural(gr)	7000
Peso Molde(gr)	7122
Agua(ml)	351
Altura Molde(cm)	17,7
Altura Pesa Falsa (cm)	5,08
Diámetro (cm)	15,24
Volumen(cm³)	2302
PMH+P.Molde (gr)	13056
PMH (gr)	5934

Cálculos:

$$V = 3,14,15 * R * R * H$$

$$V = 3,1415 * \left(\frac{15,24}{2}\right) * \left(\frac{15,24}{2}\right) * (17,7 - 5,08)$$

$$V = 2302 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH} = (\text{PMH} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMH} = 13056 - 7122$$

$$\text{PMH} = 5934 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad
TABLA I.6

	Molde	
	H17	H19
PMH+R(gr)	196,23	193,92
PMS+R(gr)	186,89	184,65
PA(gr)	9,34	9,27
PR(gr)	53,18	52,90
PMS(gr)	133,71	131,75
CH	0,0699	0,0704
% W	6,99	7,04
Promedio CH	0,0701	
Promedio % W	7,01	

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} & \text{PMS} &= (\text{PMS} + \text{R}) - \text{PR} \\ \text{PMS} &= 186,89 - 53,18 & \text{PMS} &= 184,65 - 52,90 \\ \text{PMS} &= 133,71 \text{ gr} & \text{PMS} &= 131,75 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) & \text{PA} &= (\text{PMH} + \text{R}) - (\text{PMS} + \text{R}) \\ \text{PA} &= 196,23 - 186,89 & \text{PA} &= 193,92 - 184,65 \\ \text{PA} &= 9,34 \text{ gr} & \text{PA} &= 9,27 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{\text{PA}}{\text{PMS}}$$

$$\text{CH} = \frac{9,34}{133,71} = 0,0699$$

$$\text{CH} = \frac{9,27}{131,75} = 0,0704$$

$$\% w = 0,0699 * 100 = 6,99$$

$$\% w = 0,0704 * 100 = 7,04$$

Cálculos del Ensayo de Penetración

Constante = 7,5301 lbs

Área del Dial = 3 pulg²

TABLA I.7

TIEMPO		PENETRACIÓN		CARGA		PRESION	
min	pulg	dial	lbs	dial	lbs	lb/pulg ²	
0,00	0	0	0	0	0	0	
0,30	25	62	467	62	467	156	
1,00	50	118	889	118	889	296	
1,30	75	167	1258	167	1258	419	
2,00	100	218	1642	218	1642	547	
3,00	150	329	2477	329	2477	826	
4,00	200	460	3464	460	3464	1155	
5,00	250	620	4669	620	4669	1556	
6,00	300	776	5843	776	5843	1948	
8,00	400	940	7078	940	7078	2359	
10,00	500	1210	9111	1210	9111	3037	

Cálculos:

$$\text{Carga (lbs)} = \text{dial} * \text{Constante}$$

$$\text{Carga (lbs)} = 62 * 7,5301 = 467 \text{ lbs}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Carga}}{\text{Área dial}}$$

$$\text{Presión} = \frac{467}{3} = 156 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{PMHS} + \text{P.Molde (gr)} = 13184$$

$$\text{PMHS} = (\text{PMHS} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMHS} = 13184 - 7122$$

$$\text{PMHS} = 6062 \text{ gr}$$

**Contenido de Humedad de la
Muestra Saturada**

TABLA I.8

	Molde	
	J2	E5
PMH+R(gr)	246,51	254,31
PMS+R(gr)	235,87	242,37
PA(gr)	10,64	11,94
PR(gr)	33,31	34,13
PMS(gr)	202,56	208,24
CH	0,0525	0,0573
% W	5,25	5,73
Promedio CH	0,0549	
Promedio % W	5,49	

Cálculos:

PMS=(PMS+R) - PR	PMS=(PMS+R) - PR
PMS= 235,87 - 33,31	PMS= 242,37 - 34,13
PMS= 202,56 gr	PMS= 208,24 gr

PA=(PMH+R) - (PMS+R)	PA=(PMH+R) - (PMS+R)
PA= 246,51 - 235,87	PA= 193,92 - 242,37
PA=9,34 gr	PA= 9,27 gr

$CH = \frac{PA}{PMS}$	$CH = \frac{PA}{PMS}$
-----------------------	-----------------------

$CH = \frac{9,34}{202,56} = 0,0525$	$CH = \frac{9,27}{208,24} = 0,0573$
-------------------------------------	-------------------------------------

%w=0,0525*100= 5,25	%w=0,0573*100=5,73
---------------------	--------------------

ENSAYO No 3

Molde 3	Capas	Golpes	Peso Martillo
6"	5	10	10 lb

Resultados del porcentaje de contenido de humedad y humedad óptima, obtenidos en el

Ensayo de Compactación calculados anteriormente:

DATOS:

Prom.% W del ensayo 1	4,63
Prom.% W del ensayo 2	3,7
Prom.Humedad Óptima (%)	7,18
Cantidad de Agua (%)	2
Peso Natural de la Muestra (gr)	7000

Cálculos:

$$\text{Prom. \% W} = (4,63 + 3,7) / 2 = 4,16 \%$$

$$(4,16 \% - 2\%) = 2,16 \%$$

$$(7,18 - 2,16) = 5,02 \% \text{ Humedad Inicial de la Muestra}$$

$$5,02 / 100 = 0,0502$$

$$0,0502 * 7000 = 351 \text{ ml}$$

TABLA I.9

PUNTO N.-1	
Peso Muestra Natural(gr)	7000
Peso Molde(gr)	7194
Agua(ml)	351
Altura Molde(cm)	17,7
Altura Pesa Falsa (cm)	5,08
Diámetro (cm)	15,24
Volumen(cm³)	2302
PMH+P.Molde (gr)	12996
PMH (gr)	5802

Cálculos:

$$V = 3,14,15 * R * R * H$$

$$V = 3,1415 * \left(\frac{15,24}{2}\right) * \left(\frac{15,24}{2}\right) * (17,7 - 5,08)$$

$$V = 2302 \text{ cm}^3$$

$$\text{PMH} = (\text{PMH} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMH} = 12996 - 7194$$

$$\text{PMH} = 5802 \text{ gr}$$

Contenido de Humedad
TABLA I.10

	Molde	
	H15	H20
PMH+R(gr)	193,09	193,62
PMS+R(gr)	183,21	182,66
PA(gr)	9,88	10,96
PR(gr)	54,57	42,57
PMS(gr)	128,64	140,09
CH	0,0768	0,0782
% W	7,68	7,82
Promedio CH	0,0701	
Promedio % W	7,75	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR & PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 183,21 - 54,57 & PMS &= 182,66 - 42,57 \\ PMS &= 128,64 \text{ gr} & PMS &= 140,09 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) & PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 193,09 - 183,21 & PA &= 193,62 - 182,66 \\ PA &= 9,88 \text{ gr} & PA &= 10,96 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{9,88}{128,64} = 0,0768$$

$$CH = \frac{10,96}{140,09} = 0,0782$$

$$\% w = 0,0768 * 100 = 7,68$$

$$\% w = 0,0782 * 100 = 7,82$$

Cálculos del Ensayo de Penetración

$$\text{Constante} = 7,5301 \text{ lbs}$$

$$\text{Área del Dial} = 3 \text{ pulg}^2$$

TABLA I.11

TIEMPO		PENETRACIÓN		CARGA		PRESIÓN	
min	pulg	dial	lbs	dial	lbs	lb/pulg ²	
0,00	0	0	0	0	0	0	
0,30	25	10	75	25	188	63	
1,00	50	25	188	50	414	138	
1,30	75	47	354	75	610	203	
2,00	100	55	414	100	766	255	
3,00	150	117	881	150	1127	371	
4,00	200	170	1280	200	1599	519	
5,00	250	243	1830	250	2297	747	
6,00	300	305	2297	300	3050	984	
8,00	400	449	3381	400	4140	1340	
10,00	500	637	4797	500	5940	1916	

Cálculos:

$$\text{Carga (lbs)} = \text{dial} * \text{Constante}$$

$$\text{Carga (lbs)} = 10 * 7,5301 = 75 \text{ lbs}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Carga}}{\text{área dial}}$$

$$\text{Presión} = \frac{75}{3} = 25 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{PMHS} + \text{P.Molde (gr)} = 13158$$

$$\text{PMHS} = (\text{PMHS} + \text{P.MOLDE}) - (\text{P.MOLDE})$$

$$\text{PMHS} = 13158 - 7194$$

$$\text{PMHS} = 5964 \text{ gr}$$

**Contenido de Humedad de la
Muestra Saturada**

TABLA I.12

	Molde	
	J12	E3
PMH+R(gr)	278,12	253,46
PMS+R(gr)	269,14	244,48
PA(gr)	8,98	8,98
PR(gr)	33,47	32,73
PMS(gr)	235,67	211,75
CH	0,0381	0,0424
% W	3,81	4,24
Promedio CH	0,0403	
Promedio % W	4,03	

Cálculos:

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 269,14 - 33,47 \\ PMS &= 235,67 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMS &= (PMS+R) - PR \\ PMS &= 244,48 - 32,73 \\ PMS &= 211,75 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 278,12 - 269,14 \\ PA &= 8,98 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PA &= (PMH+R) - (PMS+R) \\ PA &= 253,46 - 244,48 \\ PA &= 8,98 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{PA}{PMS}$$

$$CH = \frac{8,98}{235,67} = 0,0381$$

$$CH = \frac{8,98}{211,75} = 0,0424$$

$$\%w = 0,0381 * 100 = 3,81$$

$$\%w = 0,0424 * 100 = 4,24$$