



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE
ADICIONANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA A SUBBASES UTILIZADAS EN LA CIUDAD
DE CUENCA”

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: SANTIAGO ANDRÉS GUERRERO LIMA
JUAN PABLO SUCONOTA CHIMBO**

DIRECTOR: ING. MSC. PAOLA VERÓNICA DELGADO GARZÓN

CUENCA - ECUADOR

2020

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

DECLARACIÓN

Nosotros, Guerrero Lima Santiago Andrés y Suconota Chimbo Juan Pablo; declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional, y que he consultado la totalidad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este proyecto, y eximimos a la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y normatividad institucional vigente.



Autor: Guerrero Lima, Santiago Andrés.

C.I.: 1104134026



Autor: Suconota Chimbo, Juan Pablo.

C.I.: 0106624828

CERTIFICACIÓN

Certifico en calidad de tutor del presente trabajo de titulación denominado “ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE ADICIONANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA A SUBBASES UTILIZADAS EN LA CIUDAD DE CUENCA”, fue desarrollado por Santiago Andrés Guerrero Lima y Juan Pablo Suconota Chimbo, bajo mi supervisión.



Ing. Msc. PAOLA VERÓNICA DELGADO GARZÓN

DIRECTOR

DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo brindado desde el primer día que siempre estuvieron dándome ánimo y fuerzas para seguir adelante.

A mis hermanos, que nunca dejaron de creer en mí, por nunca dejar de molestarme para poder superarme cada día.

A Rapha y a Marti, que son una fuente de motivación y los mejores del mundo.

A mis profesores por confiarme su sabiduría y conocimientos para el buen aprendizaje que tuve durante mi etapa universitaria.

Santiago Guerrero L.

DEDICATORIA

A mis padres Eduardo y Zoila por su cariño, guía y apoyo en el transcurso de toda mi vida, por sus sabios consejos que me permitieron llegar hasta este momento, por enseñarme que con esfuerzo y persistencia se pueden alcanzar las metas propuestas.

A mis hermanos Fabian y Boris por su paciencia y confianza por siempre estar a mi lado brindándome su incondicional apoyo.

Juan Pablo Suconota C.

LISTA DE ABREVIATURAS

E.A.: Emulsión asfáltica.

P.F.: Pavimentos flexibles.

M.D.C.: Mezcla densa en caliente.

B.G.: Base granular.

S.B.G.: Subbase granular.

S.B.E.E.: Subbase estabilizada con emulsión asfáltica.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se pretende mostrar los efectos de una estabilización con emulsión asfáltica en material granular subbase de las canteras cercanas al cantón Cuenca que se emplean comúnmente para el diseño de un pavimento flexible en vías tipo C2, por lo cual se realiza un análisis técnico económico y una comparación entre el diseño de un pavimento flexible sin material estabilizado y el diseño de un pavimento con subbase estabilizada con emulsión asfáltica.

Fueron seleccionadas tres muestras para dichos análisis, una en cada una de las canteras más representativas para adquisición de material pétreo en el cantón, denominadas A, B y C; para realizar el diseño de la estabilización con emulsión asfáltica se procedió a determinar mediante ensayos de laboratorio las características de cada una de las muestras siguiendo las respectiva normativa; el porcentaje óptimo de emulsión se determina con el método Marshall descrito en el Manual Básico de Emulsiones asfálticas elaborado por el Instituto del Asfalto; el diseño del pavimento flexible y los coeficientes estructurales se determinan según la AASHTO 93, para realizar el análisis técnico económico se lo realiza mediante el análisis del costo global del proyecto según lo describe el autor Alfonso Montejo Fonseca en su libro.

Los resultados obtenidos del proyecto muestran que una subbase estabilizada con emulsión asfáltica aumenta en un promedio de 50% de la capacidad del CBR de una subbase sin estabilizar, por ende, el valor de los coeficientes estructurales también aumenta significativamente y esto implica menores espesores para el diseño de las capas del pavimento, en lo económico presenta una mayor inversión, debido al costo de la emulsión asfáltica.

PALABRAS CLAVE: SUBBASE, ESTABILIZACIÓN, EMULSIÓN ASFÁLTICA, COEFICIENTE ESTRUCTURAL, DISEÑO DE PAVIMENTO.

ABSTRACT

This research work aims at showing the effects of stabilization with asphalt emulsion on granular sub-base material from quarries near the Cuenca canton that are commonly used for the design of a flexible pavement on C2 type roads, for which a technical-economic analysis, as well as a comparison between the design of a flexible pavement without stabilized material, and the design of pavement with stabilized sub-base with asphalt emulsion.

Three samples were selected to conduct the aforementioned analyzes, one in each of the most representative quarries for the acquisition of stone material in the cantón called A, B, and C; to perform the design of the stabilization with asphalt emulsion, the characteristics of each one of the samples were determined by laboratory tests following the respective regulations; the optimal percentage of the emulsion is determined with the Marshall method described in the Basic Manual of Asphalt Emulsions, prepared by the Asphalt Institute; the design of the flexible pavement and the structural coefficients are determined according to AASHTO 93, to conduct the technical-economic analysis, It was needed to analyze the overall cost of the project as described by the author Alfonso Montejo Fonseca in his book.

The results obtained from the project show that an asphalt emulsion stabilized subbase increases by an average of 50% of the CBR capacity of an unstabilized subbase, therefore, the value of the structural coefficients also increases significantly, implying lower thicknesses for the design of the pavement layers, economically, represents a greater investment due to the cost of the asphalt emulsion.

KEYWORDS: SUBBASE, STABILIZATION, ASPHALT EMULSION, STRUCTURAL COEFFICIENT, PAVEMENT DESIGN.

ÍNDICE

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE.....	9
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	13
ÍNDICE DE TABLAS.....	16
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	20
INTRODUCCIÓN.....	21
1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	23
1.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	26

1.3.	OBJETIVOS	27
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL	27
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
1.4.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	29
1.4.1.	UBICACIÓN	29
1.4.2.	ÁREA DE INFLUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN	30
2.	CAPÍTULO II: CONCEPTOS FUNDAMENTALES	31
2.1.	MARCO TEÓRICO.....	32
2.1.1.	PAVIMENTOS	32
2.1.1.1.	TIPOS DE PAVIMENTOS.....	32
2.1.1.2.	DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	36
2.1.2.	SUBBASES	42
2.1.2.1.	TIPOS DE SUBBASES	43
2.1.3.	EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	45
2.1.3.1.	TIPOS DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	46
2.1.4.	CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	47

2.2.	METODOLOGÍA	49
2.2.1.	DISEÑO.....	49
2.2.2.	MUESTRA	49
2.2.3.	TÉCNICA.....	50
2.2.4.	TÉCNICA DE ANÁLISIS	51
3.	CAPÍTULO III: ENSAYOS DE LABORATORIO	52
3.1.	GRANULOMETRÍA.....	53
3.2.	LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	58
3.3.	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN O DESGASTE	63
3.4.	PRÓCTOR MODIFICADO.....	67
3.5.	CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR).....	72
3.6.	MÉTODO MARSHALL	80
3.6.1.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE EMULSIÓN.....	80
3.6.2.	ENSAYO DE RECUBRIMIENTO.....	84
3.6.3.	ENSAYO DE ADHERENCIA.....	86
3.6.4.	ENSAYO DE ESTABILIDAD MARSHALL	88

3.6.5.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN	102
3.7.	PRÓCTOR MODIFICADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	104
3.8.	CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	108
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	112
4.1.	DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	113
4.2.	ANÁLISIS DE COSTOS	120
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
5.1.	CONCLUSIONES	130
5.2.	RECOMENDACIONES	131
	BIBLIOGRAFÍA	133
	ANEXOS	135
	ENSAYOS DE LABORATORIO	136

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Principales proveedores de materiales granulares a la Ciudad de Cuenca. Fuente: Google Maps. Elaboración: Propia.....	29
Ilustración 2. Delimitación: Área de estudio. Fuente: (Pacheco, 2018)	30
Ilustración 3. Esquema del comportamiento de pavimentos rígidos. Fuente: (AASHTO, 1993).....	33
Ilustración 4. Corte típico de un pavimento rígido. Fuente: (Higuera Sandoval, 2011).....	33
Ilustración 5. Corte típico de un pavimento flexible. Fuente: (Higuera Sandoval, 2011)	34
Ilustración 6. Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles. Fuente: (AASHTO, 1993)	35
Ilustración 8. Corte típico de un pavimento articulado. Fuente: (Higuera Sandoval, 2011)	35
Ilustración 9. Curva granulométrica para Subbase Clase 1.	44
Ilustración 10. Curva granulométrica para Subbase Clase 2.	44
Ilustración 11. Curva granulométrica para Subbase Clase 3.	45
Ilustración 12. Curva granulométrica de la cantera A.	55
Ilustración 13. Curva granulométrica de la cantera B.	56
Ilustración 14. Curva granulométrica de la cantera C.	57
Ilustración 15. Límites de consistencia cantera A.	60

Ilustración 16. Límites de consistencia cantera B	61
Ilustración 17. Límites de consistencia cantera C.	62
Ilustración 18.- Curva Densidad Seca vs. Humedad (%) Cantera A.....	69
Ilustración 19.- Curva Densidad Seca vs. Humedad (%) Cantera B.	70
Ilustración 20.- Curva Densidad Seca vs. Humedad (%) Cantera C.	71
Ilustración 21.- Curva Densidad seca vs CBR. Cantera A.	77
Ilustración 22.- Curva Densidad seca vs CBR. Cantera B.	78
Ilustración 23.- Curva Densidad seca vs CBR. Cantera C.	79
Ilustración 24. Gráfica % del cemento asfáltico vs. superficie específica.	82
Ilustración 25.- Curvas típicas obtenidas con emulsión asfáltica y agregados granulares.	91
Ilustración 26.- Ejemplo para la consideración de fluidos totales en la estabilización de materiales con emulsión.	92
Ilustración 27.- Curva densidad Seca vs Porcentaje de Emulsión Cantera B.....	96
Ilustración 28.- Curva densidad Seca vs Porcentaje de Emulsión Cantera C.....	96
Ilustración 29. Curva deformación vs. % emulsión, cantera B.	99
Ilustración 30. Curva deformación vs. % emulsión, cantera C.	99
Ilustración 31. Curva estabilidad vs. % emulsión, cantera B.	100

Ilustración 32. Curva estabilidad vs. % emulsión, cantera C.	100
Ilustración 33. Curva de cambio de estabilidad, cantera B.	101
Ilustración 34. Curva de cambio de estabilidad, cantera C.	101
Ilustración 35. Curva densidad seca vs % emulsión de la cantera B.	106
Ilustración 36. Curva densidad seca vs % emulsión de la cantera C.	107
Ilustración 37. Curva densidad vs. CBR de la cantera B.	110
Ilustración 38. Curva densidad vs. CBR de la cantera C.	111
Ilustración 39. Coeficiente Estructural Vs CBR. Elaboración: Propia.	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de equivalencia de carga por tipo de vehículo obtenidos a nivel nacional en el año 1996.....	37
Tabla 2. Factor de distribución por carril, Fca	38
Tabla 3. Niveles de confiabilidad sugeridos para varios tipos de carreteras, R.	39
Tabla 4. Desviación normal estándar, Zr.....	39
Tabla 5. Error normal combinado para pavimentos flexibles, So	40
Tabla 6. Granulometría de acuerdo a tipo de Subbase	43
Tabla 7. Normas desarrolladas por la AASTO y la ASTM.....	47
Tabla 8.- Normativa aplicada para los ensayos de laboratorio.....	50
Tabla 9. Parámetros de comparación para los diferentes diseños.	51
Tabla 10. Análisis granulométrico cantera A.	55
Tabla 11.- Análisis granulométrico cantera B.....	56
Tabla 12.- Análisis granulométrico Cantera C	57
Tabla 13.- Ensayo límites de consistencia cantera A.	60
Tabla 14.- Ensayo límites de consistencia cantera B.....	61
Tabla 15.-Ensayo límites de consistencia cantera C.....	62
Tabla 16.- Graduación de la muestra.....	64

Tabla 17.- Ensayo de abrasión cantera A.	65
Tabla 18.- Ensayo de abrasión cantera B.	66
Tabla 19.- Ensayo de abrasión cantera C.	66
Tabla 20.- Datos del ensayo próctor cantera A.	69
Tabla 21.- Datos del ensayo próctor cantera B.....	70
Tabla 22.- Datos del ensayo próctor cantera C.....	71
Tabla 23.- Datos del ensayo de CBR cantera A.	77
Tabla 24.- Datos del ensayo de CBR cantera B.	78
Tabla 25.- Datos del ensayo de CBR cantera C.	79
Tabla 26.- Resumen de los ensayos de laboratorio de los materiales granulares de las diferentes canteras.	80
Tabla 27.- Cálculo del contenido tentativo de emulsión para las diferentes Canteras. ..	83
Tabla 28.- Datos ensayo de recubrimiento Cantera B.	85
Tabla 29.- Datos ensayo de recubrimiento Cantera C.....	86
Tabla 30.-Datos ensayo de Adherencia.	87
Tabla 31.- Diseño de la mezcla con emulsión Cantera B.....	92
Tabla 32.- Diseño de la mezcla con emulsión Cantera C.....	93

Tabla 33.- Datos volumétricos de las briquetas de la cantera B para los diferentes porcentajes de emulsión. Fuente: Ensayos de laboratorio. Elaboración: Propia.	94
Tabla 34.- Datos volumétricos de las briquetas de la cantera C para los diferentes porcentajes de emulsión. Fuente: Ensayos de laboratorio. Elaboración: Propia.	95
Tabla 35.- Datos del ensayo de estabilidad Marshall Cantera B. Elaboración: Propia. .	97
Tabla 36.- Datos del ensayo de estabilidad Marshall Cantera C. Elaboración: Propia. .	98
Tabla 37. Puntos máximos y mínimos de las curvas de los ensayos Marshall.....	102
Tabla 38. Porcentajes óptimos de emulsión.	103
Tabla 39. Distribución de la granulometría en gruesos y finos	104
Tabla 40. Diseño de la mezcla de la cantera B.	105
Tabla 41. Datos del ensayo de Compactación. de la cantera B.	105
Tabla 42. Diseño de la mezcla de la cantera C.	106
Tabla 43. Datos del ensayo de Compactación. de la cantera C.	107
Tabla 44. Resultados finales del ensayo próctor modificado con emulsión asfáltica. .	108
Tabla 45. Diseño de la mezcla para el ensayo de CBR con emulsión asfáltica por cantera.	109
Tabla 46. Datos de ensayo CBR con emulsión asfáltica de la cantera B.	109
Tabla 47. Datos de ensayo CBR con emulsión asfáltica de la cantera C.	110
Tabla 48. Resultados finales de la compactación y CBR con emulsión asfáltica de las canteras.	111

Tabla 49.- Número de ejes equivalentes para un periodo de 20 años de distintos estudios de vías tipo C2.	113
Tabla 50. Resultados Coeficiente Estructural de Subbase según su condición.	117
Tabla 51. Propuesta #1 de estructura de pavimento.	119
Tabla 52. Propuesta #2 de estructura de pavimento.	119
Tabla 53.- Análisis empírico de costo de construcción vía- Alternativa 1 sin Subbase Estabilizada.	122
Tabla 54.-Análisis de Costos de transporte Alternativa 1 sin Subbase Estabilizada.	123
Tabla 55.-Análisis de costos para 1 metro cúbico de subbase estabilizada con emulsión asfáltica.	123
Tabla 56.- Análisis empírico de costo de construcción vía- Alternativa 2 con Subbase Estabilizada.	123
Tabla 57.- Análisis de costos de transporte Alternativa 2 con Subbase Estabilizada.	124
Tabla 58.- Costo de Construcción inicial (C1) de las alternativas de pavimento flexible.	124
Tabla 59.- Valores de parámetros para el cálculo de Costo Global para la alternativa 1 sin subbase estabilizada con emulsión asfáltica.	126
Tabla 60.- Valores de parámetros para el cálculo de Costo Global para la alternativa 2 con subbase estabilizada con emulsión asfáltica.	126
Tabla 61.- Cálculo del Costo global para la alternativa 1 sin subbase estabilizada con emulsión asfáltica.	127
Tabla 62.- Cálculo del Costo global para la alternativa 2 con subbase estabilizada con emulsión asfáltica.	127

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Factor de equivalencia de carga.....	38
Ecuación 2. Número estructural del pavimento.....	41
Ecuación 3. Numero estructural de diseño.	41
Ecuación 4. Área superficial (Duriez)	81
Ecuación 5. Porcentaje tentativo inicial de emulsión según M. Duriez	82
Ecuación 6. Porcentaje tentativo inicial de emulsión según el AEMA.	83
Ecuación 7. Densidad bruta	90
Ecuación 8. El Módulo resiliente (Mr) de la Subrasante.....	114
Ecuación 9. El Módulo resiliente (Mr) de la Subrasante.....	114
Ecuación 10. Coeficiente estructural de Subbases. Fuente: AASTHO.	116
Ecuación 11.- Costo global de una vía	120
Ecuación 12.- Costo global detallado de una vía.....	121
Ecuación 13.- Tasa de descuento.....	125

INTRODUCCIÓN

La subbase son capas de materiales pétreos que tienen como funcionalidad transmitir las cargas de la carpeta de rodadura a la subrasante.

Es una capa granular que se encuentra entre la base y la subrasante en pavimentos rígidos y flexibles, ayuda a prevenir la acumulación de agua dentro de la estructura y dar soporte a las capas estructurales siguientes.

Los métodos más utilizados en la ciudad de Cuenca para el diseño de pavimentos están basados en la metodología AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials), la cual se desarrolló por una serie de procedimientos empíricos-experimentales.

Este trabajo investigativo tiene como finalidad determinar mediante ensayos de laboratorio de suelos, el rendimiento que tienen algunos materiales de subbase y compararlos, utilizando materiales granulares de canteras del cantón Cuenca, mezclados posteriormente con emulsión asfáltica.

Los procedimientos que se investigarán son muy importantes para el desarrollo de nuevas alternativas de pavimentos, cada vez más necesarias en nuestra realidad para afrontar una inminente escasez de materiales pétreos en un mediano plazo en el sector de la Josefina, ya que, como es de conocimiento público, desde que ocurrió el “Desastre de la Josefina” en 1993, esta zona viene acarreado problemas en la cantidad de materiales pétreos que se necesita anualmente. Las canteras que se encuentran en la zona de la Josefina, no logran producir todo el material necesario para el Cantón Cuenca, que según

la Dirección de Minas del Municipio de Cuenca, hasta el 2018, del 100% de lo que se necesitaba, que eran alrededor de 800.000 m³ de materiales pétreos, para obras de lastrado, como para la fabricación de hormigón y asfalto, tan solo se producía hasta un 45%, lo que ocasiona importar materiales pétreos de otras zonas, especialmente de la cuenca del Jubones.

Los resultados obtenidos de los ensayos de los materiales serán aplicados en modelaciones, tablas y gráficos, los que describirán cual es la relación de material de granular y su mezcla con determinada cantidad de emulsión asfáltica en porcentaje.

Los ensayos propuestos de la SBG sin emulsión asfáltica son granulometría, límites de Atterberg y resistencia al desgaste, y los ensayos de la SBG con y sin emulsión asfáltica son los de próctor modificado, CBR y ensayos de Marshall, para determinar las diferencias que tienen los materiales y encontrar porcentajes óptimos que necesitan adicionarse a las subbases.

Para esta investigación se realiza una revisión extensa de la metodología AASHTO y bibliografía afín a este tema.

Una vez obtenido los resultados de los ensayos, se compararán y se determinará el costo de un pavimento utilizando subbase estabilizada con emulsión asfáltica y otra solo con subbase.

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los parámetros que se considera para el diseño de la estructura de un pavimento son las propiedades de sus capas, tanto de la subrasante, como de la subbase y base. Con regularidad los materiales granulares empleados como subbase que se encuentran en las diferentes canteras del Cantón Cuenca más concretamente ubicadas en el sector de El Descanso, pueden o no cumplir con la calidad técnica requerida; debido a este tipo de percances, los proyectos donde necesitan dichos materiales suben sus costos de inversión, ya que incrementan de volumen del material o emplean un método de mejoramiento o estabilización del material.

Existen diferentes métodos para hacer que los materiales granulares cumplan con las especificaciones requeridas, como los son las estabilizaciones o mejoramientos con aditivos, con cementos, enzimas, asfaltos, emulsiones asfálticas, etc.

Las mezclas asfálticas pueden ser elaboradas en frío o caliente cuya diferencia radica en que las mezclas en frío no necesitan de un sistema de calefacción de altas temperaturas y el material granular se lo emplea con su humedad óptima de compactación, además no necesitan un sistema de calefacción para secar el material granular y la circulación del asfalto.

Para garantizar un mejor desempeño de los materiales granulares utilizados como subbase se propone estudiar los materiales granulares de dichas canteras para comprobar si cumplen o no con los requerimientos necesarios para el diseño de la estructura de un pavimento y posteriormente someterlos a la adición de emulsión asfáltica; con esto, se

espera obtener un comportamiento y rendimiento superior al de un material de subbase, será importante también en esta investigación comparar costos de estructuras de pavimentos con material granular y con material estabilizado, buscando evidenciar si existe o no, un beneficio económico para el proyecto.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de la ciudad de Cuenca hace que la necesidad de nuevas vías y de rediseños eficientes de las mismas sea inevitable.

El crecimiento en infraestructura vial, no solo en Cuenca, sino también en el Ecuador en la última década, ha venido ganando importancia desde el punto de vista de la economía, progreso, turismo, etc. Las autopistas, redes viales, caminos vecinales, etc. están en constante desarrollo, por lo tanto, la necesidad de obtener materiales pétreos en óptimas condiciones tiene una gran importancia para la construcción de pavimentos, procurando siempre la utilización de materiales cercanos a los proyectos.

Se espera que el mejoramiento de la capacidad portante de las subbases para las estructuras de pavimentos, estabilizadas con emulsión asfáltica, tenga como resultado la disminución del espesor de las capas de la estructura del pavimento y consecuentemente la disminución del uso de materiales granulares.

Uno de los inconvenientes que los de estudiantes de pregrado tienen, es determinar y comparar el costo que tendría una capa granular sin ningún tipo de mejoramiento, con una capa granular estabilizada, en este caso en particular, sería subbase estabilizada con emulsión asfáltica, problema al que se va a tratar de dar solución. Adicionar emulsión asfáltica implica, incurrir en un costo adicional en el proyecto, y considerando que no se produce en la zona del austro su transporte eleva los precios, esta condición se podría contrarrestar si la estabilización de la subbase, efectivamente ayuda con una disminución

considerable de la cantidad de material granular a emplearse o con un costo de mantenimiento y plazo de repavimentación menores.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis técnico-económico para obtener la capacidad portante de subbases estabilizadas con emulsión asfáltica en diferentes proporciones para determinar el porcentaje de emulsión a ser agregado a las subbases del cantón Cuenca.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Obtener la Granulometría y Límites de Atterberg mediante ensayos de laboratorio.
- II. Determinar el tipo de subbase que proporciona cada una de las canteras según su faja granulométrica.
- III. Obtener la Densidad Máxima de cada uno de los materiales granulares mediante el ensayo de compactación.
- IV. Determinar valores de CBR con emulsión asfáltica y sin emulsión asfáltica.
- V. Valorar el comportamiento y calidad de los materiales granulares de las canteras más representativas del cantón Cuenca.
- VI. Analizar los resultados de los ensayos de las subbases con emulsión asfáltica y sin emulsión asfáltica.

- VII. Utilizar la normativa aplicable (AASHTO).
- VIII. Comparar el costo que tendría la colocación de subbase sola, con la colocación de subbases estabilizada con emulsión asfáltica.

1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.4.1. UBICACIÓN

La ubicación de esta investigación se desarrollará inicialmente en la zona donde se extrae el material granular para subbase que está comprendida en el sector de El Descanso, lugar donde están emplazadas las principales canteras que proveen materiales granulares a todos los proyectos de obra civil de los cantones aledaños a la cuenca del Paute.



Ilustración 1. Principales proveedores de materiales granulares a la Ciudad de Cuenca.

Fuente: Google Maps.

Elaboración: Propia

1.4.2. ÁREA DE INFLUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El área de influencia que va a abarcar esta investigación pertenece a la provincia del Azuay. Los materiales pétreos, son comercializados en las minas o canteras del Cantón Paute y en Cuenca y el material granular a estudiar (sub-base) es el resultado de que las canteras mezclan los materiales extraídos en las minas donde se comercializan (Cantones Cuenca y Paute), con otros provenientes del Cantón Santa Isabel, tal y como se explicaba en la introducción de esta investigación, que esto se da a partir de la escasez de materiales en el sector de la Josefina, de aquí se obtiene la mezcla definitiva, la cual se utiliza para las estructuras de pavimentos de la ciudad de Cuenca. Estos parámetros que se han mencionado han dado una mayor claridad a lo que será la zona de estudio, concentrada principalmente en los cantones Cuenca, Paute y algunos cantones cercanos a estos en la cuenca del Paute.

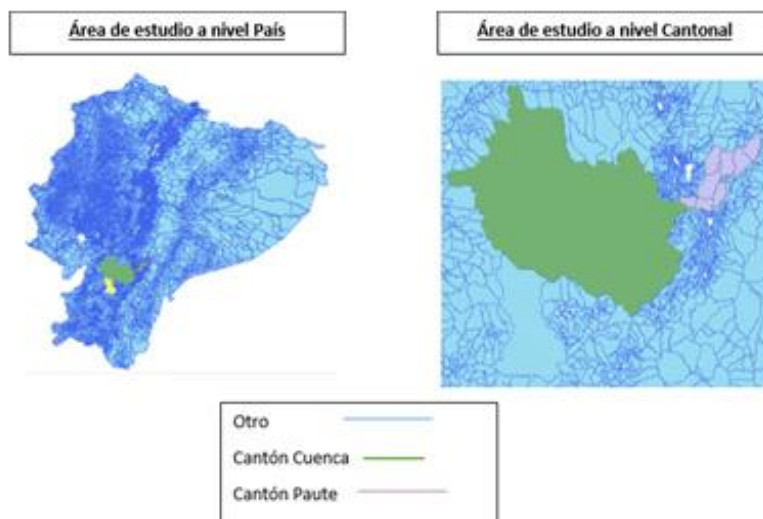


Ilustración 2. Delimitación: Área de estudio.

Fuente: (Pacheco, 2018)

2. CAPÍTULO II: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. PAVIMENTOS

El pavimento es una estructura vial constituida por una o varias capas de materiales granulares que se colocan de una manera técnica sobre la subrasante, esta tiene como función soportar las cargas que van a ser provocadas por el tránsito y la acción del medioambiente, además transmite al suelo de apoyo o fundación todos los esfuerzos de deformaciones tolerables, también proporciona el desplazamiento de los vehículos con rapidez, comodidad, seguridad y economía. (Higuera Sandoval, 2011)

Una estructura de pavimentos se la puede definir y diseñar dependiendo de los elementos de diseño como son el terreno, la topografía, las características físicas, el uso mismo del terreno, el tránsito, la capacidad, la seguridad, el drenaje, la vida útil, el tipo de vía a la que va a ser destinada la misma, entre otros muchos factores.

Generalmente un pavimento flexible está constituido por la subrasante, subbase, base y capa de rodadura, según sea el tipo de pavimento, en la cual también pueden entrar materiales de mejoramientos y emulsificantes.

2.1.1.1. TIPOS DE PAVIMENTOS

Los pavimentos pueden ser rígidos, flexibles, semirrígidos o articulados.

Pavimento Rígido. - Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez

del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. (Montejo Fonseca, 1998)

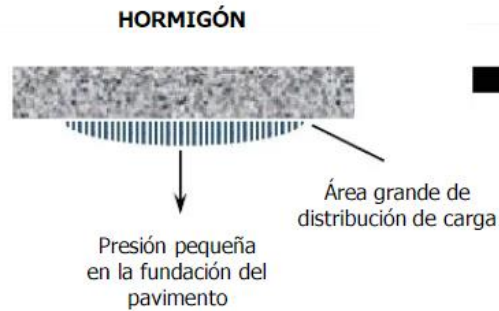


Ilustración 3. Esquema del comportamiento de pavimentos rígidos.

Fuente: (AASHTO, 1993)

Este tipo de pavimentos tiene una mayor resistencia y vida útil, pero su desventaja es el alto costo, sin embargo, cabe señalar que es recomendable colocar pavimento rígido en zonas donde la subrasante tiene poca resistencia.

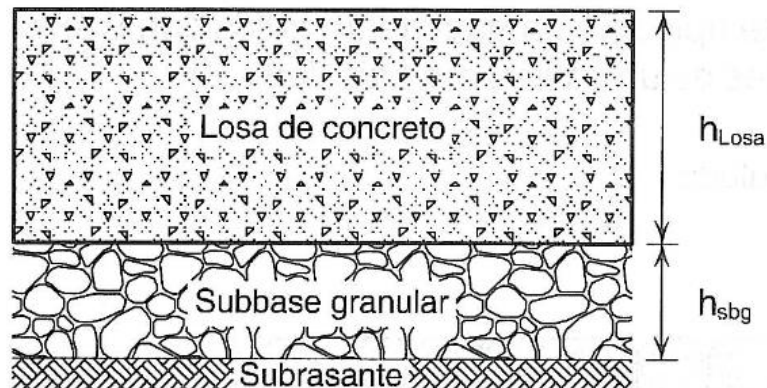


Ilustración 4. Corte típico de un pavimento rígido.

Fuente: (Higuera Sandoval, 2011)

Pavimento Flexible. - Este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Montejo Fonseca, 1998).

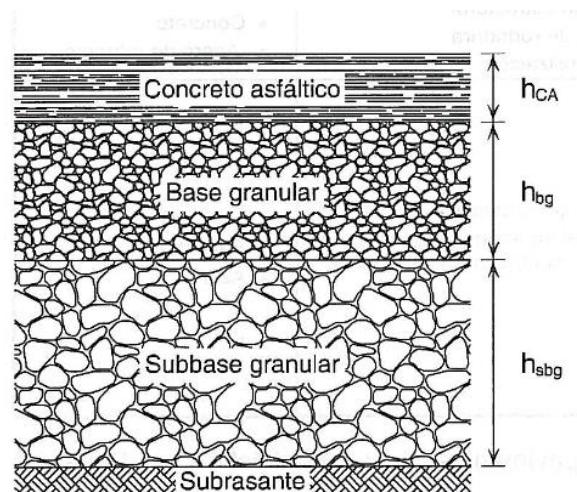


Ilustración 5. Corte típico de un pavimento flexible.

Fuente: (Higuera Sandoval, 2011)

Este tipo de pavimentos, transmiten los esfuerzos al terreno de soporte o fundación mediante un mecanismo de disipación de tensiones, las cuales van disminuyendo con la profundidad. (Montejo Fonseca, 1998).

La finalidad de transmitir las cargas de cada uno de los ejes de los vehículos que puedan transitar sobre la estructura de pavimento es para que la estructura no se deforme y se provoquen anomalías.

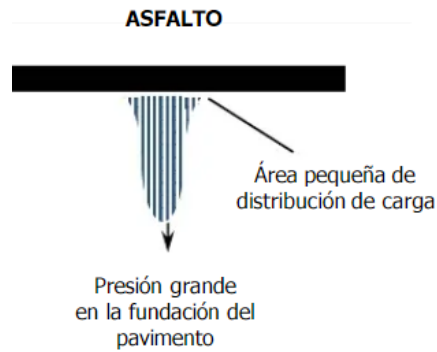


Ilustración 6.

Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles.

Fuente: (AASHTO, 1993)

Pavimento Articulado. - Están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento. (Montejo Fonseca, 1998).

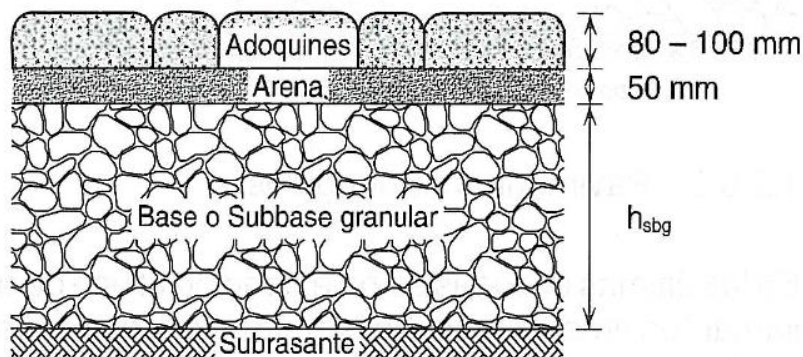


Ilustración 7. Corte típico de un pavimento articulado.

Fuente: (Higuera Sandoval, 2011)

2.1.1.2. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Existen diferentes métodos para el diseño de pavimentos, pero uno de los más usados es el método para pavimentos flexibles AASHTO 93, tal y como nos indica el autor Carlos Higuera Sandoval, en su libro *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*, volumen 2 del 2011.

Método de diseño de pavimentos flexibles AASHTO 93

El método AASHTO 93, llamado así por sus siglas >>American Association of State Highway Transportation Officials<<, considera para el diseño de pavimentos flexibles los siguientes parámetros:

- El tránsito de diseño
- El nivel de confianza
- El error normal combinado
- El nivel de serviciabilidad
- El módulo resiliente de la subrasante
- El número estructural del pavimento
- La calidad de drenaje
- Los módulos dinámicos de las diferentes capas de la estructura del pavimento.

(Higuera Sandoval, 2011)

Tránsito de diseño

Mediante aforos vehiculares, series, estadísticas o históricas del comportamiento del tránsito se calcula el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño en un periodo de diseño.

Tabla 1. Factores de equivalencia de carga por tipo de vehículo obtenidos a nivel nacional en el año 1996.

Fuente: (-INVIAS-, 2008)

TIPO DE VEHÍCULOS		FACTORES DE EQUIVALENCIA PARA PAVIEMENTO FLEXIBLE
BUSES	Bus	0.40
	Bus metropolitano	1.00
C2P	C2P	1.14
C2G	C2G	3.44
C3 – C4 (3.74 promedio)	C3	3.76
	C2-S1	3.37
	C4	6.73
	C3-S1	2.22
	C2-S2	3.42
C5	C3-S2	4.40
>C5	>C5	4.72

Factores de equivalencia de carga por eje de la AASHTO

De acuerdo con el método de diseño de la AASHTO, ejes con diferentes magnitudes y número de repeticiones se convierten a un número de repeticiones equivalentes de carga de un eje estándar que causa el mismo daño al pavimento. (Higuera Sandoval, 2011)

$$Fe = \frac{W_x}{W_{18}}$$

Dónde:

W_x : Número de aplicaciones de carga del eje de 18,000 libras en un tiempo t.

W_{18} : Número de aplicaciones de carga de un eje x en un tiempo t.

Factor de distribución por carril, Fca

Para la obtención de este factor la AASHTO recomienda la siguiente tabla

Tabla 2. Factor de distribución por carril, Fca

Fuente: (AASHTO, 1993)

NÚMERO DE CARRILES DE CADA DIRECCIÓN	PORCENTAJE DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TONELADAS EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Nivel de confianza, R (%)

Es un factor que otorga cierto grado de seguridad al diseño y permite asegurar que el periodo de diseño sea alcanzado. Sirve para determinar la desviación normal estándar (Z_r).

Tabla 3. Niveles de confiabilidad sugeridos para varios tipos de carreteras, R.

Fuente: (AASHTO, 1993)

TIPO DE CARRETERA	NIVEL DE CONFIABILIDAD, R (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 – 99.9	80.0 – 99.9
Arterias principales	80.0 – 99.0	75.0 – 95.0
Colectores	80.0 – 95.0	75.0 – 95.0
Locales	50.0 – 80.0	50.0 – 80.0

Tabla 4. Desviación normal estándar, Zr

Fuente: (AASHTO, 1993)

Confiabilidad %	Desviación normal estándar Zr
50	0
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,34
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,09
99,99	-3,75

Error normal combinado, S_o

Este parámetro considera el error de diseño por la variación de las propiedades de los materiales, tránsito, clima y calidad de construcción.

Tabla 5. Error normal combinado para pavimentos flexibles, S_o

Fuente: (AASHTO, 1993)

Proyecto de Pavimento	Desviación Estándar S_o
Rango para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
Construcción nueva	0,45
Sobrecapas	0,5

Nivel de serviciabilidad

El índice de serviciabilidad considera el comportamiento del pavimento en un rango del 1 al 5 para pavimentos flexibles en un valor inicial P_o que es igual a 4.2 y el final de 2.2, por lo tanto, como resultado del nivel de serviciabilidad ΔIPS tendría un valor de 2.

Número estructural del pavimento, SN

Es un parámetro adimensional que representa la resistencia de un pavimento para diferentes condiciones para todos los factores antes mencionados para este diseño.

Ecuación 2. Número estructural del pavimento

$$\log(N) = Z_r * S_o + 9.36 * \log(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta IPS}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1.094}{(SN + 1)}\right)} \right] + 2.32 * \log(Mr) - 8.07$$

Dónde:

N: Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

Z_r: Desviación normal estándar.

S_o: Error normal combinado.

ΔIPS: Índice de serviciabilidad.

Mr: Módulo resiliente.

SN: Número estructural.

El número estructural de diseño o de la estructura ($SN_{\text{Estructural}}$) se calcula a partir de los espesores de cada capa de la estructura (subbase, base, capa de rodadura), del coeficiente de drenaje y el coeficiente estructural de cada capa; y que juntos deben suministrar la capacidad necesaria para soportar la carga correspondiente al $SN_{\text{Tránsito}}$

Ecuación 3. Numero estructural de diseño.

Fuente: AASHTO

$$SN \leq a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3$$

Donde:

a_i = Coeficiente estructural de la capa i ¹

d_i = Espesor de la capa i .

m_i = coeficiente de drenaje de la capa i .

Se debe cumplir la condición de que el $SN_{Tránsito}$ debe ser menor o igual al $SN_{Estructural}$ para comprobar que el diseño de los espesores y coeficientes soportan las cargas correspondientes al $SN_{Tránsito}$

$$SN_{Tránsito} \leq SN_{Estructural}$$

2.1.2. SUBBASES

Según el MTOP se denomina subbase a la capa granular localizada entre la subrasante y la base granular en los pavimentos flexibles, y la capa que normalmente debe colocarse inmediatamente debajo de un pavimento rígido. (MTOP, 2013).

Es necesario que todas las capas en especial la capa de subbase esté impermeabilizada para que no existan deformaciones que no se puedan corregir como concavidades o “jorobas”.

¹ Los subíndices 1,2,3 representan a las capas del pavimento, capa de rodadura, base, subbase respectivamente.

Para poder considerar un material para una subbase será necesario que el porcentaje de desgaste sea como máximo de 50%, el índice de plasticidad (IP) menor al 6%, el límite líquido (LL) menor al 25% y el CBR mayor al 30%. (MTO, 2013).

2.1.2.1. TIPOS DE SUBBASES

La subbase tiene tres diferentes clases, las cuales están definidas por la distribución porcentual del tamaño de sus partículas (granulometría) como lo indica posteriormente la tabla 6.

Tabla 6. Granulometría de acuerdo a la Clase de Subbase

Fuente: (MTO, 2013)

TAMIZ	SUBBASE CLASE 1		SUBBASE CLASE 2		SUBBASE CLASE 3	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
3 76.2 mm						100
2 50.4 mm				100		
1.5 38.1 mm		100	70	100		
N° 4 4.75 mm	30	70	30	70	30	70
N° 40 0.425 mm	10	35	15	40		
N°200 0.075 mm	0	15	0	20	0	20

La clase 1, clase 2 y clase 3 de subbase están está formadas por agregados gruesos provenientes de la trituración de grava o roca, mezclados con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada, su obtención y cumplimiento de los requisitos deberán ser de acuerdo con lo establecido en el MTO.

A continuación, se presenta las curvas granulométricas para los diferentes tipos de subbases.

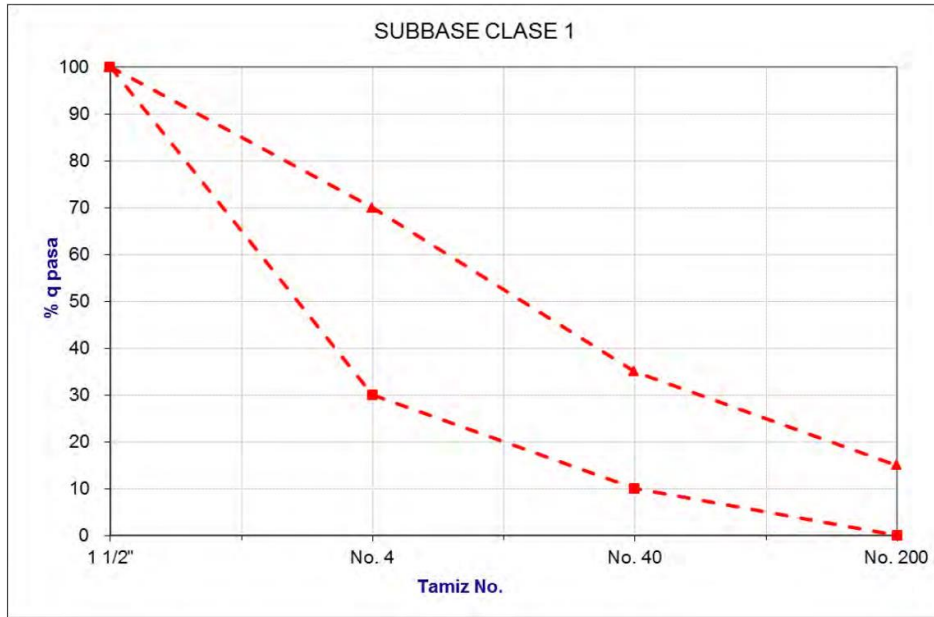


Ilustración 8. Curva granulométrica para Subbase Clase 1.

Fuente: (MTO, 2013)

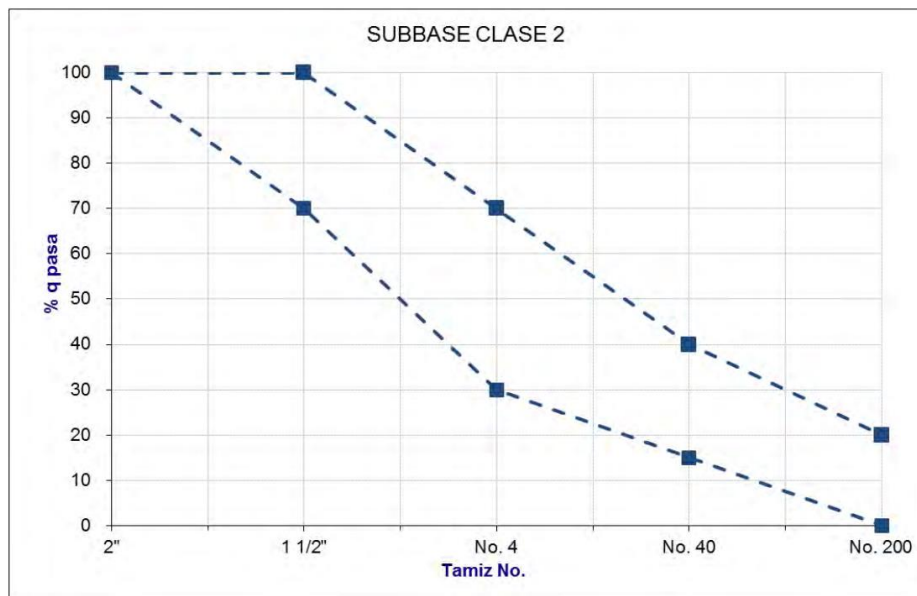


Ilustración 9. Curva granulométrica para Subbase Clase 2.

Fuente: (MTO, 2013)

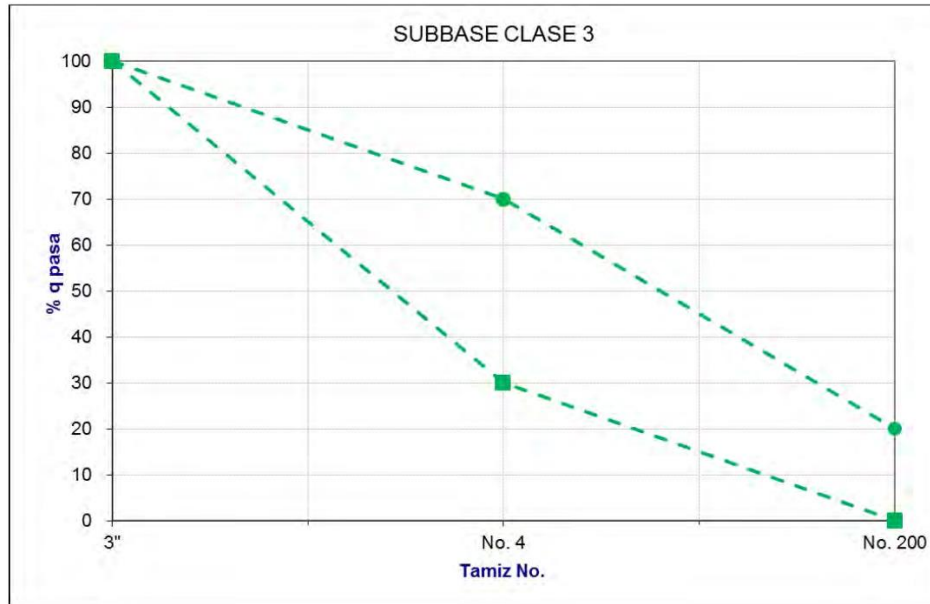


Ilustración 10. Curva granulométrica para Subbase Clase 3.

Fuente: (MTO, 2013)

2.1.3. EMULSIÓN ASFÁLTICA

Es un producto conseguido por la dispersión de una fase asfáltica en una base acuosa, donde las partículas quedan electrizadas. (UMSS, 2004)

Por lo tanto, los líquidos que la forman constituyen dos partes que se denominan:

- Fase dispersa o discontinua.
- Fase dispersante o continua.

Una emulsión tiene tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante. En algunas ocasiones el agente emulsificante puede contener un estabilizador. En

aplicaciones especiales como es el caso del micropavimento se agrega un ingrediente más, el polímero. (UMSS, 2004)

2.1.3.1. TIPOS DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

Por su polaridad existen tres tipos de emulsiones asfálticas:

- **Emulsión Aniónica**, producida utilizando emulsificadores cargados negativamente tales como ácidos grasos. Los emulsificadores reaccionan con el hidróxido de sodio para liberar los iones en la solución en un proceso de saponificación. (Wirtgen, 2004).
- **Emulsión Catiónica**, producida utilizando emulsificadores cargados positivamente como las aminas. Estos emulsificadores deben reaccionar con un ácido (generalmente ácido clorhídrico) antes de que puedan funcionar. El tipo de aminas determina si el quiebre va a ser rápido o lento. (Wirtgen, 2004).
- **Emulsión no-iónica**, que es fabricada con emulsificadores no cargados. Estas emulsiones no son utilizadas en el reciclado en frío. (Wirtgen, 2004).

Por su velocidad de rotura también tienen tres tipos:

- **Emulsión de rotura rápida (RS) ó (RR)**, caracterizada por su rápida rotura al ser aplicada y normalmente inadecuada para ser mezclada con materiales pétreos. Deberá separarse en sus fases antes de 15 minutos de aplicada. Usada en frío. (Allegues Suárez, 2012).

- **Emulsión de rotura media (MS) ó (RM)**, con suficiente estabilidad, que permita su mezclado con materiales pétreos sin producirse su rotura. Deberá separarse en sus fases antes de 8 horas de aplicado. Usada en frío. (Allegues Suárez, 2012).
- **Emulsión de rotura lenta (SS) ó (RL)**, presenta suficiente estabilidad para ser mezclada con todo tipo de materiales pétreos, incluyendo aquellos que poseen gran cantidad de finos y alta actividad química como el cemento. Deberá separarse en sus fases después de 24 horas de aplicada. Usada en frío. (Allegues Suárez, 2012).

Tabla 7. Normas desarrolladas por la AASTO y la ASTM

Fuente: (AASHTO, 1993)

Emulsión aniónica	Emulsión catiónica
RS – 1	CRS – 1
RS – 2	CRS – 2
MS – 1	----
MS – 2	CMS – 2
MS – 2h	CMS – 2h
HFMS – 1	----
HFMS – 2	----
HFMS – 2h	-----
SS – 1	CSS – 1
SS – 1h	CSS – 1h

2.1.4. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

El ensayo de CBR es un método para la determinación de la subrasante, subbase o base de los pavimentos a partir de muestras compactadas de laboratorio. Este método está destinado principalmente a evaluar la resistencia de los materiales cohesivos que

tienen tamaños de partícula máximos inferiores a 19 mm (3/4 pulg.). (AASHTO T 193-13, 2017).

El CBR de un material se determina con el contenido óptimo de humedad, o un rango de contenido de agua a partir de una prueba de compactación especificada y una unidad de muestra seca especificada. (AASHTO T 193-13, 2017).

2.2. METODOLOGÍA

2.2.1. DISEÑO

Tomando en consideración que el objetivo general es realizar un análisis técnico-económico para obtener la capacidad portante de subbases estabilizadas con emulsión asfáltica en diferentes proporciones, se determinará entonces el porcentaje de emulsión a ser agregado a las subbases de las principales canteras que proveen al cantón Cuenca; y sobre este material se propondrá los espesores de un pavimento flexible, recurriendo a un diseño experimental.

Se realizarán diferentes ensayos de laboratorio para determinar las características de la subbase de las canteras seleccionadas, una vez se obtengan estos resultados se procederá a aplicar el método Marshall para mezclas asfálticas con el fin de obtener el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica a adicionar. El coeficiente estructural para el diseño de pavimento vendrá dado por la correlación con el CBR obtenido de los Ensayos de laboratorio; el diseño del pavimento flexible y la correlación entre CBR y número estructural se realizará con el Método AASTHO 93.

2.2.2. MUESTRA

El muestreo realizado es de tipo no probabilístico por conveniencia, es decir se seleccionarán solo las principales canteras del Cantón Cuenca, donde se comercializa material de subbase disponible al momento de la recolección de las muestras.

El tamaño de la muestra es de tres canteras (A, B y C) tal como se lo indica en el apartado 1.4.1.

2.2.3. TÉCNICA

Para determinar las características con las que cuenta la subbase se procedió a realizar varios ensayos, aplicando las normas detalladas en la Tabla 8; descritasben de forma breve² posteriormente en el CAPÍTULO III: ENSAYOS DE LABORATORIO

Para la elaboración de briquetas con material de mezcla de subbase con emulsión asfáltica, se muestran los ensayos empleados en la Tabla 9, su procedimiento y elaboración se describen posteriormente.

Tabla 8.- Normativa aplicada para los ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia

<i>Ensayo</i>	<i>Norma</i>
<i>Granulometría</i>	<i>AASHTO T-27; ASTM D422</i>
<i>Límites de Consistencia</i>	<i>AASHTO T89-68; ASTM 423-668; INEN 691 y 692.</i>
<i>Proctor (Modificado)</i>	<i>AASHTO T-180; ASTM D 1557</i>
<i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	<i>AASHTO T-91; ASTM D 1883</i>
<i>Abrasión</i>	<i>ASTM C131; AASHTO T96; INEN 860</i>
<i>Marshall (adherencia)</i>	<i>Manual Básico de Emulsiones Asfálticas</i> <i>ASTM D 1559 / AASHTO T 225</i>
<i>Marshall (recubrimiento)</i>	
<i>Marshall (estabilidad)</i>	

² Se sobreentiende que el lector conoce de antemano los ensayos

Tabla 9. *Parámetros de comparación para los diferentes diseños.*

Elaboración: Propia.

<i>Parámetro</i>	<i>Norma</i>
<i>Subbase</i>	<i>NEVI 12</i>
<i>Emulsión asfáltica</i>	<i>INEN 2062:2009</i>
<i>Mezclas asfálticas</i>	<i>INVIAS 2008</i>
<i>Diseño de Pavimentos</i>	<i>AASHTO 93</i>

2.2.4. TÉCNICA DE ANÁLISIS

El análisis de carácter cuantitativo de costos y volúmenes para la construcción de una vía con subbase estabilizada o sin estabilizar, se lo realizara según la metodología planteada por Alfonso Montejo Fonseca en su libro “Ingeniería de pavimentos para carreteras”. (Montejo Fonseca, 1998), el cual toma en consideración el costo global del proyecto vial, descrito posteriormente en el apartado 4.2.

3. CAPÍTULO III: ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1. GRANULOMETRÍA

Descripción

La granulometría o análisis granulométrico de los agregados es el proceso mediante el cual se separa las partículas por su tamaño mediante tamices normalizados, donde se puede conocer el peso del material retenido en cada tamiz de tamaño estandarizado y su porcentaje con respecto a al peso total de la muestra, este procedimiento puede ser manual o mecánico.

Objetivo

Determinar el tamaño y su distribución que existen en las muestras del agregado grueso y fino y obtener su curva granulométrica

Equipo

- Balanza con sensibilidad de 0.1%
- Tamices
- Horno regulable (60°C)
- Bandejas

Muestra

Se obtiene la muestra a ensayar mediante el proceso de cuarteo, en este procedimiento se combina el material en una superficie limpia y plana, para luego colocar el material en forma cónica, se procede a aplanarlo de forma uniforme e inmediatamente se divide

el material en cuatro partes iguales, de las cuales se toma las partes opuestas del material para el ensayo y las otra dos se desechan. (existen cuarteadores mecánicos para grandes cantidades de material)

Procedimiento

1. Se seca la muestra a la intemperie o en un horno por 24 horas a una temperatura de 110° C.
2. Si existe material compactado se disuelve y se procede a pesar el material.
3. Se coloca la muestra en los tamices previamente ordenados de forma descendente por el tamaño de su abertura, se puede colocar en la tamizadora o realizarlo de forma manual. (Se sacude los tamices durante aproximadamente 10 minutos.)
4. Se pesa y registra las cantidades de la muestra que se encuentran retenidas en cada tamiz.
5. El ensayo de granulometría se realiza de forma separada para agregados grueso y agregado fino.
6. Para el agregado fino se toma el material pasante del tamiz N°4 y se lo lava tomando como fondo el tamiz N°. 200.
7. Se coloca el material lavado en el horno durante 24 horas a una temperatura de 100° C
8. Se introduce la muestra de agregados finos en los tamices previamente ordenados de forma descendente por el tamaño de su abertura.
9. Se pesa y registra las cantidades de la muestra que se encuentran retenidas en cada tamiz.

Resultado

Cantera A

Tabla 10. Análisis granulométrico cantera A.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%
TAMIZ N°	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA
3"	76,2	0	0	0,0%	100,0%
2 1/2"	63,5	0	0	0,0%	100,0%
2"	50,8	0	0	0,0%	100,0%
1 1/2"	38,1	0	0	0,0%	100,0%
1"	25,4	1333	1333	12,3%	87,7%
3/4"	19,1	1480,5	2813,5	26,0%	74,0%
1/2"	12,7	1448,5	4262	39,4%	60,6%
3/8"	9,52	798,5	5060,5	46,8%	53,2%
N°4	4,76	1321	6381,5	59,0%	41,0%
PASA No4		4707	4431,10		
10	2	318,5	318,5	72,88%	27,12%
40	0,42	217,6	536,1	82,36%	17,64%
200	0,074	211	750,1	91,67%	8,33%
FONDO		11,6			
TOTAL			10812,60		

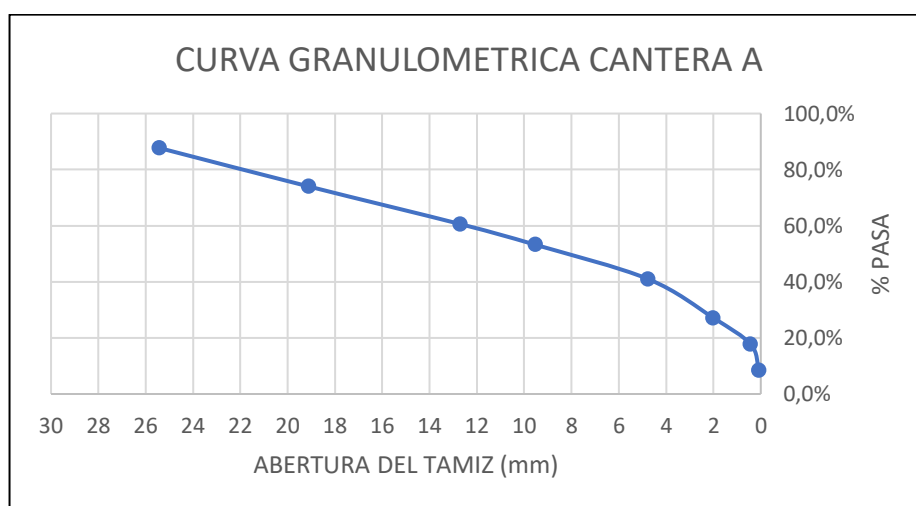


Ilustración 11. Curva granulométrica de la cantera A.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera B

Tabla 11.- Análisis granulométrico cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

TAMIZ N°	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA
3"	76,2	0	0	0,0%	100,0%
2 1/2"	63,5	0	0	0,0%	100,0%
2"	50,8	0	0	0,0%	100,0%
1 1/2"	38,1	268,5	268,5	2,1%	97,9%
1"	25,4	1105,5	1374	10,8%	89,2%
3/4"	19,1	1312,5	2686,5	21,1%	78,9%
1/2"	12,7	1855	4541,5	35,7%	64,3%
3/8"	9,52	917	5458,5	42,9%	57,1%
N°4	4,76	2034,5	7493	58,9%	41,1%
PASA No4		5675,5	5224,74		
10	2	265,6	265,6	70,77%	29,23%
40	0,42	281,8	547,4	83,35%	16,65%
200	0,074	220,5	767,9	93,19%	6,81%
FONDO		7,7			
TOTAL			12717,74		

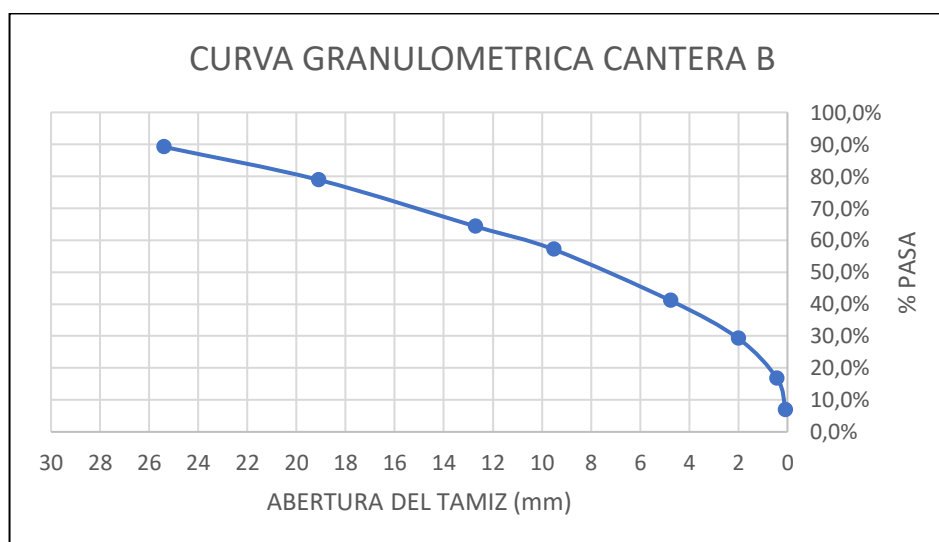


Ilustración 12. Curva granulométrica de la cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera C

Tabla 12.- Análisis granulométrico Cantera C

Fuente: Ensayos de laboratorio

Elaboración: Propia.

TAMIZ N°	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA
3"	76,2	0	0	0,0%	100,0%
2 1/2"	63,5	0	0	0,0%	100,0%
2"	50,8	0	0	0,0%	100,0%
1 1/2"	38,1	459,5	459,5	4,9%	95,1%
1"	25,4	568,5	1028	10,9%	89,1%
3/4"	19,1	779,5	1807,5	19,1%	80,9%
1/2"	12,7	1170	2977,5	31,5%	68,5%
3/8"	9,52	584	3561,5	37,6%	62,4%
N°4	4,76	806	4367,5	46,2%	53,8%
PASA No4		5266,5	5095,08		
10	2	380	380	67,30%	32,70%
40	0,42	306,8	686,8	84,38%	15,62%
200	0,074	142,4	829,2	92,31%	7,69%
FONDO		14,2			
TOTAL			9462,58		

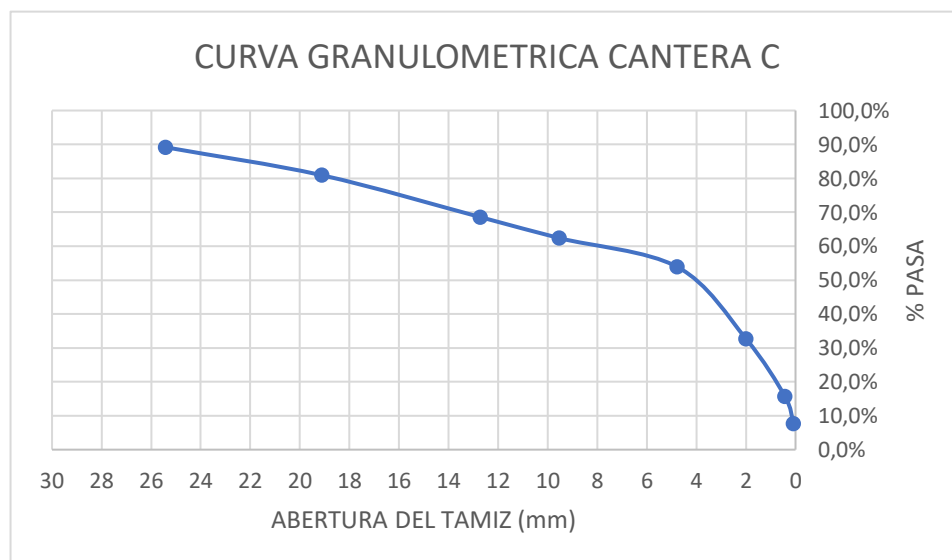


Ilustración 13. Curva granulométrica de la cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

3.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

Descripción

Los límites de consistencia o límites de Atterberg son parámetros para determinar el comportamiento de suelos finos, los cuales pueden variar con el transcurso del tiempo. Los suelos finos pueden estar en estado sólido, semisólido, plástico o líquido, el cual se determina por su consistencia según sea su humedad.

Objetivo

Determinar el límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP).

Equipo

- Balanza con sensibilidad de 0.1%
- Tamiz N° 40 (425 μm)
- Horno
- Bandejas
- Cuchara de Casagrande.
- Acanalador.

Muestra

Para el ensayo de los límites de consistencia se deberá tomar el material pasante del tamiz N° 40 en el cual se deberá saturar la mitad del material obtenido en agua durante 24h horas.

Procedimiento

1. Colocar en 2 envases material (subrasante o mejoramiento) pasante el tamiz #40.
2. El material pasante el tamiz #200 mezclar con agua y batir hasta homogeneizar para utilizarlo en la cuchara de casa grande.
3. Cortar por la mitad y dar golpes hasta que se una en el centro en un total de cinco repeticiones.
4. Pesar el material y dejar en el horno hasta que se seque 24 horas y pesar el material seco.
5. Límite Plástico
6. Poner material pasante tamiz #40 en el envase
7. Mezclarlo con agua
8. Hacer con la mezcla bien homogeneizada cilindros de espesor muy delgado (aproximadamente 3 mm de diámetro) hasta que se encuentre fisuras a lo largo de todo el cilindro, esto hacer tres veces con diferente cantidad de agua.
9. Cortar en tres trozos pesarlo y secarlo en el horno durante 24 horas para posterior pesarlo.

Resultados

Cantera A

Tabla 13.- Ensayo límites de consistencia cantera A.

Fuente: Ensayos de laboratorio

Elaboración: Propia.

TARRO N°	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO				
	1	2	3	4	7	9	10	14	20	13
N. DE GOLPES	40	34	28	23	17					
M. HÚMEDA + TARRO	49,53	44,60	45,26	46,53	49,39	24,17	22,97	22,92	23,49	22,89
M. SECA + TARRO	44,41	40,24	40,50	41,25	44,26	23,84	22,78	22,66	23,29	22,73
PESO DEL AGUA	5,12	4,36	4,76	5,28	5,13	0,33	0,19	0,26	0,20	0,16
PESO DEL TARRO	21,27	21,28	21,17	20,71	24,86	22,03	21,54	21,13	22,01	21,75
PESO M. SECA	23,14	18,96	19,33	20,54	19,40	1,81	1,24	1,53	1,28	0,98
% DE HUMEDAD	22,1	23,0	24,6	25,7	26,4	18,2	15,3	17,0	15,6	16,3
			LL=	25%		LP=	16,5%		IP=	8,5%

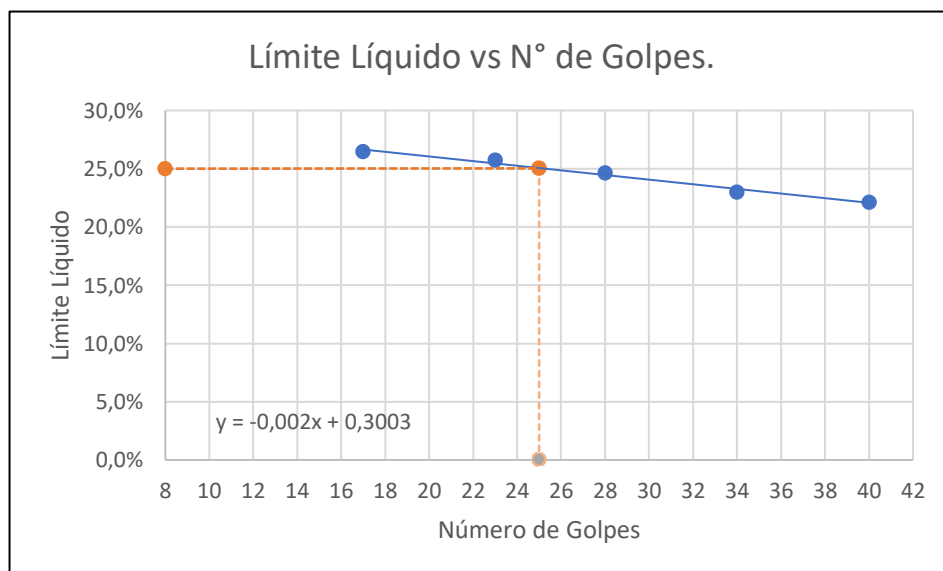


Ilustración 14. Límites de consistencia cantera A.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera B

Tabla 14.- Ensayo límites de consistencia cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

TARRO N°	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO				
	1	2	3	4	7	9	10	14	20	13
N. DE GOLPES	40	34	28	22	16					
M. HÚMEDA + TARRO	38,36	43,82	43,17	43,46	48,14	24,62	23,95	23,02	23,76	24,26
M. SECA + TARRO	34,62	38,88	38,23	38,17	42,59	24,21	23,56	22,72	23,48	23,86
PESO DEL AGUA	3,74	4,94	4,94	5,29	5,55	0,41	0,39	0,30	0,28	0,40
PESO DEL TARRO	21,27	21,28	21,17	20,71	24,86	22,03	21,54	21,13	22,01	21,75
PESO M. SECA	13,35	17,60	17,06	17,46	17,73	2,18	2,02	1,59	1,47	2,11
% DE HUMEDAD	28,01	28,07%	28,96	30,30%	31,30	18,81	19,31%	18,87	19,05	18,96
			LL=	29%		LP=	19,00%	IP=	10,00	%

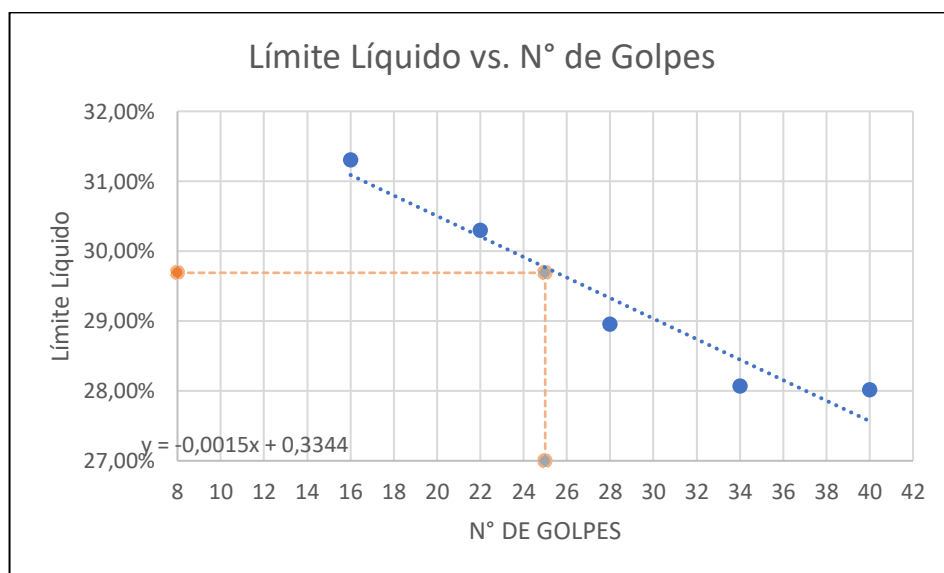


Ilustración 15. Límites de consistencia cantera B

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera C

Tabla 15.-Ensayo límites de consistencia cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO					
	TARRO N°	11	20	9	32	8	303	63	56	209	7
N. DE GOLPES	40	35	28	22	16						
M. HÚMEDA + TARRO	43,00	43,90	43,70	48,60	49,70	16,27	14,37	14,00	13,43	16,39	
M. SECA + TARRO	38,52	39,42	39,19	42,68	43,50	16,00	14,06	13,71	13,12	16,06	
PESO DEL AGUA	4,48	4,48	4,51	5,92	6,20	0,27	0,31	0,29	0,31	0,33	
PESO DEL TARRO	20,80	22,00	22,00	21,10	21,00	14,67	12,46	12,15	11,41	14,45	
PESO MUESTRA SECA	17,72	17,42	17,19	21,58	22,50	1,33	1,60	1,56	1,71	1,61	
% DE HUMEDAD	25,28	25,72	26,24	27,43	27,56	20,30	19,37	18,59	18,13	20,50	
				LL= 26%			LP= 19,38%		IP= 6,62%		

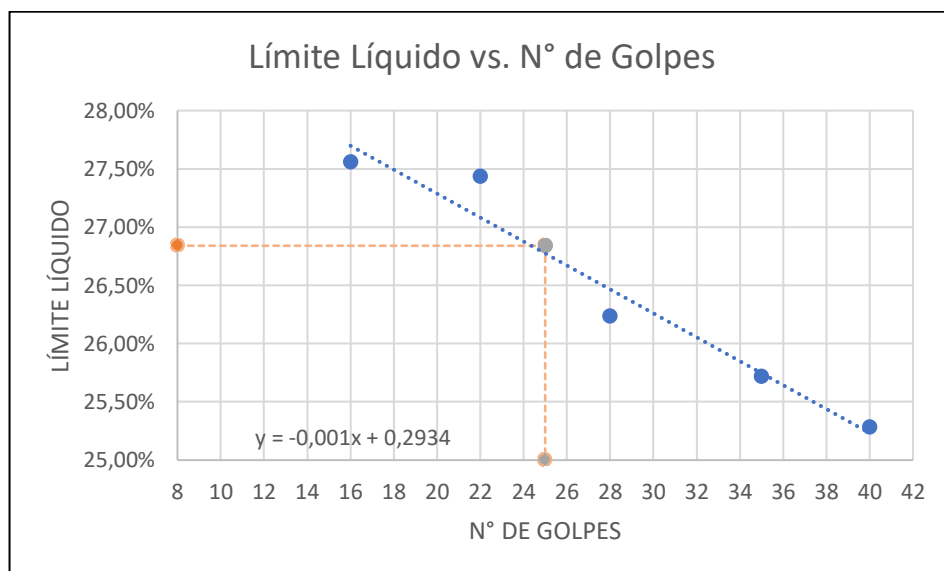


Ilustración 16. Límites de consistencia cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

3.3. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN O DESGASTE

Descripción

La resistencia a la abrasión, desgaste o dureza de un agregado es una medida del desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar, resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y trituración en un tambor rotatorio de acero.

Objetivo

Determina el porcentaje de desgaste de los agregados gruesos.

Equipo

- Balanza
- Tamices con tamaño 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N°12.
- Horno
- Máquina de los ángeles
- Bandejas

Muestra

El material a ensayar deberá ser una fiel representación de la misma; El material a ensayar deberá ser correctamente lavado para garantizar la ausencia de finos adheridos. Se deberá escoger la graduación adecuada previo al tamizado según la Tabla 16.

Tabla 16.- Graduación de la muestra

Fuente: (AASHTO T96-02, 2006)

Tamices (aperturas)		Granulometría (peso en gramos)			
Pasa	Retiene	A	B	C	D
1 ½	1	1250±25			
1	¾	1250±25			
¾	½	1250±25	2500±10		
½	¾	1250±25	2500±10		
¾	¼			2500±10	
¼	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				5000±10
Total		5000±25	5000±10	5000±10	5000±10
CARGA ABRASIVA (ESFERAS)		12	11	8	6

Procedimiento

1. Se escoge la graduación adecuada.
2. Se procede a tamizar y separar la muestra según lo indica la Tabla 16.
3. Una vez tamizada la muestra se la lava para eliminar material fino adherido.
4. Se coloca el material lavado en el horno durante 24 horas
5. Pesamos nuevamente el material tamizado y lo mezclamos.
6. Se introduce la muestra de 5000 gr dentro del tambor de la máquina de los ángeles junto con 12 esferas perteneciente a la respectiva carga abrasiva.
7. Se gira el tambor hasta alcanzar 500 revoluciones a una velocidad aproximada de 30 a 35 r.p.m.
8. Una vez concluidas las 500 revoluciones se vacía el material de tambor y se la coloca en una bandeja.
9. Se tamiza el material por el tamiz Nº12.

10. Se lava el material que queda retenido por el tamiz N°12.
11. Se seca en el horno durante 24 horas y se pesa el material.
12. Del peso del material obtenido se relaciona con el valor inicial y se obtiene el porcentaje de desgaste del material.

Resultados

Cantera A

Tabla 17.- Ensayo de abrasión cantera A.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Ensayo de Abrasión		
Tipo		A
N° DE ESFERAS		12
N° DE REVOLUCIONES		500
CANTIDADES DE MATERIAL SEGÚN EL N° DE TAMIZ		
Pasa	Retiene	Peso (gr)
1 1/2	1	1250
1	3/4	1250
3/4	1/2	1250
1/2	3/8	1250
Peso total de la muestra.		5000
Peso seco antes del ensayo (Pa)		5000 gr
Peso seco después del ensayo (Pb)		3800,5 gr
Porcentaje de desgaste = (Pa-Pb)/Pa		23,99%

Cantera B

Tabla 18.- Ensayo de abrasión cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Ensayo de Abrasión		
Tipo	A	
N° DE ESFERAS	12	
N° DE REVOLUCIONES	500	
CANTIDADES DE MATERIAL SEGÚN EL N° DE TAMIZ		
Pasa	Retiene	Peso (gr)
1 1/2	1	1250
1	3/4	1250
3/4	1/2	1250
1/2	3/8	1250
Peso total de la muestra.	5000	
Peso seco antes del ensayo (Pa)	5000 gr	
Peso seco después del ensayo (Pb)	4029 gr	
Porcentaje de desgaste = (Pa-Pb)/Pa	19,42%	

Cantera C

Tabla 19.- Ensayo de abrasión cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Ensayo de Abrasión		
Tipo	A	
N° DE ESFERAS	12	
N° DE REVOLUCIONES	500	
CANTIDADES DE MATERIAL SEGÚN EL N° DE TAMIZ		
Pasa	Retiene	Peso (gr)
1 1/2	1	1250
1	3/4	1250
3/4	1/2	1250
1/2	3/8	1250
Peso total de la muestra.	5000	
Peso seco antes del ensayo	5000 gr	
Peso seco después del ensayo	3996 gr	
Porcentaje de desgaste = (Pa-Pb)/Pa	20,08%	

3.4. PRÓCTOR MODIFICADO

Descripción

El ensayo Próctor modificado o comúnmente llamado de compactación, es aquel en el que se aplica energía de compactación por unidad de volumen obteniendo diferentes densidades y sus respectivas humedades.

Objetivo

Obtener la curva Densidad seca vs Humedad y determinar la máxima densidad seca (MDS) del material y su humedad óptima.

Equipo

- Muestra de Suelo
- Tamiz #4
- Balanza electrónica
- Recipiente
- Molde para compactación
- Martillo de compactación
- Agua

Muestra

El material que se empleará para ensayar dependerá de la granulometría del porcentaje de finos y gruesos, considerando como finos el material pasante del tamiz número 4 y

material grueso el material pasante del tamiz de tamiz $\frac{3}{4}$ '' y retenido por el tamiz # 4. Se deberá contar con 5 muestras, cada muestra tendrá un peso de 5500 gr.

Procedimiento

1. Se debe pesar el molde sin el collarín.
2. Determinar el volumen del molde.
3. Se calcula la humedad que posee la muestra.
4. Para cada muestra el porcentaje de humedad tendrá una variación del 3%.
5. Se debe calcular en peso la variación del agua y mezclarla con el material de la muestra considerando su humedad actual.
6. En este ensayo se realizarán compactaciones de 5 capas con 56 golpes en cada una de ellas.
7. Al colocar la primera capa en el molde y ser compactada por el martillo se coloca la siguiente capa y así sucesivamente hasta completar el molde, se debe tener en consideración que la última capa sobresalga del filo del molde.
8. Finalizada la compactación, con un machete se enraza con respecto al filo del molde intentando conseguir una superficie plana.
9. El material compactado junto con el cilindro se pesa para proceder hacer los cálculos correspondientes.

Resultados

Cantera A

Tabla 20.- Datos del ensayo próctor cantera A.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

DATOS DE LA CURVA					
MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN PORCENTAJE	15,05	12,05	18,05	9,05	21,05
AGUA AUMENTADA EN CC	270	180	360	90	450
NÚMERO DE MOLDE	B12	B12	B12	B12	B12
PESO MOLDE CILINDRO + SUELO HÚMEDO	11324	11152,5	11123	11009,5	11238
PESO CILINDRO SIN COLLARÍN	6499,5	6499,5	6499,5	6499,5	6499,5
PESO SUELO HÚMEDO	4824,5	4653	4623,5	4510	4738,5
DENSIDAD HÚMEDA	2253,39	2173,28	2159,5	2106,49	2213,22
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA	8,98	7,03	11,42	5,32	12,12
DENSIDAD SECA	2059,96	2030,53	1938,16	2000,09	1973,97

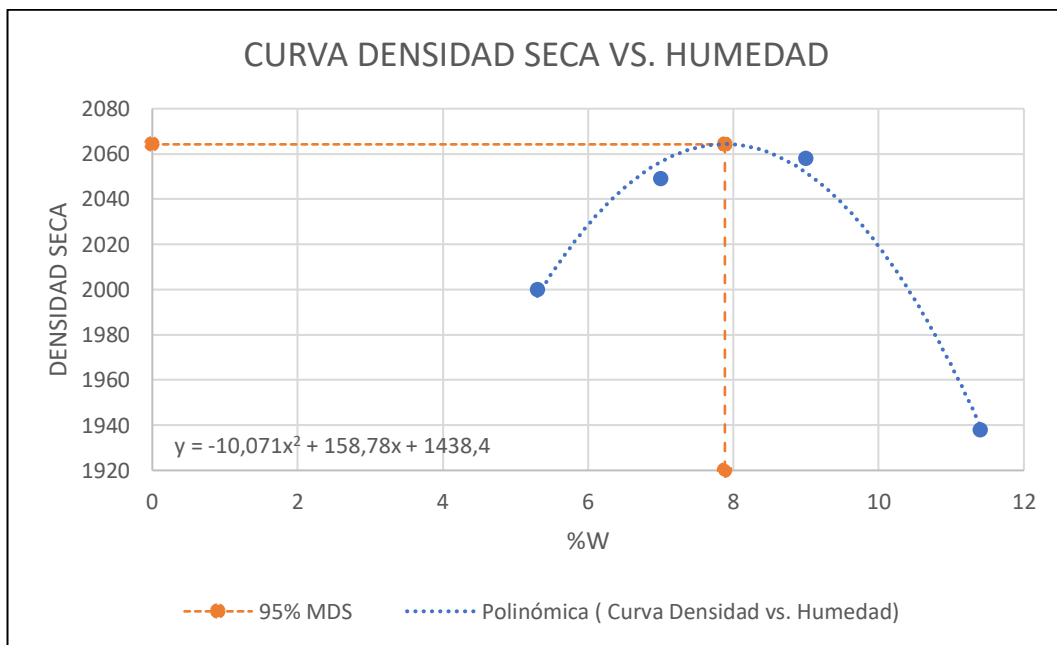


Ilustración 17.- Curva Densidad Seca vs. Humedad (%) Cantera A.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera B

Tabla 21.- Datos del ensayo próctor cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

DATOS DE LA CURVA					
MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN PORCENTAJE	14,28	11,28	17,28	20,28	23,28
AGUA AUMENTADA EN CC	240	160	320	400	480
NÚMERO DE MOLDE	B12	B12	B12	B12	B12
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	11105	10889,5	11225	11171,5	11148,5
PESO MOLDE SIN COLLARÍN	6499,5	6499,5	6499,5	6499,5	6499,5
PESO SUELO HÚMEDO	4605,5	4390	4725,5	4672	4649
DENSIDAD HÚMEDA	2151,1	2050,4	2207,15	2182,1	2171,4
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA	8,55	6,73	10,21	13,37	11,96
DENSIDAD SECA	1974,75	1921,06	2002,59	1924,81	1939,37

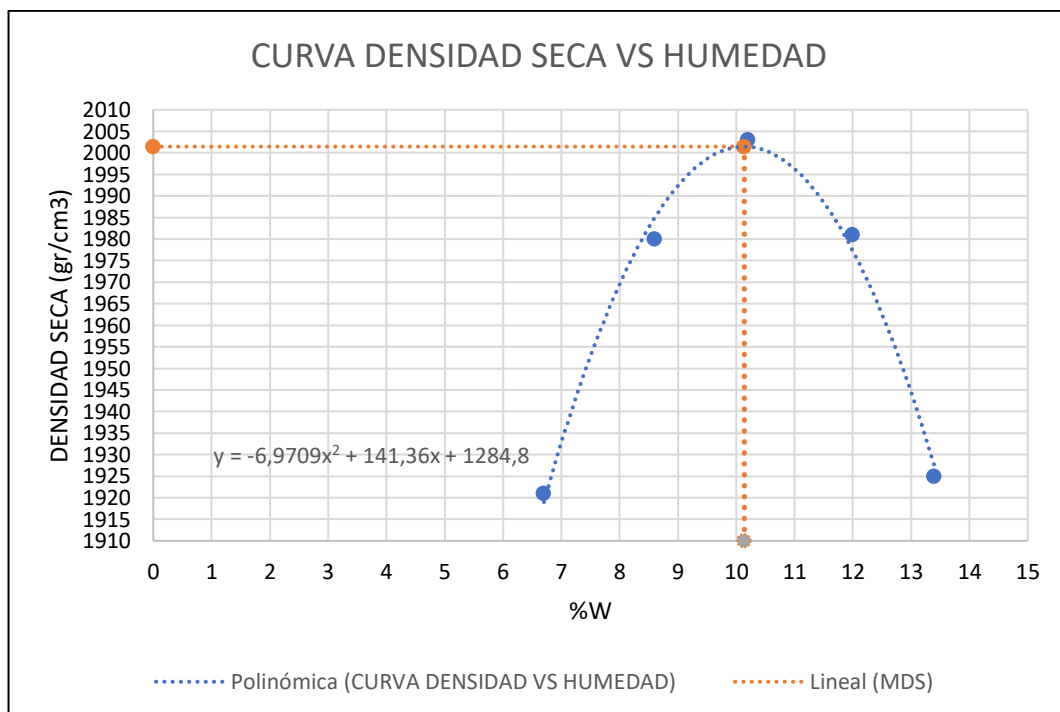


Ilustración 18.- Curva Densidad Seca vs. Humedad (%) Cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera C

Tabla 22.- Datos del ensayo próctor cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Datos de la curva					
MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN PORCENTAJE	13,42	10,42	16,42	7,42	19,42
AGUA AUMENTADA EN CC	315	210	420	105	525
NÚMERO DE MOLDE	B25	B25	B25	B25	B25
PESO MOLDE CILINDRO + SUELO HÚMEDO	11415	11182	11320	10716,5	11276,5
PESO CILINDRO SIN COLLARÍN	6500,5	6500,5	6500,5	6500,5	6500,5
PESO SUELO HÚMEDO	4914,5	4681,5	4819,5	4216	4776
DENSIDAD HÚMEDA	2314,82	2205,07	2270,07	1985,81	2249,58
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA	8,625	7,44	10,645	4,45	12,435
DENSIDAD SECA	2138,20	2052,37	2051,66	1901,20	2000,78

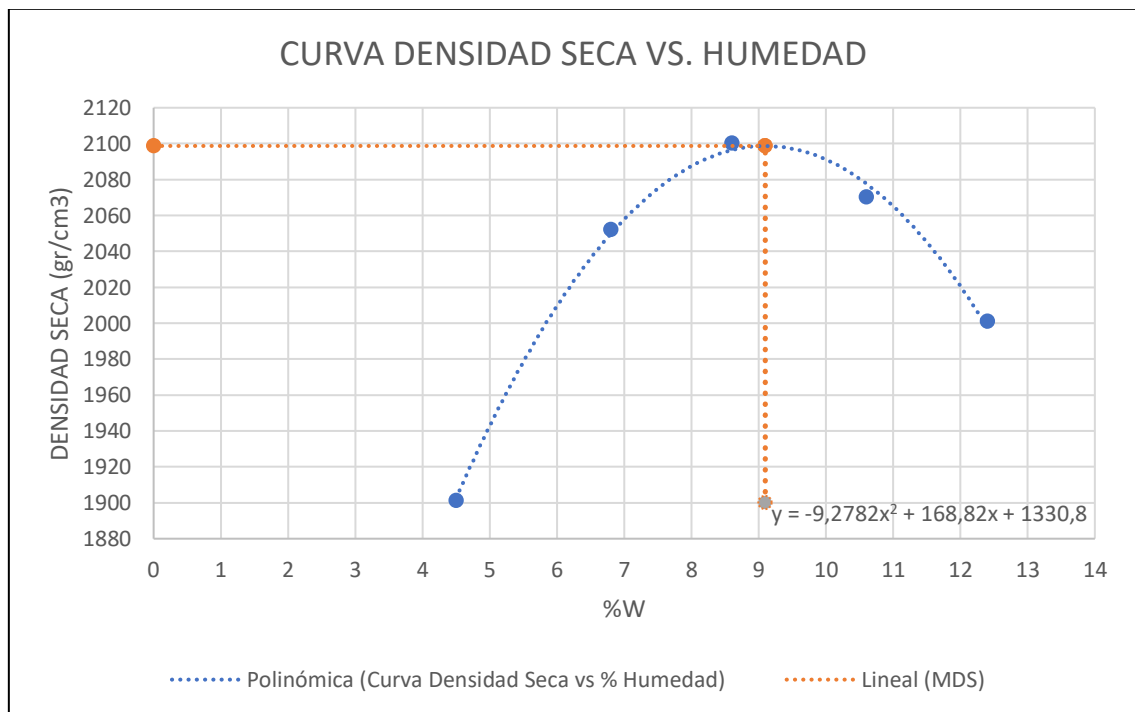


Ilustración 19.- Curva Densidad Seca vs. Humedad (%) Cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

3.5. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Descripción

Conocido también como CBR, es un porcentaje que cuantifica la capacidad resistente a la penetración de un vástago estandarizado en una probeta, comparando la fuerza requerida para alcanzar una profundidad de 2.5 mm en diferentes intervalos con otras ya estandarizadas.

Objetivo

Determinar el CBR del material.

Equipo

- Tamiz #4
- Balanza electrónica
- Recipiente
- Molde para CBR
- Martillo de CBR

Muestra

El material que se empleará para ensayar dependerá de la granulometría del porcentaje de finos y gruesos, considerando como finos el material pasante del tamiz # 4 y material

grueso el material pasante del tamiz de tamiz $\frac{3}{4}$ '' y retenido por el tamiz # 4. Se deberá contar con 3 muestras, cada muestra tendrá un peso de 5500 gr.

Procedimiento

1. Previo al ensayo se debe conocer la humedad óptima y la Máxima densidad seca del material a ensayar, obtenidos en el ensayo Proctor.
2. Determinar el volumen y el peso sin collarín del cilindro.
3. Determinar la humedad que posee la muestra.
4. Calcular en peso la cantidad de agua requerida para alcanzar la humedad óptima del material.
5. Agregar la cantidad de agua obtenida a cada muestra. Se debe mezclar hasta que sea uniforme.
6. Se engrasa el molde, se monta le collarín y la base y se coloca en su interior una pesa en la base y sobre ella un papel filtro.
7. Para realizar el ensayo se utiliza de 3 probetas, En cada una se coloca la muestra en 5 capas, y en cada capa se compacta con 56, 25, 10 golpes respectivamente para cada muestra.
8. Finalizada la compactación se retira el anillo superior, y se engrasa hasta dejar una superficie lisa.

9. Se coloca un papel filtro sobre la superficie enrasada y se retira la pesa y se voltea la muestra.
10. Sobre la superficie libre se coloca otro papel filtro y se monta el platillo con el vástago fijo.
11. El trípode con el cuadrante medidor de deformaciones se coloca sobre el canto del molde y se ajusta el vástago de la placa perforada. Se registra la lectura de la esfera y se quita el trípode.
12. Con las pesas de sobrecarga se sumergen los moldes en un tanque de agua, se deja en saturación por 4 días. Se anotan las lecturas para controlar el hinchamiento cada 24 horas.
13. Se mide el esponjamiento dentro del agua durante 5 días.
14. Después de sumergida la muestra durante cinco días se debe drenar está secándola y posteriormente volteándola y sujetando el platillo y las pesas durante 10 minutos.
15. Se remueve el disco, las pesas y el papel filtro, y se pesan las muestras.

Resistencia a la Penetración

1. Se colocan las pesas metálicas anulares de plomo. El molde con la muestra y la sobrecarga se coloca debajo del pistón de la prensa de carga aplicando una carga de asiento de 10 libras.
2. Se coloca el molde sobre el soporte de carga en la prensa y se ajusta de manera que el pistón esté centrado con la muestra.
3. Se tienen dos extensómetros: uno nos da valores de carga (superior) y el otro nos da los valores de deformación (inferior). Este último se calibra en cero.
4. La penetración del pistón es a velocidad constante (aprox. 5 centésimos de pulgada por minuto).
5. La penetración máxima en la muestra es de $\frac{1}{2}$ pulgada. La lectura de deformación es de un cuarto de pulgada por minuto y el otro paralelamente va marcando la carga.
6. Las lecturas se dan cada: 0.64 mm; 1.27 mm; 1.91 mm; 2.54 mm; 3.18 mm; 3.81 mm; 4.45 mm; 5.08 mm; 7.62 mm; 10.16 mm, 12.70 mm.
7. Si la lectura correspondiente a cada penetración va progresando y la lectura de carga se repite significa que la muestra ya fallo, el pistón simplemente penetra sin que encuentre resistencia.

8. El proceso de lectura se repite con cada muestra ensayada con 56, 25 y 12 golpes.
9. Se determina los valores de la carga ya corregidos para 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración con lo que obtendremos los valores de C.B.R. Para lo cual se divide las cargas entre la carga patrón (1000,1500 y 1900 lbs/plg²), luego se multiplica cada relación por 100 para obtener un porcentaje Se grafican los datos obtenidos de carga-penetración.
10. Una vez obtenidos los valores se grafica la curva densidad seca vs. CBR. El valor correspondiente al 95% de la MDS del Proctor nos dará el valor del CBR.

Resultados

Cantera A

Tabla 23.- Datos del ensayo de CBR cantera A.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Penetración PULGADAS	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.
0	0	0		0	0		0	0	
25	81	155,66		59	115,16		13	30,47	
50	180	337,91		120	227,46		31	63,61	
75	298	555,14		177	332,39		60	117,0	
100	388	720,83	72,08	226	422,6	42,26	76	146,45	14,64
150	588	1089,0		328	610,37		114	216,41	
200	777	1436,9	95,79	414	768,69	51,24	149	280,84	18,72
250	950	1755,4		493	914,13		182	341,59	
300	1148	2119,94	111,5	565	1046,67	55,08	212	396,82	20,88
400	1345	2482,6		707	1308,09		266	496,23	
500	1570	2896,8		832	1538,2		309	575,39	

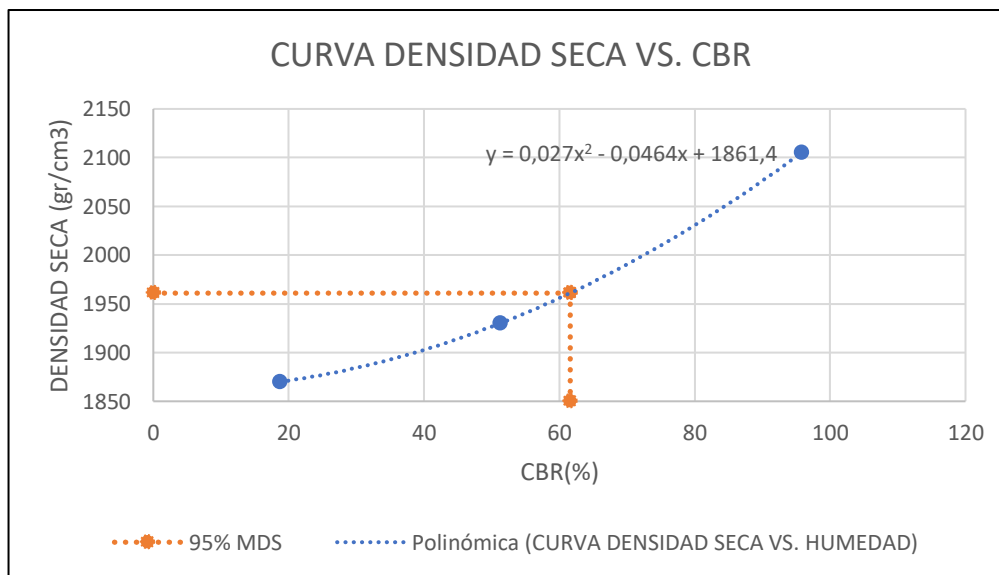


Ilustración 20.- Curva Densidad seca vs CBR. Cantera A.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera B

Tabla 24.- Datos del ensayo de CBR cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Penetración Pulgadas	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.
0	0	0		0	0		0	0	
25	104	198		55	107,8		10	24,95	
50	230	429,96		136	256,91		19	41,52	
75	350	650,87		205	383,94		26	54,409	
100	455	844,17	84,41	265	494,39	49,43	34	69,13	6,91
150	642	1188,43		354	658,24		52	102,27	
200	795	1470,09	98,00	427	792,62	52,84	69	133,56	8,90
250	944	1744,39		495	917,81		88	168,54	
300	1067	1970,82	103,72	564	1044,83	54,99	105	199,84	10,51
400	1395	2574,65		687	1271,27		142	267,95	
500	1496	2760,58		808	1494,02		184	345,279	

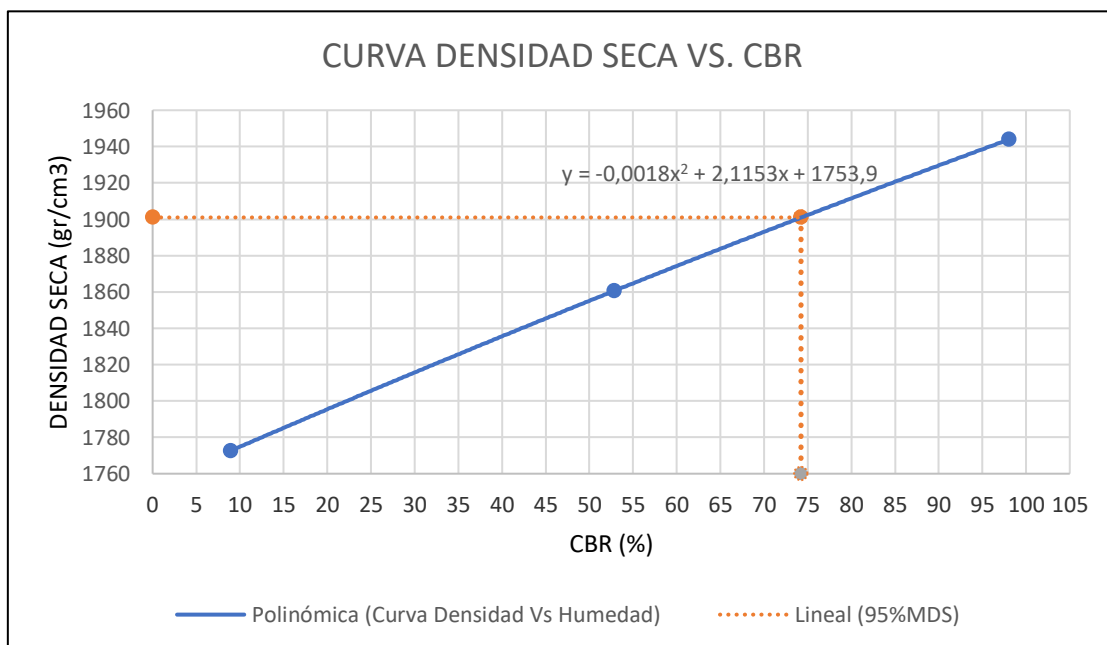


Ilustración 21.- Curva Densidad seca vs CBR. Cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera C

Tabla 25.- Datos del ensayo de CBR cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Penetración Pulgadas	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.
0	0	0		0	0		0	0	
25	71	137,25		69	133,57		46	91,22	
50	142	267,96		153	288,21		94	179,59	
75	225	420,76		232	433,64		126	238,50	
100	295	549,62	54,96	297	553,3	55,33	154	290,04	29
150	440	816,56		417	774,22		198	371,05	
200	583	1079,81	71,99	523	969,35	64,62	235	439,16	29,28
250	714	1320,97		625	1157,13		266	496,23	
300	835	1543,73	81,25	716	1324,65	69,72	296	551,46	29,02
400	1058	1954,25		883	1632,09		347	645,34	
500	1364	2517,58		1025	1893,5		396	735,55	

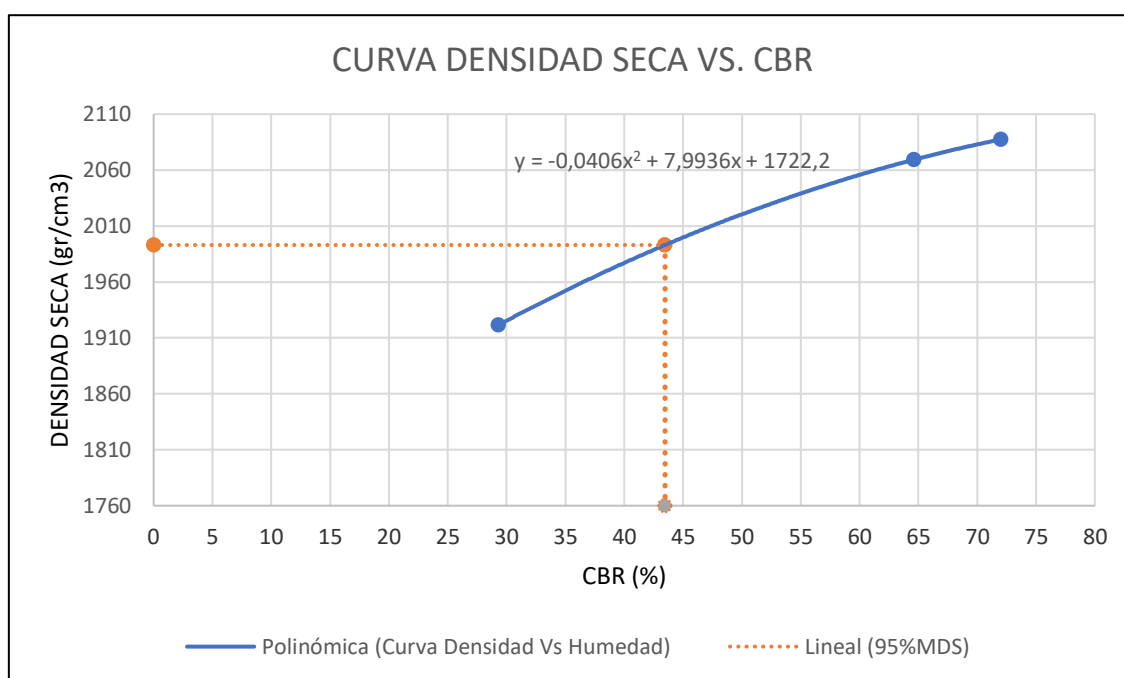


Ilustración 22.- Curva Densidad seca vs CBR. Cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Tabla 26.- Resumen de los ensayos de laboratorio de los materiales granulares de las diferentes canteras.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Parámetro	Unidad	Muestras de Canteras		
		A	B	C
Agregado Grueso	%	59	58,9	46,2
Agregado Fino	%	41	41,1	53,8
Clase	-	1	1	3
Limite Liquido (LL)	%	25	29	26
Limite Plástico (LP)	%	16,5	19	19,38
Índice de Plasticidad (IP)	%	8,5	10	6,62
Desgaste	%	23,99	19,42	20,08
MDS	gr/cm ³	2060	2001	2098
Humedad Optima	%	9	10,1	9,1
C.B.R.	%	61	74	43,47

3.6. MÉTODO MARSHALL

Para el diseño de mezclas en frío se debe considerar que no existe método aceptado, tal como lo explica el Manual Básico de Emulsiones asfálticas elaborado por el Instituto del Asfalto, pero si existen diferentes métodos de diseño no normados para realizar la mezcla.

3.6.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE EMULSIÓN

Para determinar el contenido tentativo inicial de emulsión asfáltica existen varios métodos los cuales toman en consideración diferentes factores para su cálculo.

Método Francés (Duriez)

Este método toma en consideración el área superficial o específica que ocupan los áridos y los compara con la Ilustración 23. Gráfica % del cemento asfáltico vs. superficie específica., propuesto por Duriez, determinando el Porcentaje de cemento asfáltico para posteriormente ingresarlo en la Ecuación 5 para determinar el contenido de emulsión expresado en porcentaje.

Para determinar el área superficial o específica, el método propone la Ecuación 4 basándose en la granulometría del material a ensayar.

Ecuación 4. Área superficial (Duriez)

$$SE = \frac{1}{100} * (0,237G + 1,60g + 12,85A + 117,8F)$$

Dónde:

SE = Área Superficial o Superficie Específica

G = Material que pasa sobre el tamiz 3/4 y retenido l tamiz N° 4 expresado en porcentaje.

g = Material pasante del tamiz N° 4 y retenido en el tamiz N° 40 expresado en porcentaje.

A = Material pasante del tamiz N° 40 y retenido en el tamiz N° 200 expresado en porcentaje.

F = Material pasante del tamiz N° 200 expresado en porcentaje.

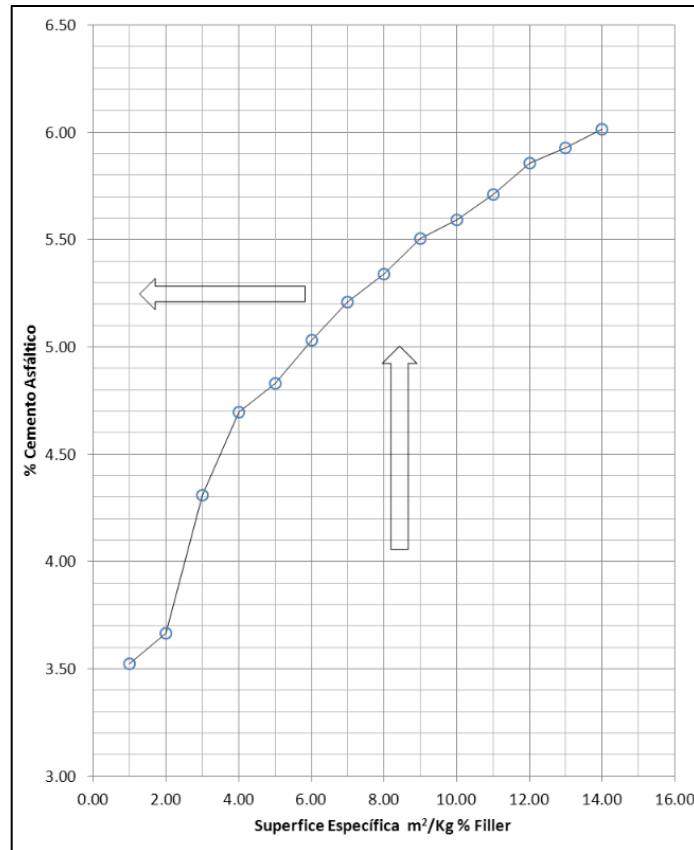


Ilustración 23. Gráfica % del cemento asfáltico vs. superficie específica.

Fuente: (Sarmiento, 1999)

Ecuación 5. Porcentaje tentativo inicial de emulsión según M. Duriez

$$\%de\ emulsión = \frac{\%Cemento\ Asfáltico * 100}{X\% Residuo\ Asfáltico}$$

Método del Instituto del Asfalto.

El Instituto del Asfalto propone el cálculo del contenido tentativo de emulsión con la relación del material pasante del Tamiz N° 4 y el porcentaje de residuo de emulsión por destilación.

Ecuación 6. Porcentaje tentativo inicial de emulsión según el AEMA.

$$\%de\ emulsión = \frac{[(0.06 * B) + (0.01 * C)] * 100}{A}$$

Dónde:

% Emulsión = Porcentaje inicial estimado de emulsión asfáltica, expresado en función del peso seco del agregado

A= Porcentaje de Asfalto Residual de la Emulsión

B =Porcentaje de agregado seco que pasa el tamiz N° 4 (4.75 mm)

C= 100- B = Porcentaje de agregado seco retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm)

Resultado

Para el contenido tentativo de emulsión se tomó la Ecuación 6 y se calculó para cada una de las muestras de las canteras, como se expresa en la Tabla 27.

Tabla 27.- Cálculo del contenido tentativo de emulsión para las diferentes Canteras.

Elaboración: Propia.

Cantera	A	B	C	% de Emulsión
Cantera A	60.2	41	59	3.11
Cantera B	60.2	41.1	58.9	3.12
Cantera C	60.2	53.8	46.2	4.50

Es necesario mencionar que se descartó la muestra de la cantera A para los ensayos posteriores por motivo de trabajabilidad y por la incompatibilidad con el tipo de

emulsión, es decir, con el material propuesto no fue posible desarrollar los ensayos debido que el material presentaba una alta adherencia entre sí, formando aglomeraciones con el propio material, haciendo imposible obtener una muestra real de la granulometría necesaria para ejecutar los ensayos. Al intentar realizar los ensayos de adherencia el material no alcanzaba el porcentaje necesario de recubrimiento, debido que el material y la emulsión asfáltica se consolidaban y formaban aglomeraciones, pero sin recubrir el porcentaje necesario para obtener la mezcla.

3.6.2. ENSAYO DE RECUBRIMIENTO

Descripción

El ensayo de recubrimiento determina el porcentaje de humedad a la que el material a ensayar se encuentra 100% cubierto de emulsión asfáltica mediante la variación de la humedad

Equipo.

- Bandejas
- Mallas de 19.1 mm de abertura.

Muestra

La muestra se determina a partir del porcentaje de agregado grueso y fino del análisis granulométrico y del porcentaje tentativo inicial de emulsión asfáltico a agregar en la mezcla.

Procedimiento

1. Determinar la humedad de la muestra y pesar el equivalente a 500 gramos de material seco más la humedad.
2. Calcular y Pesar el contenido de agua de premezclado a agregar.
3. Agregar el contenido de agua al material árido y mezclarla manual y vigorosamente por aproximadamente 60 segundos hasta obtener una mezcla uniforme.
4. Pesar el contenido de la emulsión a emplear y agrégalo a la mezcla, mezclarlo durante aproximadamente 60 segundo hasta obtener la dispersión máxima posible de la emulsión.
5. Colocar y esparcir la mezcla en una superficie plana y estimar visualmente el porcentaje o grado de recubrimiento (para lo cual se utilizaron mallas de 19cm por 19 cm con 19.1 mm de abertura, con un total de 90 cuadros, y se contó el número de cuadros no recubiertos o de vacíos).

Resultados

Cantera B

Tabla 28.- Datos ensayo de recubrimiento Cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia

Humedad	N° vacíos	% No Recubierto	% Recubrimiento
8,6	11	12,22	87,78
9,4	3	3,33	96,67
10,2	1	1,11	98,89
11,8	0	0	100

Cantera C

Tabla 29.- Datos ensayo de recubrimiento Cantera C

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

% Humedad	N°. vacíos	% No Recubierto	% Recubrimiento
9,9	1	0,83	99,17
9,7	11	9,17	90,83
9,1	17	14,17	85,83
8,3	22	18,33	81,67
7,5	42	35	65

3.6.3. ENSAYO DE ADHERENCIA

Descripción

Este ensayo tiene como objetivo determinar la adherencia que tiene la emulsión sobre el material granular a la temperatura de ebullición del agua.

Equipo

- Estufa
- Baso de precipitación de 600 ml
- Espátula

Muestra

De la mezcla del ensayo de recubrimiento pesar 100 gramos.

Procedimiento

1. Secar el material en el horno durante 24 horas.
2. Colocar el material en baso de precipitación de 600 ml con 400 ml de agua y colocarlo en una estufa hasta el punto de ebullición.
3. Una vez en el punto de ebullición, agitar el agua por aproximadamente tres minutos y derramar el agua
4. Colocar la muestra sobre papel absorbente hasta secarse.
5. Colocar y esparcir la mezcla en una superficie plana y estimar visualmente el porcentaje o grado de recubrimiento, para lo cual se utilizaron mallas de 10 cm por 10 cm, con 19.1mm de abertura y se contó el número de cuadros no recubiertos.

Resultados

Tabla 30.-Datos ensayo de Adherencia.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera	N° vacíos	% No Recubierto	% Recubrimiento
B	9	36	64
C	8	32	68

3.6.4. ENSAYO DE ESTABILIDAD MARSHALL

Descripción

El ensayo tiene como finalidad establecer los gráficos en donde se puede interpretar y determinar un porcentaje óptimo de emulsión asfáltico para agregar a una muestra.

Equipo

- Martillo de compactación Marshall
- Bandejas
- Horno
- Espátulas
- Equipo de ensayo Marshall

Muestra

Para este ensayo se debe preparar seis briquetas para cada diferente contenido de emulsión, tres briquetas para el ensayo en seco y tres para el ensayo de Baño María; la variación del contenido de emulsión puede tomar valores entre 1% y 0.65% para emulsiones con 65% de residuo. Para la elaboración de briquetas se debe conocer el peso del material con el que la briqueta tenga aproximadamente un alto de $63.5 \text{ mm} \pm 6\text{mm}$ y con un diámetro 10 cm (diámetro de los cilindros de compactación Marshall) una vez compactada. El material árido se debe considerar de los porcentajes de agregado fino y grueso de la granulometría del material.

Procedimiento

1. Para la elaboración de las briquetas se debe considerar el peso seco con el que el material árido logre alcanzar las dimensiones necesarias para el ensayo.
2. Se debe calcular el porcentaje de humedad del material árido.
3. Se debe realizar el cálculo (Tabla 31 y Tabla 32) de la mezcla que se realizará, es decir, el peso del agua para cada porcentaje de emulsión a utilizar.
4. Mezclar el material árido con el agua de premezcla, mezclarlo hasta que tenga una consistencia uniforme y agregar la emulsión y mezclarlo vigorosamente hasta conseguir una mezcla uniforme con un buen recubrimiento. Este proceso se realiza para cada porcentaje diferente de emulsión.
5. Una vez realizada la mezcla, se la deja reposar con el fin de eliminar el agua en exceso en caso de existir y también para que la emulsión de la mezcla se rompa.
6. El material de la mezcla se coloca dentro de los cilindros de compactación, donde con una espátula se realizan 15 golpes al perímetro del cilindro y 10 golpes en el centro la mezcla (se debe colocar papel filtro o parafinado en ambas caras de la briqueta previamente y posteriormente a la compactación de una cara).
7. Se utiliza el martillo de compactación Marshall para compactar, se debe realizar 75 golpes por cara.
8. Una vez elaborada la briqueta se la deja reposar 24 horas a temperatura ambiente dentro del molde, luego se retira la briqueta del molde y se la coloca dentro del horno a una temperatura de 60 °C durante 72 horas.
9. Se debe realizar dos ensayos a las briquetas, uno volumétrico y otro de estabilidad.

10. Para el ensayo volumétrico se debe determinar la densidad bruta

Ecuación 7. Densidad bruta

$$D_b = \frac{W_a}{(H * A)}$$

Dónde:

D_b = densidad bruta

W_a =Peso en el aire

H y A= corresponde respectivamente a la altura y el área transversal de la briqueta

11. El ensayo de estabilidad Marshall se determina según el procedimiento de la norma ASTM D 1559, la cual nos dice que para cada porcentaje de emulsión debemos ensayar tres briquetas sometidas a un baño de aire a 60 °C durante treinta minutos y otras tres se deben ensayar en seco.
12. Se coloca la briqueta en los anillos del equipo de ensayos Marshall y se la asegura, luego se procede a iniciar la carga (se debe conocer las dimensiones de cada una de las muestras a ensayar).
13. Se anotan los datos obtenidos de cada uno los ensayos y se procede a realizar el cálculo.

Contenido óptimo de emulsión

El Instituto del Asfalto no propone ningún método exacto para determinar el contenido óptimo de emulsión para mezclas abiertas, pero si nos propone una serie de curvas típicas (Ilustración 24) en las cuales comparar nuestros resultados y con ellos poder determinar según nuestro criterio el porcentaje óptimo para cada caso.

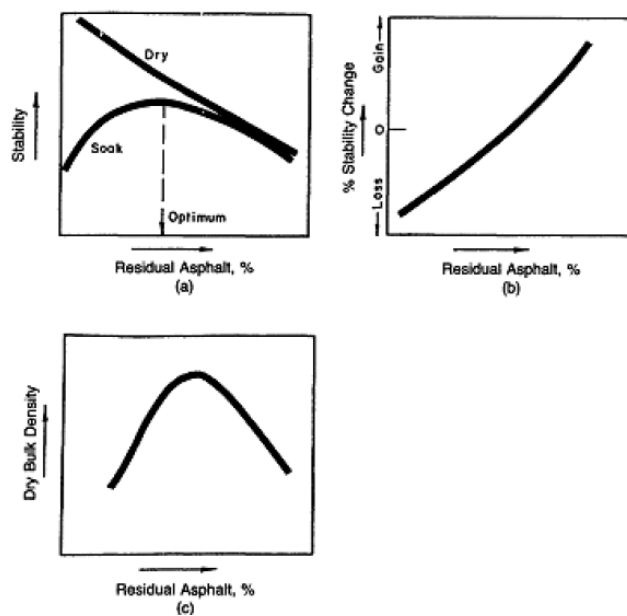


Ilustración 24.- Curvas típicas obtenidas con emulsión asfáltica y agregados granulares.

Fuente: (Asphalt Institute, 2005)

Otros autores como (Wirtgen, 2004) proponen una curva de Densidad Seca vs. Contenido de fluidos, en donde se determina el contenido óptimo de fluidos y por ende, el contenido óptimo de emulsión.

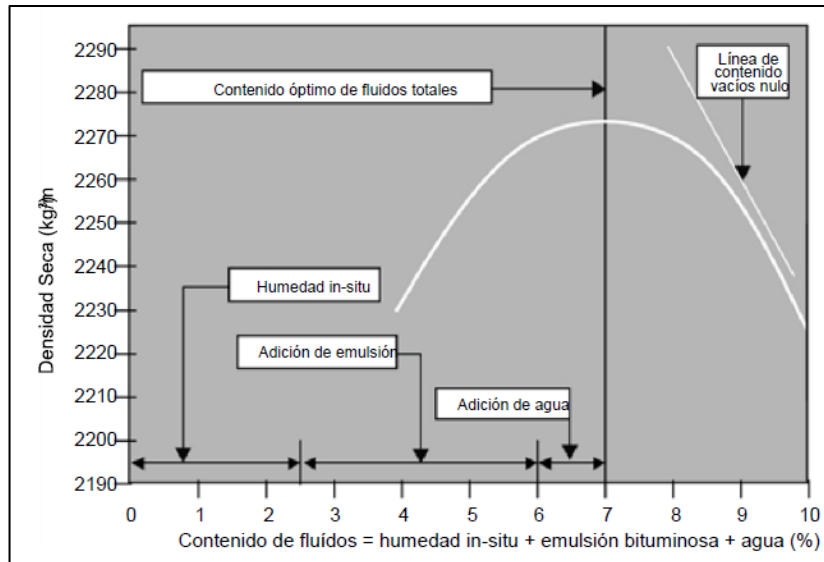


Ilustración 25.- Ejemplo para la consideración de fluidos totales en la estabilización de materiales con emulsión.

Fuente: (Wirtgen, 2004)

Resultados

Diseño de la mezcla de la Cantera B

Tabla 31.- Diseño de la mezcla con emulsión Cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

WH	%w	%w optimo	Peso Agregado Seco WS	% Emulsión	Peso de la Emulsión	Agua en la emulsión	Agua necesaria	Agua faltante	Peso Total
gr	%	%	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr
1200	5,89	11,8	1133,3	4	45,33	18,13	98	79,87	1258,5
1200	5,89	11,8	1133,3	5	56,67	22,67	98	75,33	1265,3
1200	5,89	11,8	1133,3	6	68	27,2	98	70,8	1272,1
1100	5,89	11,8	1038,8	4	41,55	16,62	90	73,38	1153,73
1100	5,89	11,8	1038,8	5	51,94	20,78	90	69,22	1159,96
1100	5,89	11,8	1038,8	6	62,33	24,93	90	65,07	1166,2

Diseño de la mezcla de la Cantera C

Tabla 32.- Diseño de la mezcla con emulsión Cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

WH	%W	%w óptimo	Peso Agregado Seco WS	% Emulsión	Peso de la Emulsión	Agua en la Emulsión	Agua necesaria	Agua faltante	Peso Total
gr.	%	%	gr.	%	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1200	4,11	9,9	1152,6	5	57,63	23,05	67	43,95	1254,18
1200	4,11	9,9	1152,6	6	69,16	27,66	67	39,34	1261,1
1200	4,11	9,9	1152,6	7	80,68	32,27	67	34,73	1268,01

Propiedades volumétricas.

Para las propiedades volumétricas se consideró las dimensiones de cada uno de las briquetas para obtener la Curva de Densidad seca vs. % de Emulsión. Se debe señalar que para la cantera de C se realizó un porcentaje más (del 4%) para obtener la curva por motivos de cálculo.

Cantera B

Tabla 33.- Datos volumétricos de las briquetas de la cantera B para los diferentes porcentajes de emulsión. Fuente: Ensayos de laboratorio. Elaboración: Propia.

% DE EMULSIÓN	ESTADO DE ENSAYO	NÚMERO DE BRIQUETAS	DIMENSIONES						DIÁMETRO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO	PESO SECO	VOLUMEN	DENSIDAD	DENSIDAD				
			DIÁMETRO		ALTURA													
			D1	D2	H1	H2	H3	H4							W	V	w/v	PROMEDIO
			u	cm	cm	cm	cm	cm							cm	cm	gr	cm ³
4	SECO	1	10,15	10,6	7,26	7,37	7,22	7,22	10,375	7,2675	1202	614,399895	1,95638054	2,02420856				
		2	10,17	10,19	6,69	6,6	6,63	6,73	10,18	6,6625	1114,5	542,278841	2,05521572					
		3	10,16	10,17	6,74	6,7	6,69	6,7	10,165	6,7075	1106	544,333833	2,03184137					
	SAT.	4	10,17	10,17	6,7	6,75	6,74	6,72	10,17	6,7275	1110,5	546,49412	2,03204382					
		5	10,13	10,15	6,75	6,7	6,66	6,69	10,14	6,7	1106,5	541,053978	2,04508246					
		6	10,16	10,13	6,66	6,67	6,72	6,7	10,145	6,6875	1094,5	540,577268	2,02468743					
5	SECO	1	10,13	10,16	6,8	6,82	6,88	6,83	10,145	6,8325	1114,5	552,298196	2,01793163	2,02481802				
		2	10,16	10,16	6,66	6,67	6,66	6,66	10,16	6,6625	1113,5	540,150173	2,06146375					
		3	10,16	10,16	6,8	6,67	6,76	6,75	10,16	6,745	1107	546,838711	2,0243629					
	SAT.	4	10,16	10,2	6,83	6,83	6,92	6,9	10,18	6,87	1121,5	559,167826	2,00565903					
		5	10,16	10,15	6,83	6,84	6,81	6,8	10,155	6,82	1113	552,375123	2,01493506					
		6	10,17	10,19	6,77	6,8	6,76	6,76	10,18	6,7725	1116	551,232038	2,02455576					
6	SECO	1	10,16	10,16	6,75	6,77	6,8	6,76	10,16	6,77	1110	548,865541	2,02235323	2,02129553				
		2	10,17	10,17	7,04	7,04	7,02	7,01	10,17	7,0275	1153	570,863981	2,01974558					
		3	10,17	10,18	6,69	6,74	6,71	6,7	10,175	6,71	1101	545,608638	2,01792993					
	SAT.	4	10,16	10,1	6,79	6,78	6,77	6,89	10,13	6,8075	1121	548,651312	2,04319205					
		5	10,2	10,2	6,85	6,86	6,93	6,9	10,2	6,885	1134,5	562,5928	2,0165562					
		6	10,19	10,18	6,87	6,88	6,8	7,03	10,185	6,895	1128	561,754058	2,00799617					

Cantera C

Tabla 34.- Datos volumétricos de las briquetas de la cantera C para los diferentes porcentajes de emulsión. Fuente: Ensayos de laboratorio. Elaboración: Propia.

% DE EMULSIÓN	ESTADO	N° BRIQUETAS	DIMENSIONES						DIÁMETRO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO	PESO SECO	VOLUMEN	DENSIDAD	DENSIDAD
			DIÁMETRO		ALTURA									
			D1	D2	H1	H2	H3	H4						
			u	cm	cm	cm	cm	cm						
													gr/cm ³	
5	SECO	1	10,19	10,17	7,14	7,2	7,13	7,05	10,18	7,13	1220	580,329927	2,10225243	2,09898823
		2	10,16	10,15	7,36	7,39	7	6,88	10,155	7,1575	1227	579,710402	2,11657406	
		3	10,16	10,19	7,1	7,06	7,22	7,4	10,175	7,195	1219	585,045328	2,08359924	
	SAT.	4	10,17	10,16	7,15	7,09	7	7,1	10,165	7,085	1211	574,969095	2,10620016	
		5	10,2	10,2	7,2	7,16	7,12	7,16	10,2	7,16	1225	585,063826	2,09378865	
		6	10,17	10,16	7,12	7,18	7,21	7,3	10,165	7,2025	1222,5	584,504574	2,09151486	
6	SECO	1	10,2	10,2	7,15	7,1	7,3	7,33	10,2	7,22	1227,5	589,966596	2,08062627	2,06545047
		2	10,2	10,2	7,28	7,35	7,4	7,28	10,2	7,3275	1222	598,750725	2,04091611	
		3	10,14	10,2	7,28	7,28	7,2	7,2	10,17	7,24	1222	588,125965	2,07778618	
	SAT.	4	10,2	10,13	7,46	7,43	7,41	7,47	10,165	7,4425	1225,5	603,981297	2,02903634	
		5	10,15	10,2	7,12	7,37	7,2	7,43	10,175	7,28	1232	591,956913	2,08123256	
		6	10,15	10,15	7,2	7,3	7,25	7,25	10,15	7,25	1222	586,624197	2,08310535	
7	SECO	1	10,2	10,2	7,35	7,45	7,3	7,4	10,2	7,375	1240	602,632084	2,0576402	2,05875091
		2	10,2	10,2	7,3	7,3	7,23	7,27	10,2	7,275	1236	594,460801	2,07919512	
		3	10,15	10,18	7,22	7,35	7,25	7,27	10,165	7,2725	1228	590,185285	2,0807025	
	SAT.	4	10,2	10,2	7,41	7,5	7,42	7,3	10,2	7,4075	1230,5	605,287751	2,0329174	
		5	10,2	10,2	7,27	7,4	7,3	7,25	10,2	7,305	1235,5	596,912186	2,06981869	
		6	10,2	10,2	7,35	7,47	7,35	7,47	10,2	7,41	1230,5	605,492033	2,03223153	

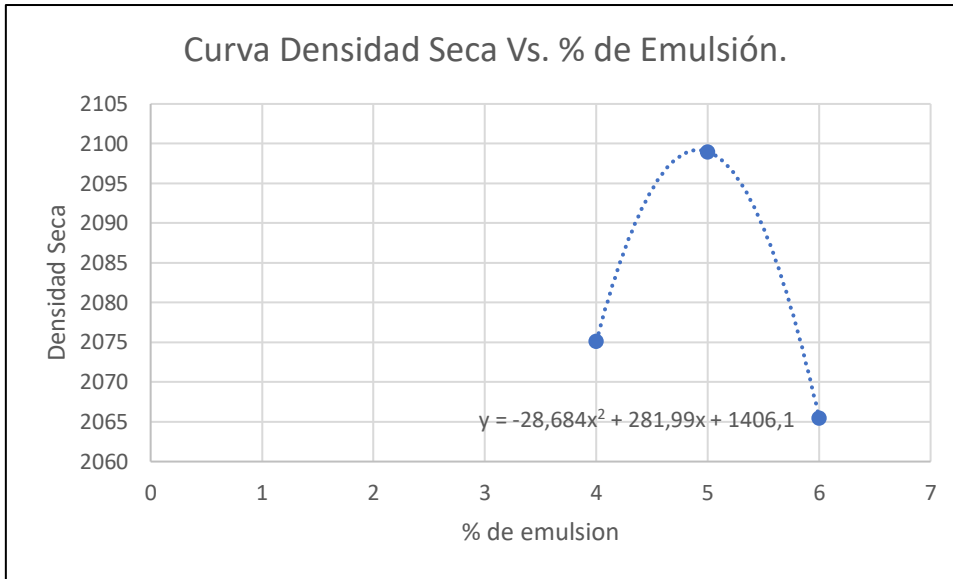


Ilustración 26.- Curva densidad Seca vs Porcentaje de Emulsión Cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

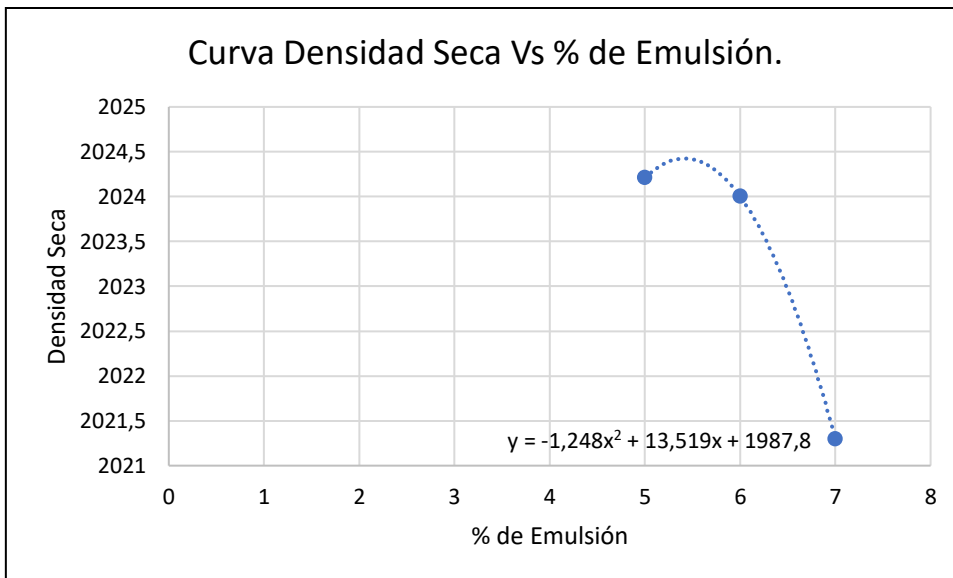


Ilustración 27.- Curva densidad Seca vs Porcentaje de Emulsión Cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Estabilidad Marshall Cantera B

Tabla 35.- Datos del ensayo de estabilidad Marshall Cantera B. Elaboración: Propia.

% DE EMULSIÓN	ESTADO DE ENSAYO	NÚMERO DE BRIQUETAS	VOLUMEN cm ³	Estabilidad					Flujo		
				Medición del aparato (KN)	NO corregida Kg	FC	Corregida		Promedio kN	Medición mm	Promedio mm
							kN	lbs			
5	SECO	1	614,4	51,27	5127	0,8217	42,128559	9268,28298	40,2	3,72	4,56
		2	542,28	40,67	4067	0,93555	38,05	8370,74007		5,56	
		3	544,33	43,6	4360	0,92691	40,42	8890,92072		4,39	
	SAT.	4	546,49	30,56	3056	0,93156	28,4684736	6263,06419	31,406	5,32	5,3
		5	541,05	39,45	3945	0,92844	36,63	8057,93076		5,21	
		6	540,58	31,29	3129	0,93074	29,12	6407,02801		5,36	
6	SECO	1	552,3	36,68	3668	0,90336	33,13	7289,75386	37,18	5,63	5,55
		2	540,15	44,09	4409	0,93555	41,25	9074,64789		5,36	
		3	546,84	40,4	4040	0,91988	37,16	8175,89344		5,65	
		4	559,17	30,28	3028	0,89263	27,03	5946,34401	27,267	5,63	5,54
		5	552,38	29,25	2925	0,89567	26,2	5763,63645		5,48	
		6	551,23	31,24	3124	0,9186	28,57	6313,35408		5,51	
7	SECO	1	548,87	31,64	3164	0,91515	34,45	6370,17612	34,783	4,77	5,54
		2	570,86	40,8	4080	0,86719	35,38	7783,89744		6,5	
		3	545,61	37,26	3726	0,92653	34,52	7594,95172		5,35	
	SAT.	4	548,65	23,55	2355	0,89126	20,99	4617,61806	19,467	4,25	4,51
		5	562,59	19,98	1998	0,892036	17,82	3921,03344		5,23	
		6	561,75	21,96	2196	0,8920765	19,59	4309,8		4,06	

Estabilidad Marshall Cantera C

Tabla 36.-Datos del ensayo de estabilidad Marshall Cantera C. Elaboración: Propia.

% DE EMULSIÓN	ESTADO DE ENSAYO	NÚMERO DE BRIQUETAS	VOLUMEN cm ³	Estabilidad					Flujo		
				Medición del aparato (KN)	NO corregida Kg	FC	Corregida		Promedio kN	Medición mm	Promedio mm
							kN	lbs			
5	SECO	1	580,33	48,52	4852	0,84812	41,15	9053,172	39,607	4,27	4,51
		2	579,71	46,66	4666	0,84283	39,32	8651,819		4,54	
		3	585,05	45,89	4589	0,83579	38,35	8437,969		4,72	
	SAT.	4	574,97	19,53	1953	0,85657	5,37	3680,339	20,325	4,84	4,81
		5	585,06	16,19	1619	0,84245	6,78	3000,638		4,69	
		6	584,5	18,13	1813	0,83426	12,32	3327,529		4,89	
6	SECO	1	589,97	43,03	4303	0,83099	35,8	7866,65	34,018	4,23	4,63
		2	598,75	38,93	3893	0,81	31,5333	6937,326		4,73	
		3	588,13	41,98	4198	0,82714	34,72	7639,134		4,94	
		4	603,98	13,49	1349	0,68651	10,61	2037,424	16,617	5,29	4,99
		5	591,96	24,28	2428	0,81935	19,9	4376,64		5,53	
		6	586,62	22,44	2244	0,8252	19,34	4073,847		4,15	
7	SECO	1	602,63	37,61	3761	0,80045	30,1	6623,083	31,127	4,66	4,89
		2	594,46	35,64	3564	0,82033	29,24	6432,043		4,99	
		3	590,19	41,47	4147	0,82073	34,04	7487,848		5,03	
	SAT.	4	605,29	12,23	1223	0,73713	9,7	1983,322	11,387	7,23	6,52
		5	596,91	15,49	1549	0,81444	12,62	2775,449		6,87	
		6	605,49	14,92	1492	0,79333	11,84	2604,026		5,47	

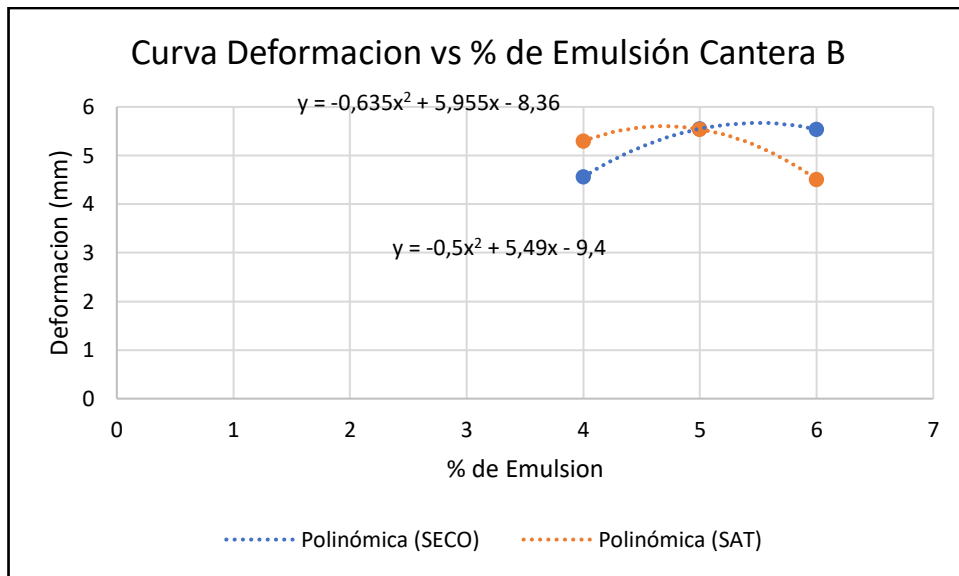


Ilustración 28. Curva deformación vs. % emulsión, cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

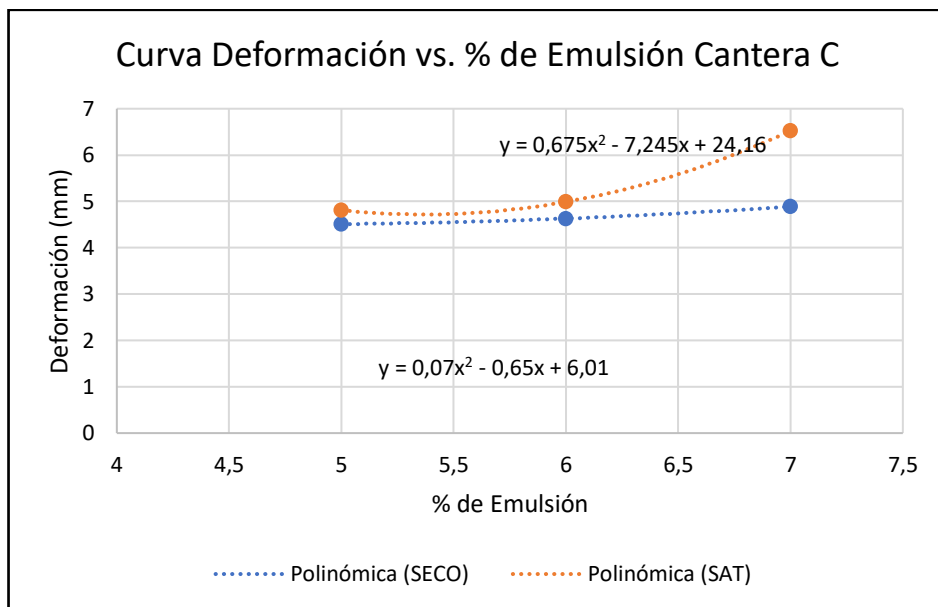


Ilustración 29. Curva deformación vs. % emulsión, cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

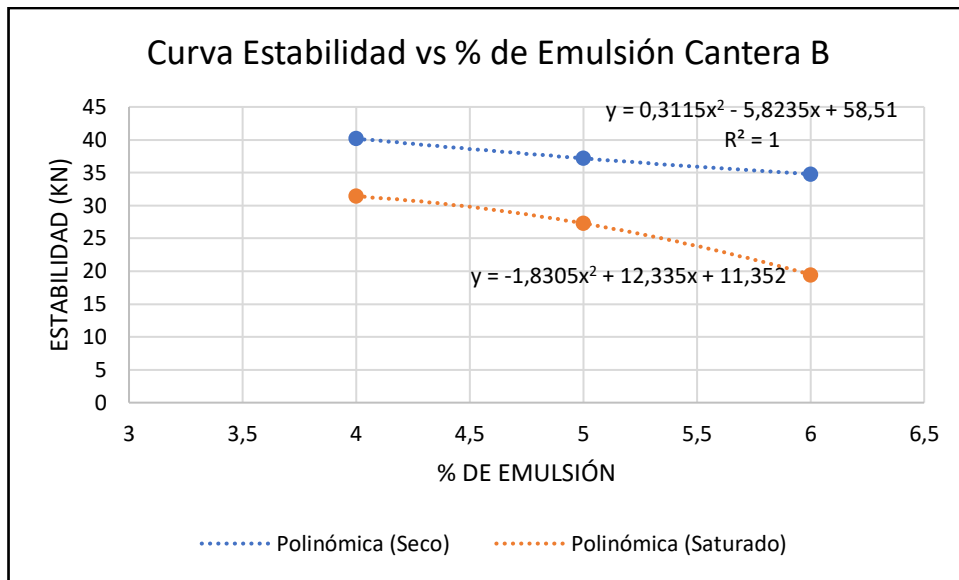


Ilustración 30. Curva estabilidad vs. % emulsión, cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

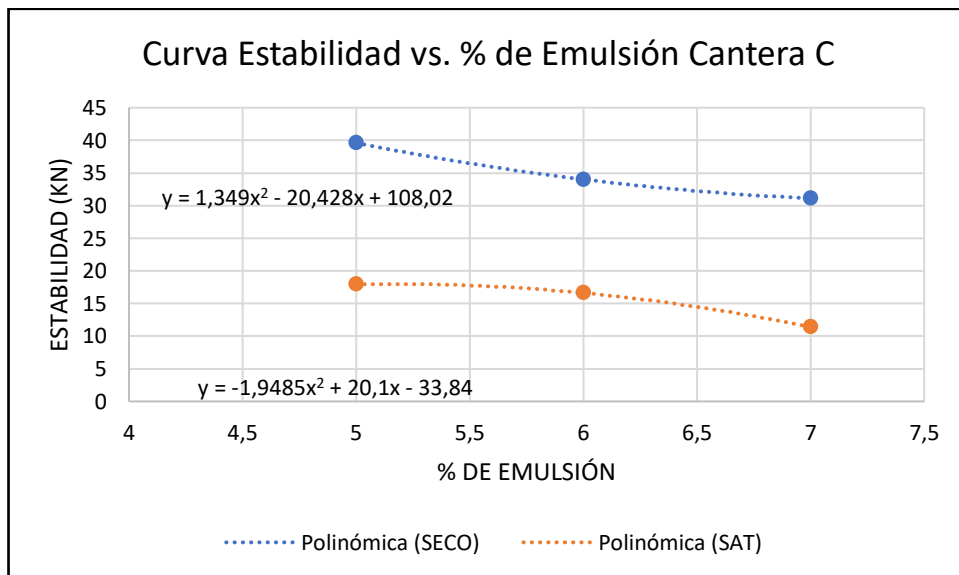


Ilustración 31. Curva estabilidad vs. % emulsión, cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

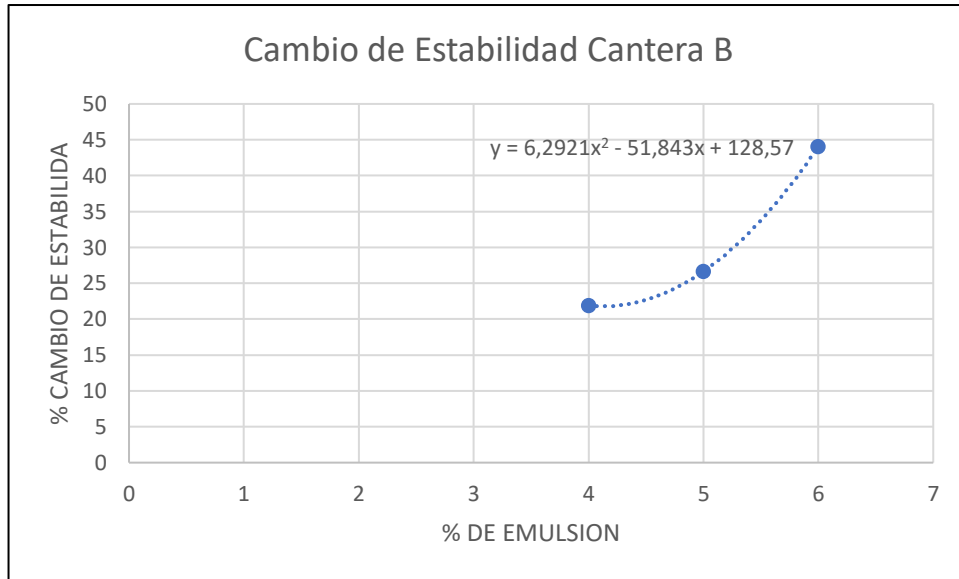


Ilustración 32. Curva de cambio de estabilidad, cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

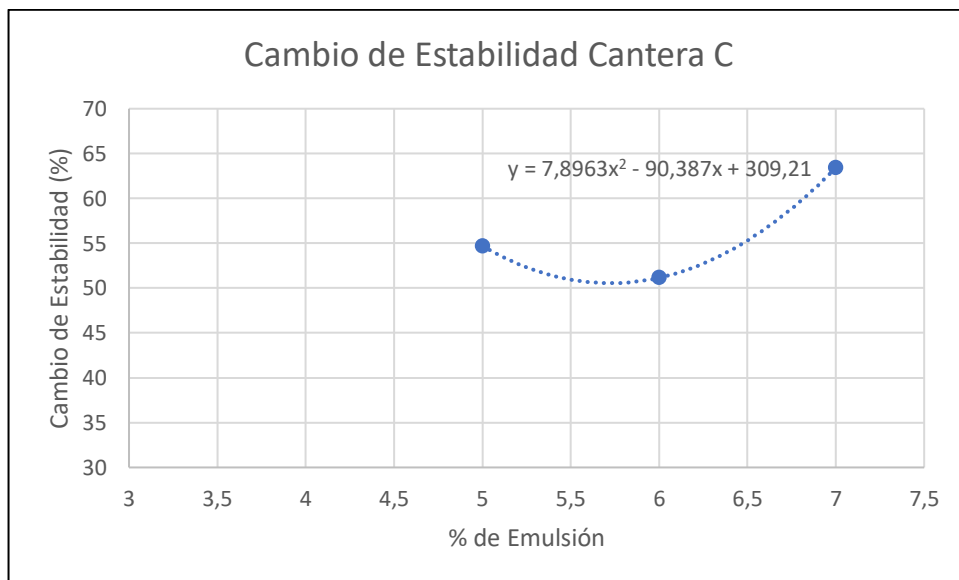


Ilustración 33. Curva de cambio de estabilidad, cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

3.6.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN

Mediante el análisis de las gráficas desarrolladas por medio de los ensayos de laboratorio, se puede apreciar la siguiente tabla, en donde, encontramos los puntos máximos y mínimos que nos da cada curva³.

Tabla 37. Puntos máximos y mínimos de las curvas de los ensayos Marshall.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Descripción	Cantera B		Cantera C	
	Min	Max	Min	Max
Densidad	-	5,41	-	4,91
Deformación. seco	-	5,49	5,36	-
Deformación. Sat	-	4,63	-	4,64
Est. Seco	9,34		7,57	-
Est. Saturada		3,36	-	5,15
Perdida Estabilidad	4,18		-	5,72

En el caso de los resultados observados en la muestra de la cantera B podemos observar que en la gráfica de las curvas deformación vs % emulsión en estado seco y saturado, nos dan un punto máximo de deformación, cuando el porcentaje de emulsión es 5,49 y 4,63 respectivamente. Así mismo, se observa en la gráfica de las curvas estabilidad vs % emulsión, nos dan un punto mínimo en estado seco y uno máximo en estado saturado de estabilidad, cuando el porcentaje de emulsión es 9,34 y 3,36 respectivamente.

³ Los resultados de las ecuaciones de las curvas se las aplicó en el software Microsoft Excel

Todos estos puntos máximos y mínimos mencionados anteriormente nos generan un rango con el cual podemos excluir valores entre 4,63 y 5,49 y en la gráfica de la curva densidad seca vs % emulsión se observa que la máxima densidad seca se obtiene con un porcentaje de 5,41, la cual, está dentro del rango anteriormente planteado, es decir, que obtendremos una mejor compactación.

Para el caso de la cantera C se realizó el mismo procedimiento, en el que el rango se encuentra entre 4,64 y 5,36 y la máxima densidad seca corresponde a un porcentaje de 4,91% de emulsión.

Tabla 38. Porcentajes óptimos de emulsión.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

	Cantera B	Cantera C
% óptima emulsión	5,41	4,91

El objetivo de la investigación es obtener un mayor CBR en la capa de subbase estabilizada con emulsión asfáltica, por lo tanto, con los contenidos óptimos de emulsión, a continuación de esto, se procedió a realizar los ensayos de compactación para obtener la humedad óptima a la que podamos encontrar la máxima densidad seca y posteriormente el CBR.

3.7. PRÓCTOR MODIFICADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

Para el diseño de la mezcla se usó 5500 gr. de material pétreo, de cada una de las canteras y según la granulometría correspondiente, se repartió la muestra en porcentajes de gruesos y finos, siendo los gruesos el resultado del pasante del tamiz $\frac{3}{4}$ " y los finos del pasante del tamiz #4, como se indica en la siguiente tabla.

El procedimiento para el ensayo fue mismo que el descrito en la sección 3.4. PRÓCTOR MODIFICADO, y la mezcla se elaboró según la sección 3.6.4. ENSAYO DE ESTABILIDAD MARSHALL.

Tabla 39. Distribución de la granulometría en gruesos y finos

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera	B		C	
	%	gr	%	Gr
Finos	54	2978	67	3701
Gruesos	46	2522	33	1799

Resultados

Cantera B

Tabla 40. Diseño de la mezcla de la cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Peso Húm.	% de Hum.	humeda d óptima	Peso Agregado o Seco	% óptima emulsión	Peso de emul.	Agua emul.	Agua necesaria	Agua faltante	Peso de Mescla
gr	%	%	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr
5500	5,97	5,97	5190,1	5,41	280,78	112,31	76,68		5470,88
5500	5,97	8,97	5190,1	5,41	280,78	112,31	160,92	48,61	5519,49
5500	5,97	9,9	5190,1	5,41	280,78	112,31	186,84	74,53	5545,41
5500	5,97	12,9	5190,1	5,41	280,78	112,31	271,08	158,77	5629,65
5500	5,97	15,9	5190,1	5,41	280,78	112,31	355,32	243,01	5713,89
5500	5,97	18,9	5190,1	5,41	280,78	112,31	439,02	326,71	5797,59

Tabla 41. Datos del ensayo de Compactación. de la cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

DATOS DE LA CURVA				
NÚMERO DE MUESTRA	1	2	3	4
HUMEDAD AÑADIDA (%)	11,97	14,97	17,97	20,97
PESO CILINDRO + SUELO HÚMEDO (gr)	11092,5	11237	11209	11112,5
PESO CILINDRO SIN COLLARIN (gr)	6497	6497	6497	6497
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	4595,5	4740	4712	4615,5
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	2173,85	2242,21	2228,96	2183,31
CONTENIDO DE HUMEDAD				
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA (%)	7,08	9,865	11,295	13,5
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2035,82	2040,87	2002,74	1923,62

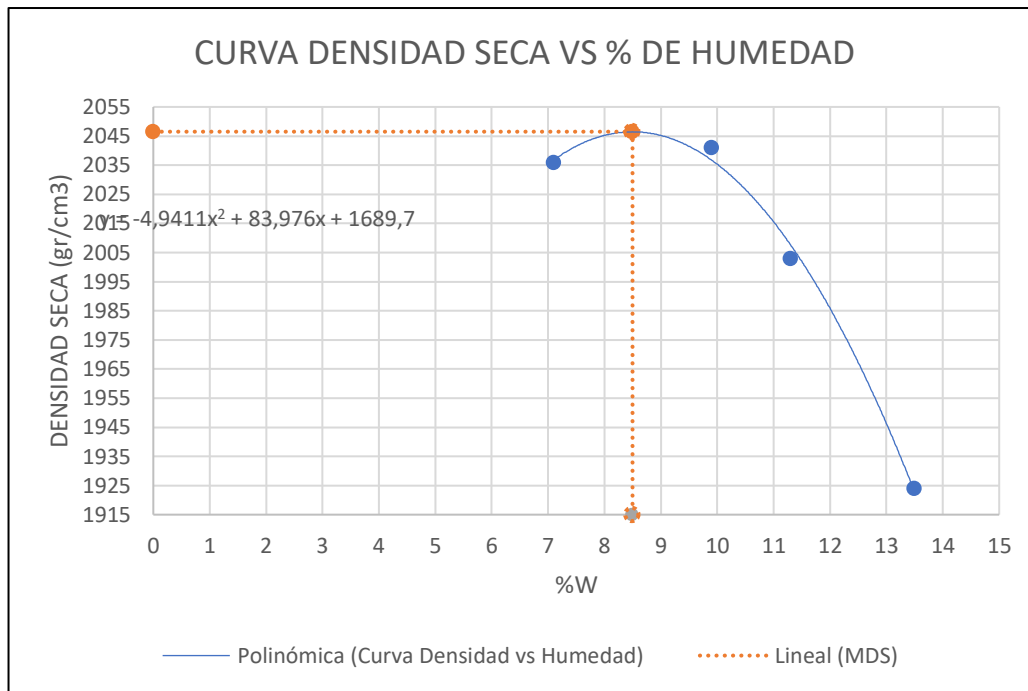


Ilustración 34. Curva densidad seca vs % emulsión de la cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera C

Tabla 42. Diseño de la mezcla de la cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Peso Húm.	% de Hum.	%w óptimo	Peso Agregado Seco	% óptimo Emulsión	Peso de Emul.	Agua emul.	Agua necesaria	Agua faltante	Peso de Mescla
gr	%	%	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr
5500	4,97	4,97	5239,6	4,91	257,26	102,9	92,16		5496,86
5500	4,97	7,97	5239,6	4,91	257,26	102,9	192,64	89,74	5586,6
5500	4,97	10,97	5239,6	4,91	257,26	102,9	293,12	190,22	5687,08
5500	4,97	13,97	5239,6	4,91	257,26	102,9	393,6	290,7	5787,56
5500	4,97	16,97	5239,6	4,91	257,26	102,9	494,08	391,18	5888,04
5500	4,97	19,97	5239,6	4,91	257,26	102,9	594,56	491,66	5988,52

Tabla 43. Datos del ensayo de Compactación. de la cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

DATOS DE LA CURVA					
Número de muestra	1	2	3	4	5
Humedad añadida en porcentaje (%)	7,93	10,97	13,97	16,97	19,97
Peso molde cilindro + suelo húmedo (gr.)	11121,5	11418,5	11381,5	11328,5	11325
Peso cilindro sin collarín (gr.)	6667,5	6667,5	6667,5	6667,5	6667,5
Peso suelo húmedo (gr.)	4454	4751	4714	4661	4657,5
Densidad húmeda (gr/cm3)	2106,92	2247,41	2229,91	2204,84	2203,18
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Contenido promedio de agua (%)	5,855	7,675	10,395	12,015	13,445
Densidad seca (gr/cm3)	1979,26	2087,22	2019,94	1968,34	1942,07

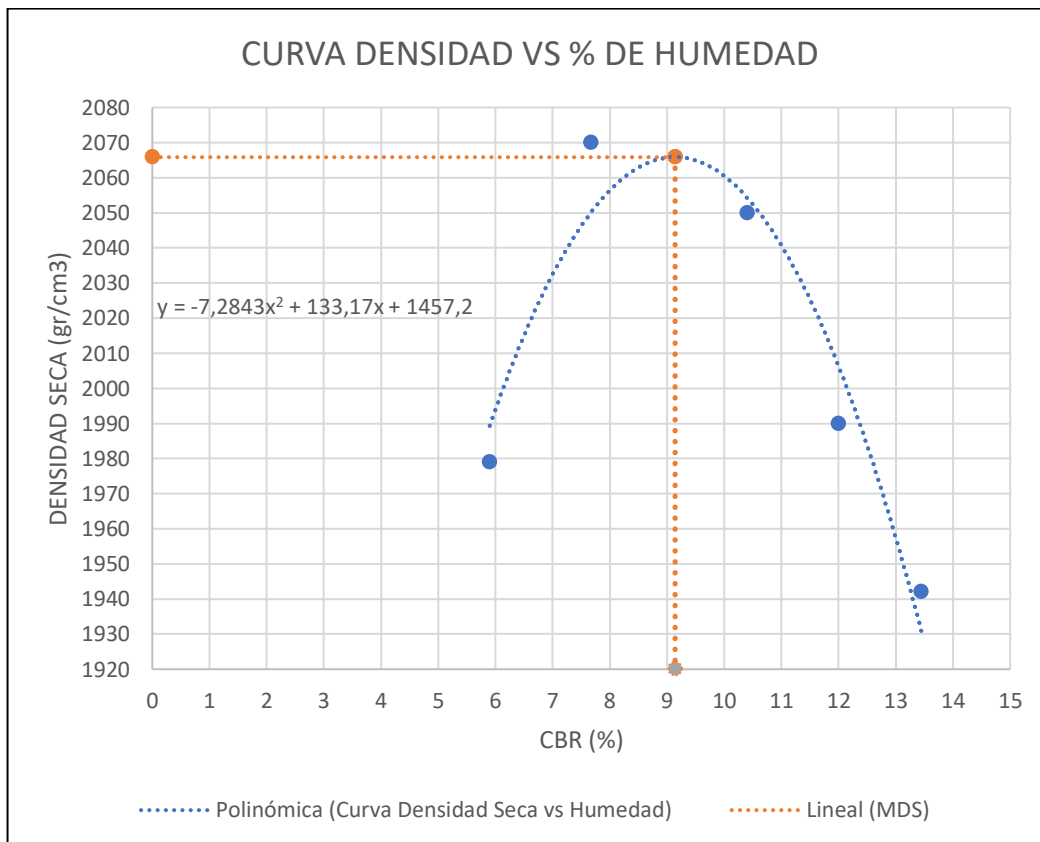


Ilustración 35. Curva densidad seca vs % emulsión de la cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Resultados finales de la compactación con emulsión asfáltica.

Tabla 44. Resultados finales del ensayo próctor modificado con emulsión asfáltica.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Muestra	Cantera B	Cantera C
MDS (gr/cm ³)	2046,5	2054
95%MDS (gr/cm ³)	1944,17	1951,3
% Optimo de Humedad	8,5	9

3.8. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

Para el ensayo de CBR con emulsión asfáltica se siguieron los pasos expuestos en la norma (AASHTO T 193-13, 2017). En la siguiente tabla se indica el diseño de la mezcla, teniendo en cuenta que tendrá una cantidad de 5500 gr. cada una, y posteriormente sus resultados por cantera.

El procedimiento para el ensayo fue mismo que el descrito en la sección 3.5. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR), y la mezcla se elaboró según la sección 3.6.4. ENSAYO DE ESTABILIDAD MARSHALL.

Tabla 45. Diseño de la mezcla para el ensayo de CBR con emulsión asfáltica por cantera.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera	Humedad	Humedad óptima	Agregado Seco	% óptima emulsión	Peso emulsión	Agua en emulsión	Agua necesaria	Agua faltante	Peso de Mezcla
	%	%	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr
Cantera B	5,13	8,5	5231,6	5,41	283,03	113,21	233,82	120,61	5635,24
Cantera C	4,04	9	5286,4	5,41	285,99	114,4	281,34	166,94	5739,33

Resultados

Cantera B

Tabla 46. Datos de ensayo CBR con emulsión asfáltica de la cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Penetración	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
	Carga Pulg.	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg2	Valores C.B.R.
0	0	0		0	0		0	0	
25	87	166,71		68	131,73		63	122,52	
50	203	380,26		165	310,3		126	238,5	
75	338	628,78		265	494,39		194	363,69	
100	475	880,99	88,099	340	632,46	63,246	263	490,71	49,071
150	758	1401,97		460	853,38		372	691,37	
200	1030	1902,71	126,84	553	1024,58	68,305	450	834,97	55,66
250	1265	2335,33		630	1166,33		517	958,31	
300	1454	2683,27	141,22	692	1280,47	67,39	576	1066,92	56,15
400	1760	3246,59		803	1484,82		677	1252,86	
500	2002	3692,1		904	1670,75		756	1398,29	

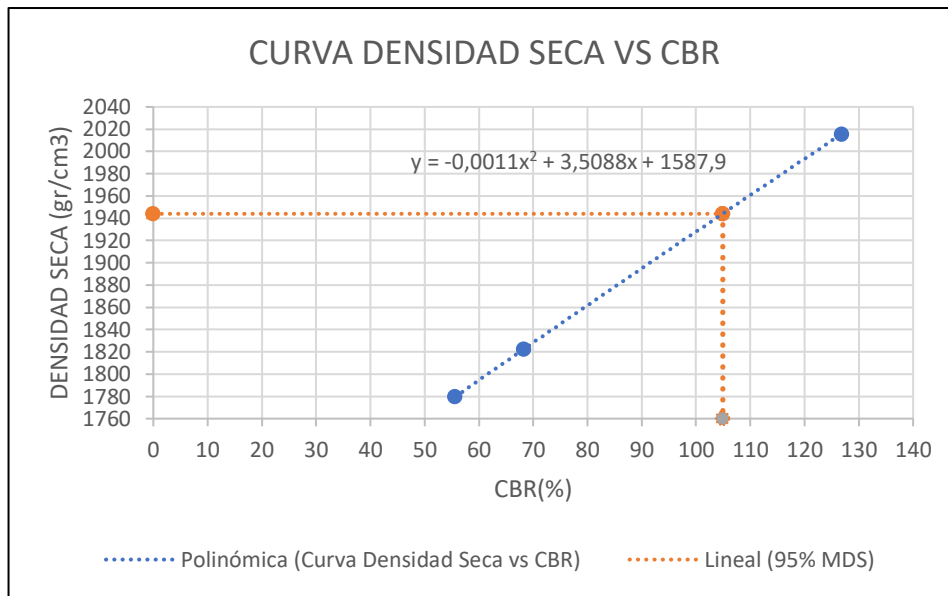


Ilustración 36. Curva densidad vs. CBR de la cantera B.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Cantera C

Tabla 47. Datos de ensayo CBR con emulsión asfáltica de la cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Penetración pulg.	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
	Carga libras	Presiones lbs/pulg ²	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg ²	Valores C.B.R.	Carga libras	Presiones lbs/pulg ²	Valores C.B.R.
0	0	0		0	0		0	0	
25	110	209,05		73	140,93		76	146,46	
50	225	420,76		181	339,75		167	313,98	
75	323	601,17		300	558,83		258	481,51	
100	489	906,76	90,68	417	774,22	77,42	336	625,1	62,51
150	680	1258,38		640	1184,74		453	840,49	
200	950	1755,43	117,03	798	1475,61	98,37	539	998,81	66,59
250	1055	1948,73		985	1819,87		615	1138,72	
300	1135	2096,01	110,32	1117	2062,87	108,57	678	1254,7	66,04
400	1446	2668,54		1357	2504,69		794	1468,25	
500	1740	3209,77		1518	2801,09		904	1670,75	

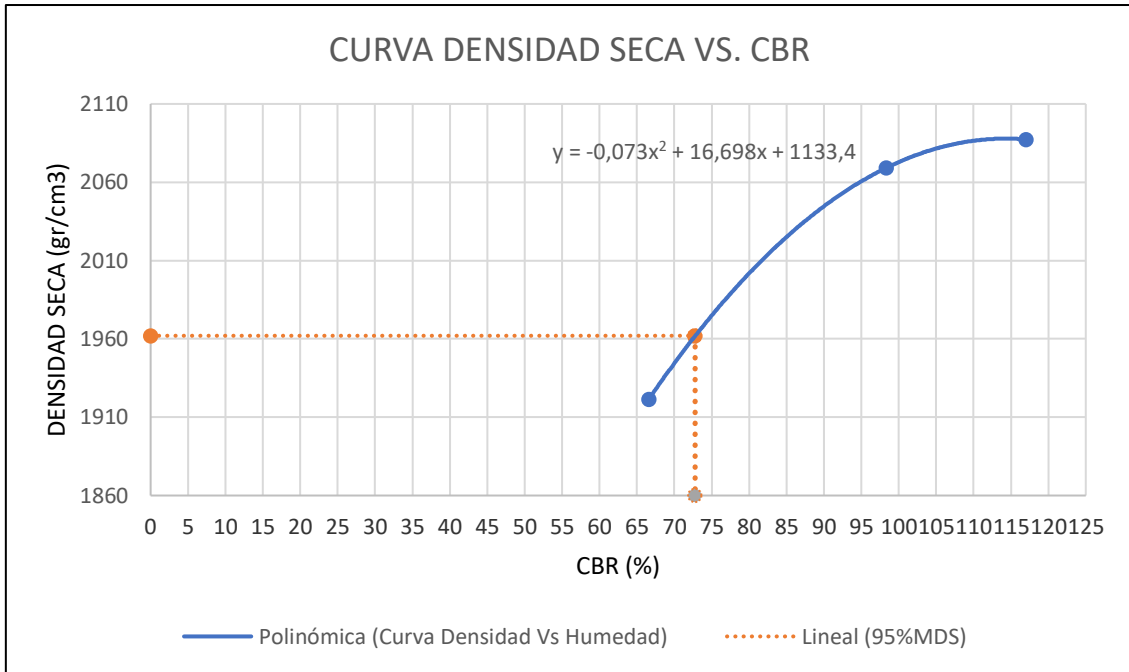


Ilustración 37. Curva densidad vs. CBR de la cantera C.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Tabla 48. Resultados finales de la compactación y CBR con emulsión asfáltica de las canteras.

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Elaboración: Propia.

Muestra	Cantera B	Cantera C
MDS (gr/cm³)	2046,5	2054
95%MDS (gr/cm³)	1944,17	1951,3
% Optimo de Humedad	8,5	9
CBR	136	131
CBR AL 95%MDS	104.94	72.78

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

El diseño de pavimentos que se va a emplear para este caso es el método de diseño de pavimentos flexibles AASHTO 93; este método se lo explica en el apartado 2.1.1.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Para cumplir el propósito de esta investigación se planteó una carretera de dos carriles tipo C2, colectora e interurbana de un carril por sentido, para un periodo de diseño de 20 años, con un sistema y calidad de drenaje bueno.

Para el diseño del pavimento se considera el número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño (Nt), de acuerdo al estudio de tránsito de las siguientes vías tipo C2 realizado por el MTOP.

Tabla 49.- Número de ejes equivalentes para un periodo de 20 años de distintos estudios de vías tipo C2.

Fuente: MTOP.

Elaboración: Propia.

Periodo (Años)	Nt	Descripción
20	526445,667	- Estudios De La Rehabilitación De La Vía Progreso – Corraleja - Susudel, Ubicada En El Cantón Nabón Y Oña, De 29 Km”
20	2039785	- Estudios Definitivos Para El Mejoramiento De La Vía Chicti-Tomebamba-Guarainag, Con Una Longitud Aproximada De 26 Km, Ubicada En El Cantón Paute, Provincia Del Azuay
20	2166884,19	- Estudios Para La Rehabilitación De La Vía Cumbe - San José – Esmeralda - Banguir, Ubicada En El Cantón Sígsig De 30.00 Km
20	3158273,9	-Estudios Para La Rehabilitación De La Vía Paute – Matrama, Ubicada En El Cantón Paute De 15.00 Km

El número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas (Nt) utilizado para el diseño del pavimento flexible se calculó como el promedio de los números de ejes equivalentes de 8,2 toneladas indicados en la Tabla 49, el cual, es igual a 1972847,19.

Para utilizar la Ecuación 2. Número estructural del pavimento se debe tener algunos valores definidos por las diferentes características que han sido tomadas para el diseño del pavimento.

El Módulo resiliente (M_r) de la Subrasante se determina partir del CBR y según las ecuaciones establecidas por la AASHTO.

Ecuación 8. El Módulo resiliente (M_r) de la Subrasante

$$M_r = 1500 * CBR \qquad CBR < 10\%$$

Ecuación 9. El Módulo resiliente (M_r) de la Subrasante

$$M_r = 3000 * CBR^{0.65} \qquad 10\% < CBR < 20\%$$

Para este estudio se consideró un CBR de 11% por lo cual se emplea la Ecuación 9 teniendo como resultado $M_r = 14256,95 \text{ lb/pulg}^2$.

El Nivel de Confiabilidad (R), expresado en porcentaje, es de 85% ya que la vía va ser colectora e interurbana como se recomienda en la Tabla 3.

El valor de la Desviación Normal Estándar (Z_r), que viene dado en función del porcentaje elegido del nivel de confiabilidad es de -1,037 según la Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento que se muestra en la

Tabla 4.

El Error Normal Combinado (So), según la AASHTO, para el diseño de pavimentos flexibles para una construcción nueva es de 0,45 en unidad adimensional. (Tabla 5).

Finalmente, el Nivel de Serviciabilidad o Δ IPS como ya está explicado en el apartado

2.1.1.2. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES tendría un valor de 2.

EL número estructural del tránsito ($SN_{\text{Tránsito}}$) se calcula según lo establecido en el apartado 2.1.1.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES con la Ecuación 2:

$$\log(1972847.19) = (-1.037*0.45) + 9.36*\log(SN+1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{2}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32*\log(14256.95) - 8.07$$

Resolviendo la ecuación $SN_{\text{Tránsito}}$ tiene un valor de 2,86.

De acuerdo a los propósitos de este estudio se realizó dos propuestas del diseño de un pavimento flexible, el primero no considerando la estabilización de la subbase con emulsión asfáltica y la segunda considerando la estabilización de la subbase con emulsión asfáltica de la cantera B, la cual obtuvo el menor resultado de CBR.

El coeficiente estructural para subbases se calculó según la Ecuación 10⁴, en donde se toman los valores de CBR de las subbases sin estabilizar y estabilizada; 40% y 75% respectivamente.

Ecuación 10. Coeficiente estructural de Subbases.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$a_3 = 0.058 * CBR^{0.19}$$

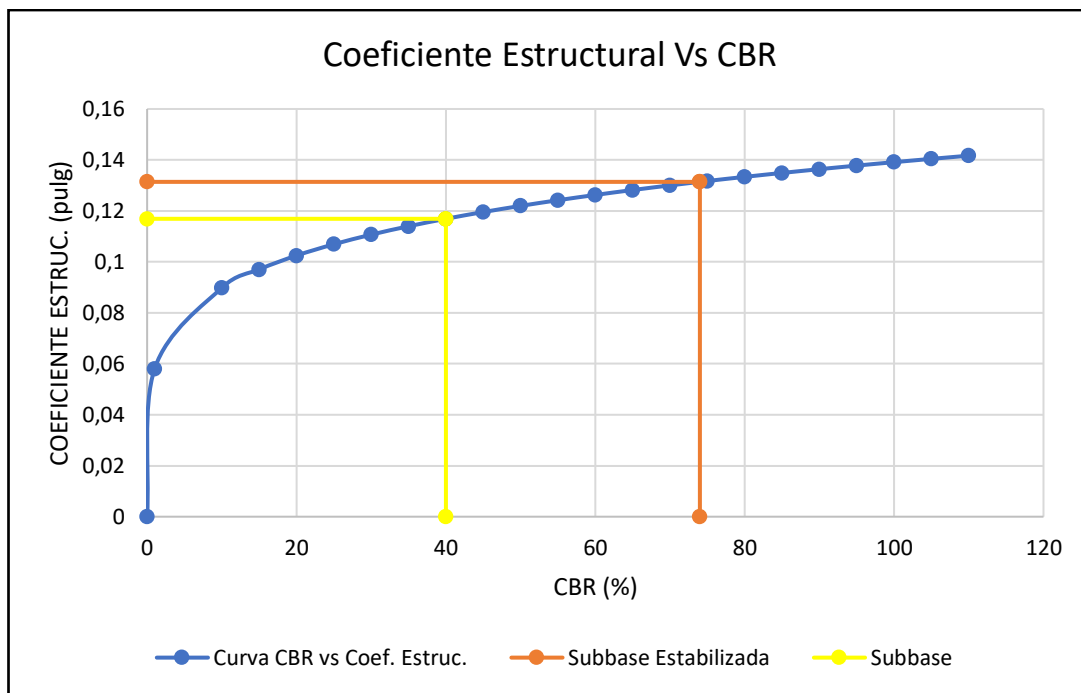


Ilustración 38. Coeficiente Estructural Vs CBR. Elaboración: Propia.

Fuente: AASHTO.

⁴ Los valores de a_3 obtenidos se encuentran en pulgadas, se requiere realizar las respectivas conversiones para realizar el cálculo de SN.

Podemos observar que en la Ilustración 38, la curva tiende a disminuir su pendiente, por lo cual, mientras más grande sean los valores de CBR notaremos menor variación entre el coeficiente estructural de una subbase sin estabilizar y estabilizada.

Los coeficientes estructurales de las subbases que se tomarán para el diseño se muestran en la Tabla 50.

Tabla 50. Resultados Coeficiente Estructural de Subbase según su condición.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Propia.

Condición	CBR (%)	Coeficiente Estructural (cm)
Sin estabilizar	40	0,04602
Estabilizada	74	0,05173

Es de importancia mencionar, que previo a la elección del coeficiente estructural con el que se calculará la capa de subbase estabilizada con emulsión asfáltica, se analizaron conjuntamente dos posibles alternativas; la primera alternativa considerando la Ecuación 10. Coeficiente estructural de Subbases., y la segunda alternativa considerando la Ecuación 11. Coeficiente estructural para bases estabilizadas con asfalto.

Ecuación 11. Coeficiente estructural para bases estabilizadas con asfalto.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$a = 0,0074 * EM^{0,415}$$

Con la primera alternativa, al material estabilizado se la consideró como una subbase con mejor capacidad de CBR. Con la segunda alternativa al material estabilizado se lo trató como una base estabilizada, en esta ecuación se toma como variable a la estabilidad Marshall, valores que fueron obtenidos mediante de los ensayos de estabilidad.

Al realizar los cálculos para las dos alternativas se obtuvo que la primera el coeficiente estructural tiene un valor de 0,05173 y con la segunda alternativa el coeficiente estructural es 0,1640.

Los valores de las dos alternativas son ampliamente distintos, como se puede observar la alternativa dos tiene un valor alto, la cual, es incluso superior al de un hormigón asfáltico, por lo que se consultó a especialistas de la zona y se obtuvo como sugerencia diseñar con la primera alternativa ya que los valores se encuentran dentro de diseños de estabilizaciones similares.

También, señalar que en otras provincias se ha logrado trabajar con bases estabilizadas con emulsión asfáltica con un coeficiente estructural semejante al de un hormigón asfáltico.

Finalmente, se consideró utilizar el coeficiente de la primera alternativa (0,05173), tomando en cuenta la sugerencia de los especialistas, a la falta de bibliografía acerca del tema y con el fin de no subdimensionar la estructura, aperturando la posibilidad para otros investigadores, de encontrar coeficientes estructurales para estabilizaciones con emulsión asfáltica, más cercanos a la realidad, tema que como se ha indicado previamente posee escasa información.

La primera propuesta del diseño de pavimento flexible será la estructura que tenga una subbase normal sin estabilizar, para la cual se tomó en consideración cada capa de la estructura del pavimento para determinar el $SN_{Estructural}$. Cabe señalar que el valor de la capa de rodadura corresponde a 3 pulgadas (7,62 cm).

Tabla 51. Propuesta #1 de estructura de pavimento.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Propia.

Capa	a (cm)	d (cm)	m
Rodadura	0,14	7,62	-
Base	0,047	10	1
Subbase	0,043	35	1

$$SN_{Estructural} \leq (0,14 * 7,62) + (0,047 * 10 * 1) + (0,043 * 35 * 1)$$

$$SN_{Estructural} = 3,04$$

$$SN_{Tránsito} \leq SN_{Estructural}$$

$$2,86 \leq 3,04$$

Para la segunda propuesta de estructura de pavimento flexible se consideró la subbase estabilizada con emulsión asfáltica y se utilizó la Ecuación 10 para determinar el coeficiente estructural para subbases.

Tabla 52. Propuesta #2 de estructura de pavimento.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Propia.

Capa	a (cm)	d (cm)	m
Rodadura	0,14	7,62	-
Base	0,047	0	1
Subbase Estabilizada	0,05173	35	1

Resolviendo la Ecuación 3 se comprueba que el diseño de los espesores y coeficientes soportan las cargas correspondientes al $SN_{Tránsito}$ y que se cumple la condición de diseño.

$$SN_{Estructura} \leq (0.14 * 7.62) + (0.025 * 0 * 1) + (0.05173 * 35 * 1)$$

$$SN_{Estructura} = 2.88$$

$$SN_{Tránsito} \leq SN_{Estructural}$$

$$2.86 \leq 2.88$$

4.2. ANÁLISIS DE COSTOS

Según (Montejo Fonseca, 1998) se debe tomar como criterio para la selección de la alternativa más adecuada de la estructura de pavimento el Costo Global, el cual, no solo involucra costos de construcción, si no también costos de conservación, rehabilitación y los valores residuales del proyecto.

El cálculo del costo Global se puede expresar de la siguiente manera:

Ecuación 12.- Costo global de una vía

$$C_G = C_1 + C_2 + C_3 - VR$$

Dónde:

C_G : Costo global actualizado de la alternativa.

C_1 : Costo actualizado al año cero de la construcción.

C₂: Sumatoria de los costos anuales de conservación rutinaria durante el periodo de análisis.

C₃: Sumatoria de los costos de rehabilitación en los años previstos para su ejecución.

VR: Es el valor residual de la estructura, es el valor estimado en su condición final, actualizado al año cero.

También el costo global se puede expresar de una forma detallada:

Ecuación 13.- Costo global detallado de una vía.

$$C_G = C_1 + \left[\frac{C'_2}{(1+a)^1} + \frac{C'_2}{(1+a)^1} + \dots + \frac{C'_2}{(1+a)^n} \right] + \left[\frac{R_i}{(1+a)^i} + \frac{R_j}{(1+a)^j} + \dots + \frac{R_k}{(1+a)^k} \right] - \frac{V.R}{(1+a)^n}$$

Dónde:

C_G: Costo global actualizado de la alternativa.

C₁: Costo actualizado al año cero.

C'₂: Sumatoria de los costos anuales de conservación rutinaria.

a: Tasa de descuento expresado en porcentaje.

R_i, R_j, R_k es el costo de rehabilitación prevista para el año i, j, k respectivamente.

VR: Es el valor residual de la estructura, actualizado al año cero.

Cálculo de C1

Para efectos de ejemplificar el cálculo, seleccionamos las características de una vía de 1 carril por sentido con unas dimensiones de 3 metros de ancho de carril, 2000 metros de longitud, los espesores de cada capa de la estructura del pavimento se encuentran detallados en la Tabla 51. Propuesta #1 de estructura de pavimento. Tabla 51 y Tabla 52.

Para determinar el valor de C1 se debe conocer el precio unitario de los materiales empleados en las distintas alternativas de construcción para la vía.

Tabla 53.- Análisis empírico de costo de construcción vía- Alternativa 1 sin Subbase Estabilizada.

Fuente: Los Autores.

Elaboracion: Propia.

Material	Espesor (m)	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Subtotal
MDC-2	0,0716	m2	12000	\$ 13,00	\$ 156.000,00
BG-1	0,10	m3	1200	\$ 22,15	\$ 26.580,00
SBG-3	0,35	m3	4200	\$ 19,74	\$ 82.908,00
				Total	\$ 265.488,00

Dentro de los costos de construcción de un proyecto vial el rubro de transporte es fundamental debido a que dependiendo de la distancia a la que se encuentre una cantera puede aumentar significativamente el costo de construcción del proyecto y por ello es necesario considerar el transporte y la distancia a la que se ejecutara el proyecto, debido a estas razones se propone tomar una distancia de 30 km que es el promedio de la distancia de las canteras A,B,C hacia varios puntos del cantón Cuenca y otros cantones que comúnmente utilizan el material granular.

El análisis de costo de transporte se encuentra detallados dentro de las tablas 54 y 56. para la alternativa 1 y alternativa 2 respectivamente

Tabla 54.-Análisis de Costos de transporte Alternativa 1 sin Subbase Estabilizada.

Fuente: Los Autores.

Elaboracion: Propia.

Material	Distancia de transporte (km)	Volumen (m3)	Costo por m3/km	Subtotal
BG-1	30	1800	\$ 0.32	\$ 17.280,00
SBG-3	30	3600	\$ 0.32	\$ 34.560,00
Total				\$ 51.840,00

En las tablas 53 y 56 se muestran los datos empleados para el cálculo de C1 en sus respectivos casos, en el caso de la alternativa con subbase estabilizada con emulsión se plantea el precio unitario por metro cúbico de la subbase estabilizada.

Tabla 55.-Análisis de costos para 1 metro cúbico de subbase estabilizada con emulsión asfáltica.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Propia.

Material	Volumen (m3)	Volumen (Lt)	Costo unitario	Subtotal
EA	0,05	50	\$ 0,50	\$ 25,00
SBG-1	0,95	-	\$ 19,74	\$ 18,75
Total				\$ 43,75

Tabla 56.- Análisis empírico de costo de construcción vía- Alternativa 2 con Subbase Estabilizada.

Fuente: Los Autores.

Elaboracion: Propia.

Material	Espesor (m)	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Subtotal
MDC-2	0,08	m2	12000	\$ 13,00	\$ 156.000,00
SBEE-3	0,35	m3	4200	\$ 43,75	\$ 183.750,00
Total					\$ 339.750,00

Tabla 57.- Análisis de costos de transporte Alternativa 2 con Subbase Estabilizada.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Propia

Material	Distancia de transporte (km)	Volumen (m ³)	Costo por m ³ /km	Subtotal
SBG-estabilizada	30	4200	\$ 0.32	\$ 40.320,00
			Total	\$ 40.320,00

Tabla 58.- Costo de Construcción inicial (C1) de las alternativas de pavimento flexible.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Propia

Descripción	Costo Construcción	Costo Transporte	Total
Sin Estabilizar	\$ 266.934,00	\$ 51.840,00	\$ 318.774,00
Estabilizada	\$ 339.750,00	\$ 40.320,00	\$ 380.070,00

Cálculo de C2, C3 y VR.

Para el valor del costo de mantenimiento o conservación (C2) se toma el 4% del costo de construcción inicial (C1), este valor es constante para las dos alternativas de la estructura de pavimento flexible, sin embargo, cabe indicar que al no contener esta investigación una aplicación constructiva y una observación del comportamiento en campo de la estructura con material estabilizado, no se podría garantizar que el costo manteniendo sea igual para ambas alternativas.

Para el cálculo de C3 se considera costos de rehabilitación de la vía a los 7 años, la rehabilitación hace referencia a bacheo y la colocación de una capa de rodadura y tendrá un valor de 100000 dólares para las dos alternativas.

Para el valor residual (VR), (Montejo Fonseca, 1998) recomienda que el valor debe ser del 10% del costo de construcción inicial (C1), este valor se considera constante para las dos alternativas de la estructura de pavimento flexible.

La tasa de descuento (a) viene dada por la ecuación de (Thuesen y Fabrycky 1984).

Ecuación 14.- Tasa de descuento.

$$a = \frac{1 + i_{int}}{1 + i_{inf}} - 1$$

Dónde:

a es la tasa de descuento real, %.

i_{int} es la tasa de interés, %.

i_{inf} es la tasa de inflación, %.

Según el BCE (Banco Central de Ecuador) la tasa de interés se encuentra entre 8.68% y 9.33%, y según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) la tasa de inflación tiene un valor anual promedio de 2.38%; por lo que desarrollando la Ecuación 14 obtenemos:

$$\frac{1 + 0.0868}{1 + 0.0238} - 1 = 0.062$$

El valor de la tasa de descuento (a) de 6.20% será el utilizado en los cálculos de la Ecuación 13.

El periodo de diseño es de 10 años, y el periodo de análisis económico se tomará para este caso es de 20 años por cuestiones de mantenimiento y garantía de durabilidad.

Tabla 59.- Valores de parámetros para el cálculo de Costo Global para la alternativa 1 sin subbase estabilizada con emulsión asfáltica.

Fuente: Los Autores.

Elaboracion: Propia.

Símbolo	Descripción	Cantidad	Unidad
C1	Costo inicial de construcción	318.774,00	Dólares
C2	Costo de conservación rutinaria	12.750,96	Dólares/mes
a	Tasa de descuento	6,2%	%
C3	Costo de rehabilitación	100.000,00	Dólares
VR	Valor residual de la estructura	31.877,40	Dólares
n	Periodo de Diseño	10	años
m	Periodo de análisis económico	20	años
VR	Valor residual	10	%

Tabla 60.- Valores de parámetros para el cálculo de Costo Global para la alternativa 2 con subbase estabilizada con emulsión asfáltica.

Fuente: Los Autores.

Elaboracion: Propia.

Símbolo	Descripción	Cantidad	Unidad
C1	Costo inicial de construcción	380070,00	Dólares
C2	Costo de conservación rutinaria	15202,80	Dólares/mes
a	Tasa de interés	6,2%	%
C3	Costo de rehabilitación	1000000	Dólares
VR	Valor residual de la estructura	38007,00	Dólares
n	Periodo de Diseño	10	años
m	Periodo de análisis económico	20	años
VR	Valor residual	10	%

Para determinar el costo global del proyecto se debe desarrollar la Ecuación 13 con los datos expuestos en las tablas 59 y 60 según corresponda para cada alternativa.

Tabla 61.- Cálculo del Costo global para la alternativa 1 sin subbase estabilizada con emulsión asfáltica.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Propia.

Símbolo	Costo
C1	\$ 318.774,00
C2	\$ 1.726.886,97
C3	\$ 65.633,93
VR	\$ 9.571,78
CG	\$ 2.101.723,12

Tabla 62.- Cálculo del Costo global para la alternativa 2 con subbase estabilizada con emulsión asfáltica.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Propia.

Símbolo	Costo
C1	\$ 380.070,00
C2	\$ 2.058.944,36
C3	\$ 65.633,93
VR	\$ 11.412,30
CG	\$ 2.493.235,98

Después de haber analizado todos los datos pertinentes de la investigación y habiendo obtenido los resultados antes expuestos, se puede entender que la hipótesis propuesta en el protocolo de esta investigación de que “La estabilización de subbases con emulsión asfáltica tendría un costo un poco mayor al de una subbase normal, pero este se vería compensado en la disminución considerable de materiales granulares a emplearse en la capa de subbase en la estructura del pavimento, y esto tendría un impacto positivo en lo

económico a mediano plazo”; se demuestra en parte, ya que una SBG normal o no estabilizada tiene un espesor mayor al de una SBEE. Esto se debe a que el coeficiente estructural de una SBEE es mayor al de una SBG normal, por lo tanto, esto se ve reflejado en el volumen de material granular a emplearse en obra; pero, por otro lado, en la hipótesis se planteó que esto tendría un impacto económico positivo a mediano plazo, lo cual, no es del todo real, ya que el costo del estabilizante, en este caso emulsión asfáltica, afecta considerablemente el costo de este método.

Otra de las observaciones importantes de mencionar, es que las características físicas y mecánicas en la SBEE mejoraron considerablemente, especialmente de la resistencia o dureza del material.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- I. El porcentaje óptimo de emulsión varía dependiendo del tipo de subbase que se vaya a utilizar y de las características físicas y mecánicas que presente el material con el que se va a mezclar, por lo que, para cada una de las canteras, el porcentaje óptimo es diferente.
- II. Los valores de densidad máxima seca y CBR de una SBEE son mucho mayores y tiene una gran diferencia con los de una SBG, por lo que su capacidad portante mejora.
- III. El valor del porcentaje de CBR aumenta en un promedio de 60% al realizar la estabilización con emulsión asfáltica.
- IV. Los costos de una SBEE son mayores, pero esta tiene una mayor resistencia y mejores características que las de una SBG, por lo que esta propuesta provee un método técnicamente viable y una opción válida de inversión en proyectos viales.
- V. El diseño con la SBEE está propuesto para una vía de bajo nivel de tráfico, pero estos datos son perfectamente aplicables para diseños de pavimentos flexibles en el que los niveles de tránsito de la vía a construir o reparar sean altos, simplemente se proveen otros valores a la Ecuación 3. Numero estructural de diseño.

5.2. RECOMENDACIONES

- I. Como complemento de este trabajo investigativo se recomienda realizar dos tipos de investigaciones y ensayos, una sobre coeficientes estructurales para subbases estabilizadas con emulsión asfálticas y otros materiales ya que la información sobre este tema es escasa y la segunda investigación estaría dirigida a aplicar el estabilizante a otro tipo de agregado, material reciclado o directamente en la subrasante. Además, se plantea la posibilidad de analizar otros estabilizantes que además de ser técnicamente viables sean más accesibles económicamente.
- II. Previo a la selección de la propuesta de diseño definitiva se debe realizar varios diseños para tener diferentes alternativas y escoger la más conveniente para este caso.
- III. Para posteriores trabajos de investigación que requieran ensayos con emulsión asfáltica en frío en materiales granulares, se recomienda que para todos los ensayos la E.A. se encuentre a una temperatura entre 45° y 65 °C lo cual garantiza una mejor mezcla entre la emulsión y el material granular y una mayor trabajabilidad.
- IV. No se recomienda utilizar la capa de SBEE como capa de rodadura, para evitar cualquier susceptibilidad a la humedad y fatiga, en caso de no contar con carpeta asfáltica, considerar algún método de impermeabilización.

- V. Los datos y diseños mostrados corresponden específicamente para las muestras en este estudio, si algún proyecto de viabilidad requiere los datos de esta investigación, se considerará que primero se deben realizar los ensayos previos de laboratorio para saber las características de los materiales; y posteriormente realizar su respectivo diseño.
- VI. Se debe considerar que el material aplicado para los ensayos en la cantera A expuestos en el presente proyecto fue excluido debido a la trabajabilidad e incompatibilidad con la emulsión, sin embargo, si se desea trabajar con este tipo de material se deben realizar nuevamente los ensayos, debido a que el material cambia con cada nueva extracción o explotación.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structures. *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
- AASHTO T 193-13. (2017). *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio*. Retrieved from Ensayo CBR: https://www.construmatica.com/construpedia/Ensayo_CBR
- Allegues Suárez, R. S. (2012). *Estudio de factibilidad técnica del empleo de las Emulsiones Asfálticas y sus beneficios para el MICONS*. Área Producción Empresa ECOING 25.
- Asphalt Institute. (2005). *Asphalt Cold Mix Manual, MS-14*. Kentucky, Estados Unidos: Tercera Edición.
- Franco, F. E. (2002). *ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DILUIDO RC-250 Y EMULSIÓN*. Piura: Universidad de Piura.
- Higuera Sandoval, C. H. (2011). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*. Tunja, Boyacá, Colombia: Uptc publicaciones.
- INVIAS-, I. N. (2008). *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*. Bogotá D.C.
- Menéndez Acurio, J. R. (2009). *Ingeniería de Pavimentos. Materiales, Diseño y Construcción*. Lima: Editorial Instituto de la Construcción y Gerencia ICG.
- Montejo Fonseca, A. (1998). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- MTOP, M. D. (2013). NORMA ECUATORIA VIAL. In *VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES*. Quito.
- Pacheco, C. (2018). Coeficientes estructurales de materiales granulares utilizados en la Ciudad de Cuenca. (*Trabajo de titulación*). Universidad Católica de Cuenca., Cuenca, Ecuador.
- Sarmiento, A. (1999). *Aplicación del Ensayo Cantabro a Mezclas Asfálticas de Emulsión - Pétreo*. Tesis de grado para obtener el título de especialista en vías terrestres, Morelia, México.
- Thuesen, G. J., & Fabrycky, W. J. (1984). *Engineering Economy* (Vol. sixth edition). Prentice-Hal, Inc.

UMSS, U. M. (2004). *Manual Completo Diseño de Pavimentos*. Cochabamba: UMSS Publicaciones.

Wirtgen. (2004). *Manual de Reciclado en Frio*. Windhagen.

ANEXOS

ENSAYOS DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO						
PROYECTO	TESIS					
MUESTRA	CANTERA A					
SOLICITADO POR :	_____					
FECHA	_____					
	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0,0%	100,0%	
2 1/2"	63,5	0	0	0,0%	100,0%	
2"	50,8	0	0	0,0%	100,0%	
1 1/2"	38,1	0	0	0,0%	100,0%	
1"	25,4	1333	1333	12,3%	87,7%	
3/4"	19,1	1480,5	2813,5	26,0%	74,0%	
1/2"	12,7	1448,5	4262	39,4%	60,6%	
3/8"	9,52	798,5	5060,5	46,8%	53,2%	
Nº4	4,76	1321	6381,5	59,0%	41,0%	
PASA Nº4		4707	4431,10			
10	2	318,5	318,5	72,88%	27,12%	
40	0,42	217,6	536,1	82,36%	17,64%	
200	0,074	211	750,1	91,67%	8,33%	
FONDO		11,6				
TOTAL			10812,60			
PESO ANTES DEL ENSAYO		PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO				
=		16951	=		1000	
PESO DESPUES DEL ENSAYO		PESO SECO ANTES DEL LAVADO				
=		11088,5	=		941,39	
% DE HUMEDAD		PESO SECO DESPUES DEL LAVADO				
=		6,23	=		764,5	

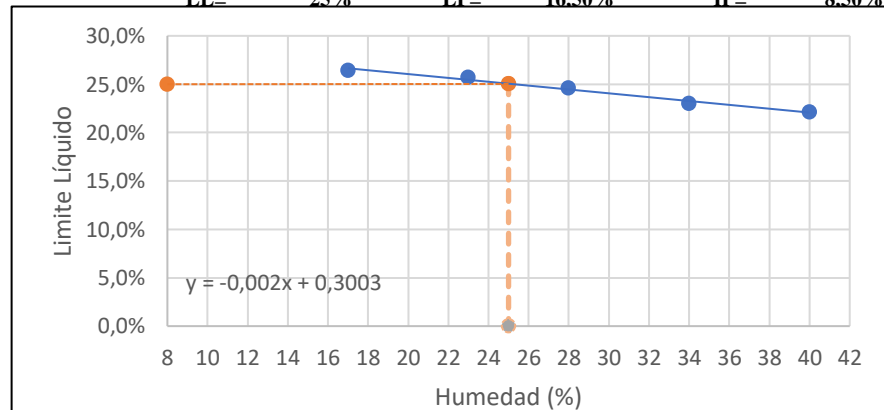
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO TESIS
MUESTRA SUBBASE CANTERA A
SOLICITADO POR _____
FECHA _____

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO NO	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO				
	1	2	3	4	7	9	10	14	20	13
N. DE GOLPES	40	34	28	23	17					
M. HUMEDA + TARRO	49,53	44,60	45,26	46,53	49,39	24,17	22,97	22,92	23,49	22,89
M. SECA + TARRO	44,41	40,24	40,50	41,25	44,26	23,84	22,78	22,66	23,29	22,73
PESO DEL AGUA	5,12	4,36	4,76	5,28	5,13	0,33	0,19	0,26	0,20	0,16
PESO DEL TARRO	21,27	21,28	21,17	20,71	24,86	22,03	21,54	21,13	22,01	21,75
PESO MUESTRA SECA	23,14	18,96	19,33	20,54	19,40	1,81	1,24	1,53	1,28	0,98
% DE HUMEDAD	22,1 %	23,0%	24,6%	25,7%	26,4 %	18,2%	15,3%	17,0%	15,6%	16,3%

LL= 25% LP= 16.50% IP= 8.50%



ENSAYO DE COMPACTACION											
ENSAYO		CANTERA A									
MOLDE											
VOLUMEN DEL MOLDE		2141 cm ³									
PESO DEL MOLDE SIN COLLARIN		6499,5									
Datos de la curva											
MUESTRA	1		2		3		4		5		
PESO SECO DESEADO PARA EL ENSAYO											
HUMEDAD AÑADIDA EN PORCENTAJE											
AGUA AUMENTADA EN CC											
NUMERO DE MOLDE											
PESO MOLDE CILINDRO + SUELO HUMEDO											
PESO CILINDRO SIN COLLARIN											
PESO SUELO HUMEDO											
DENSIDAD HUMEDA											
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA											
DENSIDAD SECA											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
MUESTRAS PARA PROMEDIAR		1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO		C1	C2	S2	15	J0	J2	8	9	12	19
PESO DEL TARRO MAS SUELO HUMEDO		159,7	161,44	99,85	142,66	92,25	106,98	99,78	94,53	115,4	129,61
PESO DEL TARRO MAS SUELO SECO		151,36	153,89	96,8	137,49	87,27	101,54	96,15	91,27	106,7	118,02
PESO DEL AGUA		8,34	7,55	3,05	5,17	4,98	5,44	3,63	3,26	8,7	11,59
PESO DEL TARRO		62,58	65,8	52,96	64,65	43,26	54,33	28,95	29,06	29,24	28,93
PESO DEL SUELO SECO		88,78	88,09	43,84	72,84	44,01	47,21	67,2	62,21	77,46	89,09
CONTENIDO DE AGUA EN %		9,39	8,57	6,96	7,1	11,32	11,52	5,4	5,24	11,23	13,01
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA		8,98		7,03		11,42		5,32		12,12	
DENSIDAD SECA		2059,96		2030,53		1945,709926		2000,09		1973,97	

UNIVERSIDAD CATOLICA DDE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

SECTOR	El <u>Decanso</u>	MATERIAL	<u>CANTERA A</u>
CALLE	_____	FECHA	_____
MUESTRA N°	_____	TIPO DE MUESTRA	<u>SUBBASE</u>
PROFUNDIDAD	_____	CLASIFICACIÓN	_____
YACIMIENTO	_____	SOBRECARGA	_____

ENSAYO DE C.B.R.

MOLDE N°					F25 56	
NÚMERO DE CAPAS						
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56		25		12	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUE S DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJ O	DESPUE S DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJ O	DESPUE S DEL REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	11324	11451,5	12275,5	12449,5	11025,5	11247
PESO DEL MOLDE	6017,5	6017,5	7303	7303	6251	6251
PESO MUESTRA HUMEDA	5306,5	5434	4972,5	5146,5	4774,5	4996
VOLUMEN DE LA M,UESTRA	2304,52	2304,52	2442,99	2442,99	2304,52	2304,52
DENSIDAD HUMEDA	2303	2358	2035	2107	2072	2168
DENSIDAD SECA	2105	2123	1866	1904	1893	1919

CONTENIDO DE AGUA (antes del remojo)

TARRO N°	20	4	5J	14	8	S2
PESO MUESTRA HUMEDA +TARRO	97,2	106,7	95,09	110,09	86,52	94,44
PESO MUESTRA SECA + TARRO	92,2	101,74	90,33	105,82	82,97	90,76
PESO DEL AGUA						
PESO DEL TARRO	43,04	44,12	43,21	52,7	43,98	52,96
PESO MUESTRA SECA						
CONTENIDO DE HUMEDAD %	10,17%	8,61%	10,10%	8,04%	9,10%	9,74%
PROM. CONTENIDO DE HUMEDAD %	9,39%		9,07%		9,42%	

CONTENIDO DE AGUA (después del remojo)

TARRO N°	20	4	0	1	86	5
PESO MUESTRA HUMEDA +TARRO	99,9	92,5	123,42	106,47	126,09	162,43
PESO MUESTRA SECA + TARRO	94,43	87,52	116,66	100,44	116,89	151,28
PESO DEL AGUA						
PESO DEL TARRO	43,04	44,12	52,65	44,36	43,98	67,46
PESO MUESTRA SECA						
CONTENIDO DE HUMEDAD %	10,64%	11,47%	10,56%	10,75%	12,62%	13,30%
PROM. CONTENIDO DE HUMEDAD %	11,06%		10,66%		12,96%	

PENETRACIÓN		MOLDE Nº 56			
PULGADAS	CARGA	PRESIONES	PRESIONES	PRESIONES	VALORES
			CORREGIDAS	ESTÁNDAR	
	libras	lbs/pulg2	lbs/pulg2	lbs/pulg2	C.B.R.
0	0	0			
25	81	155,66			
50	180	337,91			
75	298	555,14			
100	388	720,83	720,83	1000	72,083
150	588	1089,02			
200	777	1436,95	1436,95	1500	95,7966667
250	950	1755,43			
300	1148	2119,94	2119,94	1900	111,575789
400	1345	2482,6			
500	1570	2896,81			
PENETRACIÓN		MOLDE Nº 25			
PULGADAS	CARGA	PRESIONES	PRESIONES	PRESIONES	VALORES
			CORREGIDAS	ESTÁNDAR	
	libras	lbs/pulg2	lbs/pulg2	lbs/pulg2	C.B.R.
0	0	0			
25	59	115,16			
50	120	227,46			
75	177	332,39			
100	226	422,6	422,6	1000	42,26
150	328	610,37			
200	414	768,69	768,69	1500	51,246
250	493	914,13			
300	565	1046,67	1046,67	1900	55,0878947
400	707	1308,09			
500	832	1538,2			
PENETRACIÓN		MOLDE Nº 12			
PULGADAS	CARGA	PRESIONES	PRESIONES	PRESIONES	VALORES
			CORREGIDAS	ESTÁNDAR	
	libras	lbs/pulg2	lbs/pulg2	lbs/pulg2	C.B.R.
0	0				0
25	30,4773226				30,4773226
50	63,6141613				63,6141613
75	117,00129				117,00129
100	146,456258	146,456258	1000	14,6456258	146,456258
150	216,411806				216,411806
200	280,844548	280,844548	1500	18,7229699	280,844548
250	341,595419				341,595419
300	396,823484	396,823484	1900	20,8854465	396,823484
400	496,234				496,234
500	575,394226				575,394226

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO

PROYECTO

TESIS

MUESTRA

CANTERA B

SOLICITADO POR :

FECHA

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0,0%	100,0%	
2 1/2"	63,5	0	0	0,0%	100,0%	
2"	50,8	0	0	0,0%	100,0%	
1 1/2"	38,1	268,5	268,5	2,1%	97,9%	
1"	25,4	1105,5	1374	10,8%	89,2%	
3/4"	19,1	1312,5	2686,5	21,1%	78,9%	
1/2"	12,7	1855	4541,5	35,7%	64,3%	
3/8"	9,52	917	5458,5	42,9%	57,1%	
Nº4	4,76	2034,5	7493	58,9%	41,1%	
PASA Nº4		5675,5	5224,74			
10	2	265,6	265,6	70,77%	29,23%	
40	0,42	281,8	547,4	83,35%	16,65%	
200	0,074	220,5	767,9	93,19%	6,81%	
FONDO		7,7				
TOTAL			12717,74			

PESO ANTES DEL ENSAYO

PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO

=

16951

=

1000

PESO DESPUES DEL ENSAYO

PESO SECO ANTES DEL LAVADO

=

13168,5

=

920,58

% DE HUMEDD

=

8,63

PESO SECO DESPUES DEL LAVADO

=

774,5



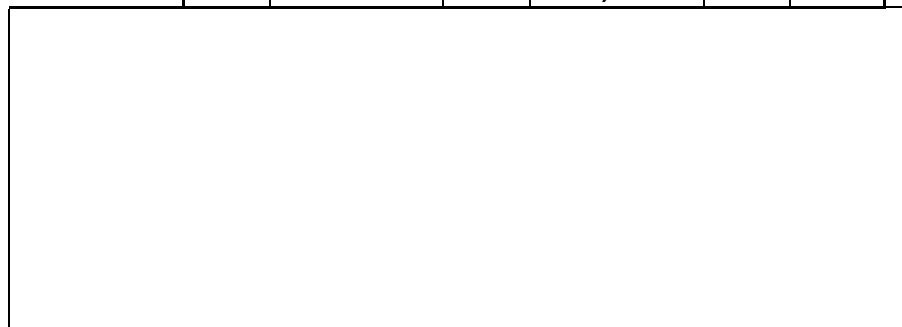
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO TESIS
MUESTRA SUBBASE CANTERA B
SOLICITADO _____
POR _____
FECHA _____

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO NO	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO				
	1	2	3	4	7	9	10	14	20	13
N. DE GOLPES	40	34	28	22	16					
M. HUMEDA + TARRO	38,36	43,82	43,17	43,46	48,14	24,62	23,95	23,02	23,76	24,26
M. SECA + TARRO	34,62	38,88	38,23	38,17	42,59	24,21	23,56	22,72	23,48	23,86
PESO DEL AGUA	3,74	4,94	4,94	5,29	5,55	0,41	0,39	0,30	0,28	0,40
PESO DEL TARRO	21,27	21,28	21,17	20,71	24,86	22,03	21,54	21,13	22,01	21,75
PESO MUESTRA SECA	13,35	17,60	17,06	17,46	17,73	2,18	2,02	1,59	1,47	2,11
% DE HUMEDAD	28,01	28,07	28,96	30,30	31,30	18,81	19,31	18,87	19,05	18,96
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
			LL=	29%		LP=	19,00%		IP=	10,00%



UNIVERSIDAD CATOLICA DDE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

SECTOR	El Decanso	MATERIAL	CANTERA B
CALLE	-	FECHA	
MUESTRA N°	2	TIPO DE MUESTRA	SUBBASE
PROFUNDIDAD	-	CLASIFICACIÓN	-
YACIMIENTO		SOBRECARGA	-

COMPACTACION

DATOS DE LA CURVA					
MUESTRA	1	2	3	4	5
PESO SECO DESEADO PARA EL ENSAYO					
HUMEDAD AÑADIDA EN PORCENTAJE	14,28	11,28	17,28	20,28	23,28
AGUA AUMENTADA EN CC	240	160	320	400	480
NUMERO DE MOLDE					
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	11105	10889,5	11225	11171,5	11148,5
PESO MOLDE SIN COLLARIN	6499,5	6499,5	6499,5	6499,5	6499,5
PESO SUELO HUMEDO	4605,5	4390	4725,5	4672	4649
DENSIDAD HUMEDA	2151,1	2050,44	2207,15	2182,16	2171,42
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA	8,555	6,735	10,215	13,37	11,965
DENSIDAD SECA	1974,75	1921,06	2002,59	1924,81	1939,37

CONTENIDO DE HUMEDAD										
MUESTRAS PARA PROMEDIAR	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	Ts1	17	5	0	k1	86	14	8	tg2	tg1
PESO DEL TARRO MAS SUELO HUMEDO	142,42	158	144,51	154,52	112,9	90,95	94,88	97,45	117,35	117,97
PESO DEL TARRO MAS SUELO SECO	136,18	151,16	139,96	148,73	107,37	86,53	88,94	90,91	110,41	110,99
PESO DEL AGUA	6,24	6,84	4,55	5,79	5,53	4,42	5,94	6,54	6,94	6,98
PESO DEL TARRO	66,27	67,52	67,48	68,24	52,28	44	43,35	43,21	52,32	52,71
PESO DEL SUELO SECO	69,91	83,64	72,48	80,49	55,09	42,53	45,59	47,7	58,09	58,28
CONTENIDO DE AGUA EN %	8,93	8,18	6,28	7,19	10,04	10,39	13,03	13,71	11,95	11,98
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA	8,555		6,735		10,215		13,37		11,965	
DENSIDAD SECA	1974,75		1921,06		2002,59		1924,81		1939,37	

UNIVERSIDAD CATOLICA DDE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

SECTOR	El Decanso	MATERIAL	CANTERA B
CALLE	-	FECHA	
MUESTRA N°	2	TIPO DE MUESTRA	SUBBASE
PROFUNDIDAD	-	CLASIFICACIÓN	-
YACIMIENTO		SOBRECARGA	-

ENSAYO DE C.B.R.

MOLDE N°	12 b25	9 rojo	6
NÚMERO DE CAPAS			
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56	25	10
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	10961,5	11277	12044
PESO DEL MOLDE	6049,5	6049,5	7253
PESO MUESTRA HUMEDA	4912	5227,5	4791
VOLUMEN DE LA M,UESTRA	2304,52	2304,52	2328,78
DENSIDAD HUMEDA	2131	2268	2057
DENSIDAD SECA	1944	1942	1861

CONTENIDO DE AGUA (antes del remojo)

TARRO N°	TG1	TG2	TO	G.3	O26	S.1
PESO MUESTRA HUMEDA +TARRO	103,82	100,13	100,42	84,94	115,89	102,38
PESO MUESTRA SECA + TARRO	99,31	95,93	94,97	80,98	110,36	98,14
PESO DEL AGUA	4,51	4,2	5,45	3,96	5,53	4,24
PESO DEL TARRO	52,7	52,31	43,81	43,23	52,72	53,06
PESO MUESTRA SECA	46,61	43,62	51,16	37,75	57,64	45,08
CONTENIDO DE HUMEDAD %	9,68%	9,63%	10,65%	10,49%	9,59%	9,41%
PROM. CONTENIDO DE HUMEDAD %	9,65%		10,57%		9,50%	

CONTENIDO DE AGUA (después del remojo)

TARRO N°	TG1	TG2	TO	G.3	O26	S.1
PESO MUESTRA HUMEDA +TARRO	132,4	139,3	108,8	122,4	151,4	121,7
PESO MUESTRA SECA + TARRO	120,72	126,99	101,53	112,68	140,59	114,86
PESO DEL AGUA						
PESO DEL TARRO	52,7	52,31	43,81	43,23	52,72	53,06
PESO MUESTRA SECA						
CONTENIDO DE HUMEDAD %	17,17%	16,48%	12,60%	14,00%	12,30%	11,07%
PROM. CONTENIDO DE HUMEDAD %	16,83%		13,30%		11,69%	

PENETRACIÓN		MOLDE Nº 56			
PULGADAS	CARGA	PRESIONES	PRESIONES	PRESIONES	VALORES
			CORREGIDAS	ESTÁNDAR	
	libras	lbs/pulg2	lbs/pulg2	lbs/pulg2	C.B.R.
0	0	0			
25	104	198			
50	230	429,96			
75	350	650,87			
100	455	844,17	844,17	1000	84,417
150	642	1188,43			
200	795	1470,09	1470,09	1500	98,006
250	944	1744,39			
300	1067	1970,82	1970,82	1900	103,727368
400	1395	2574,65			
500	1496	2760,58			
PENETRACIÓN		MOLDE Nº 25			
PULGADAS	CARGA	PRESIONES	PRESIONES	PRESIONES	VALORES
			CORREGIDAS	ESTÁNDAR	
	libras	lbs/pulg2	lbs/pulg2	lbs/pulg2	C.B.R.
0	0	0			
25	55	107,8			
50	136	256,91			
75	205	383,94			
100	265	494,39	494,39	1000	49,439
150	354	658,24			
200	427	792,62	792,62	1500	52,8413333
250	495	917,81			
300	564	1044,83	1044,83	1900	54,9910526
400	687	1271,27			
500	808	1494,02			
PENETRACIÓN		MOLDE Nº 12			
PULGADAS	CARGA	PRESIONES	PRESIONES	PRESIONES	VALORES
			CORREGIDAS	ESTÁNDAR	
	libras	lbs/pulg2	lbs/pulg2	lbs/pulg2	C.B.R.
0	0	0			
25	10	24,95451613			
50	19	41,52293548			
75	26	54,40948387			
100	34	69,13696774	69,13696774	1000	6,91369677
150	52	102,2738065			
200	69	133,5697097	133,5697097	1500	8,90464731
250	88	168,5474839			
300	105	199,8433871	199,8433871	1900	10,518073
400	142	267,958			
500	184	345,2772903			

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO

PROYECTO TESIS
 MUESTRA SUBBASE CANTERA C
 SOLICITADO POR : _____
 FECHA _____

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0,0%	100,0%	
2 1/2"	63,5	0	0	0,0%	100,0%	
2"	50,8	0	0	0,0%	100,0%	
1 1/2"	38,1	459,5	459,5	4,9%	95,1%	
1"	25,4	568,5	1028	10,9%	89,1%	
3/4"	19,1	779,5	1807,5	19,1%	80,9%	
1/2"	12,7	1170	2977,5	31,5%	68,5%	
3/8"	9,52	584	3561,5	37,6%	62,4%	
Nº4	4,76	806	4367,5	46,2%	53,8%	
PASA No4		5266,5	5095,08			
10	2	380	380	67,30%	32,70%	
40	0,42	306,8	686,8	84,38%	15,62%	
200	0,074	142,4	829,2	92,31%	7,69%	
FONDO		14,2				
TOTAL			9462,58			

PESO ANTES DEL ENSAYO PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO
 = 16951 = 1000
 PESO DESPUES DEL ENSAYO PESO SECO ANTES DEL LAVADO
 = 9634 = 967,45
 % DE HUMEDD PESO SECO DESPUES DEL LAVADO
 = 3,36 = C

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO TESIS
MUESTRA SUBBASE CANTERA C
SOLICITADO POR
FECHA

LÍMITES DE ATERBERG

	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLASTICO				
	11	20	9	32	8	303	63	56	209	7
TARRO NO	11	20	9	32	8	303	63	56	209	7
N. DE GOLPES	40	35	28	22	16					
M. HUMEDA + TARRO	43,00	43,90	43,70	48,60	49,70	16,27	14,37	14,00	13,43	16,39
M. SECA + TARRO	38,52	39,42	39,19	42,68	43,50	16,00	14,06	13,71	13,12	16,06
PESO DEL AGUA	4,48	4,48	4,51	5,92	6,20	0,27	0,31	0,29	0,31	0,33
PESO DEL TARRO	20,80	22,00	22,00	21,10	21,00	14,67	12,46	12,15	11,41	14,45
PESO MUESTRA SECA	17,72	17,42	17,19	21,58	22,50	1,33	1,60	1,56	1,71	1,61
% DE HUMEDAD	25,28 %	25,72 %	26,24 %	27,43 %	27,56 %	20,30 %	19,37 %	18,59 %	18,13 %	20,50 %
			LL=	26%		LP=	19,38 %		IP=	6,62%

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO TESIS
MUESTRA SUBBASE CANTERA C
SOLICITADO POR
FECHA

COMPACTACIÓN

Datos de la curva					
MUESTRA	1	2	3	4	5
PESO SECO DESEADO PARA EL ENSAYO					
HUMEDAD AÑADIDA EN PORCENTAJE	13,42	10,42	16,42	7,42	19,42
AGUA AUMENTADA EN CC	315	210	420	105	525
NUMERO DE MOLDE					
PESO MOLDE CILINDRO + SUELO HUMEDO	11415	11182	11320	10716,5	11276,5
P cilindro sin colla	6500,5	6500,5	6500,5	6500,5	6500,5
PESO SUELO HUMEDO	4914,5	4681,5	4819,5	4216	4776
DENSIDAD HUMEDA	2314,82	2205,07	2270,07	1985,81	2249,58
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA	8,625	7,44	10,645	4,45	12,435
DENSIDAD SECA	2138,204323	2052,373418	2051,669755	1901,206319	2000,782674

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS PARA PROMEDIAR	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	34	41	M1	K1	6	8	11	43	7	K2
PESO DEL TARRO MAS SUELO HUMEDO	77,25	107,16	104,29	102,84	130,41	140,83	172,65	187,29	138,13	120,14
PESO DEL TARRO MAS SUELO SECO	74,71	103,68	100,61	98,96	122,27	132,15	168,05	182,28	128,63	111,7
PESO DEL AGUA	2,54	3,48	3,68	3,88	8,14	8,68	4,6	5,01	9,5	8,44
PESO DEL TARRO	43,96	64,99	54,33	42,98	43,78	52,67	68,16	65,61	52,9	43,26
PESO DEL SUELO SECO	30,75	38,69	46,28	55,98	78,49	79,48	99,89	116,67	75,73	68,44
CONTENIDO DE AGUA EN %	8,26	8,99	7,95	6,93	10,37	10,92	4,61	4,29	12,54	12,33
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA	8,625		7,44		10,645		4,45		12,435	
DENSIDAD SECA	2138,204323		2052,373418		2051,669755		1901,206319		2000,782674	

UNIVERSIDAD CATOLICA DDE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

SECTOR	Ei Decanso	MATERIAL	CANTERA C
CALLE	_____	FECHA	_____
MUESTRA N°	_____	TIPO DE MUESTRA	SUBBASE
PROFUNDIDAD	_____	CLASIFICACIÓN	_____
YACIMIENTO	_____	SOBRECARGA	_____

ENSAYO DE C.B.R.

MOLDE N°	2		B25		22t	
NÚMERO DE CAPAS						
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	11220,5	11340,5	11417	11566,5	10907	11122
PESO DEL MOLDE	6026	6026	6403	6403	6059	6059
PESO MUESTRA HUMEDA	5194,5	5314,5	5014	5163,5	4848	5063
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2309,06	2309,06	2258,11	2258,11	2314,23	2314,23
DENSIDAD HUMEDA	2250	2302	2220	2287	2095	2188
DENSIDAD SECA	2087	2101	2069	2048	1921	1957

CONTENIDO DE AGUA (antes del remojo)

TARRO N°	5	11	1	k2	5	41
PESO MUESTRA HUMEDA +TARRO	146,92	152,11	108,57	129,84	121,72	156,56
PESO MUESTRA SECA + TARRO	141,23	145,91	103,74	125,15	116,18	148,79
PESO DEL AGUA	5,69	6,2	4,83	4,69	5,54	7,77
PESO DEL TARRO	67,49	66,78	44,37	52,73	53,06	64,99
PESO MUESTRA SECA	73,74	79,13	59,37	72,42	63,12	83,8
CONTENIDO DE HUMEDAD %	7,72%	7,84%	8,14%	6,48%	8,78%	9,27%
PROM. CONTENIDO DE HUMEDAD %	7,78%		7,31%		9,02%	

CONTENIDO DE AGUA (después del remojo)

TARRO N°	5	9	8	F3	0	17
PESO MUESTRA HUMEDA +TARRO	147,49	149,93	88,6	92,11	215,98	218,8
PESO MUESTRA SECA + TARRO	140,33	142,91	83,91	87,05	200,23	203,03
PESO DEL AGUA	7,16	7,02	4,69	5,06	15,75	15,77
PESO DEL TARRO	67,48	67,17	43,99	43,21	68,23	67,52
PESO MUESTRA SECA	72,85	75,74	39,92	43,84	132,00	135,51
CONTENIDO DE HUMEDAD %	9,83%	9,27%	11,75%	11,54%	11,93%	11,64%
PROM. CONTENIDO DE HUMEDAD %	9,55%		11,65%		11,78%	

PENETRACIÓN PULGADAS	MOLDE Nº 56				
	CARGA	PRESIONES	PRESIONES CORREGIDAS	PRESIONES ESTÁNDAR	VALORES
	libras	lbs/pulg2	lbs/pulg2	lbs/pulg2	C.B.R.
0	0	0			
25	71	137,25			
50	142	267,96			
75	225	420,76			
100	295	549,62	549,62	1000	54,96
150	440	816,56			
200	583	1079,81	1079,81	1500	71,99
250	714	1320,97			
300	835	1543,73	1543,73	1900	81,25
400	1058	1954,25			
500	1364	2517,58			

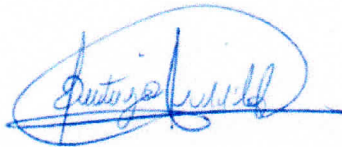
PENETRACIÓN PULGADAS	MOLDE Nº 25				
	CARGA	PRESIONES	PRESIONES CORREGIDAS	PRESIONES ESTÁNDAR	VALORES
	libras	lbs/pulg2	lbs/pulg2	lbs/pulg2	C.B.R.
0	0	0			
25	69	133,57			
50	153	288,21			
75	232	433,64			
100	297	553,3	553,3	1000	55,33
150	417	774,22			
200	523	969,35	969,35	1500	64,62
250	625	1157,13			
300	716	1324,65	1324,65	1900	69,72
400	883	1632,09			
500	1025	1893,5			

PENETRACIÓN PULGADAS	MOLDE Nº 12				
	CARGA	PRESIONES	PRESIONES CORREGIDAS	PRESIONES ESTÁNDAR	VALORES
	libras	lbs/pulg2	lbs/pulg2	lbs/pulg2	C.B.R.
0	0	0			
25	46	91,22819355			
50	94	179,5930968			
75	126	238,5030323			
100	154	290,0492258	290,0492258	1000	29
150	198	371,0503871			
200	235	439,165	439,165	1500	29,28
250	266	496,234			
300	296	551,4620645	551,4620645	1900	29,02
400	347	645,3497742			
500	396	735,5556129			

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Santiago Andrés Guerrero Lima** portador de la cédula de ciudadanía N° 1104134026 y **Juan Pablo Suconota Chimbo** portador de la cédula de ciudadanía N° 0106624828. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Análisis de alternativas de diseño de un pavimento flexible adicionando emulsión asfáltica a subbases utilizadas en la ciudad de Cuenca”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de septiembre de 2020



F:
Santiago Andrés Guerrero Lima
1104134026



F:
Juan Pablo Suconota Chimbo
0106624828