



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE TRES NIVELES (4%, 5% Y 6%) DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Mayra Johana Ugaz Garay

Asesor:

Ing. Alejandro Cubas Becerra

Cajamarca - Perú

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la fortaleza necesaria para
poder cumplir hoy uno de mis mayores sueños.

A mi madre por ser mi compañera y apoyo
incondicional en cada etapa de mi vida.

A los docentes por su dedicación, tiempo y
enseñanzas durante la etapa universitaria, sin ellos el
llegar a este punto no hubiera sido posible.

AGRADECIMIENTO

Doy las gracias a Dios por haberme dado fortaleza y constancia para lograr cada una de mis metas.

A mi madre por ser mi guía y consejera, sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible. Para ella mi eterna gratitud.

A mi padrino por su preocupación y apoyo para el logro de esta meta. A mi madrina y a mi tía Flor por sus consejos, enseñanzas y apoyo incondicional a pesar de la distancia.

A mi familia y amigos por la confianza y apoyo brindado durante esta etapa.

A mi asesor por su orientación y enseñanza durante todo el proceso de investigación.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema	38
1.3. Objetivos	38
1.3.1. Objetivo general.....	38
1.3.2. Objetivos específicos	38
1.4. Hipótesis.....	38
1.4.1. Hipótesis general.....	38
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	39
2.1. Tipo de investigación	39
2.2. Materiales, instrumentos y métodos.....	39
2.3. Procedimiento.....	43
2.3.1. Ubicación de la cantera “El Gavilán”	44
2.3.2. Adquisición del material para afirmado.....	44
2.3.3. Adquisición de la emulsión asfáltica	45
2.3.4. Ensayos	46
2.3.5. Análisis granulométrico	46
2.3.6. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.....	50
2.3.7. Abrasión Los Ángeles	50
2.3.8. Compactación del suelo en laboratorio usando la energía modificada.....	51
2.3.9. CBR de suelos.....	51
CAPÍTULO III. RESULTADOS	52
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	53
4.1. Discusión.....	53
4.1.1. Compactación del suelo en laboratorio usando la energía modificada.....	53
4.1.2. California Bearing Ratio (CBR)	54
4.2. Conclusiones	56

REFERENCIAS	58
ANEXOS	60
Anexo N° 01. Ensayo granulométrico del afirmado de la cantera “El Gavilán”	60
Anexo N° 02. Ensayo granulométrico arena gruesa de la cantera “El Gavilán”	61
Anexo N° 03. Ensayo granulométrico del material para afirmado combinado de la cantera “El Gavilán” (huso granulométrico C).....	62
Anexo N° 04. Ensayo de límites de Atterberg	63
Anexo N° 05. Ensayo de Abrasión Los Ángeles	64
Anexo N° 06. Ensayo de compactación usando la energía modificada del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”	65
Anexo N° 07. Ensayo de CBR del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”	66
Anexo N° 08. Ensayo de compactación usando la energía modificada del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” + 4% de emulsión asfáltica	69
Anexo N° 09. Ensayo de CBR del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” + 4% de emulsión asfáltica	70
Anexo N° 10. Ensayo de compactación usando la energía modificada del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” + 5% de emulsión asfáltica	73
Anexo N° 11. Ensayo de CBR del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” + 5% de emulsión asfáltica	74
Anexo N° 12. Ensayo de compactación usando la energía modificada del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” + 6% de emulsión asfáltica	77
Anexo N° 13. Ensayo de CBR del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” + 6% de emulsión asfáltica	78
Anexo N° 14. Panel Fotográfico	81
Anexo N° 15. Ficha de Seguridad Emulsión Asfáltica	87
Anexo N° 16. Ficha de Control de Calidad Emulsión Asfáltica.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Prefijos y Sufijos Según la Composición del Suelo	17
Tabla 2. Clasificación de Suelos (SUCS).....	17
Tabla 3. Clasificación de Suelos AASHTO	19
Tabla 4. Ensayos para Material de Afirmado	23
Tabla 5. Nomenclatura para Emulsión Asfáltica.....	32
Tabla 6. Recolección de datos material sin estabilizar	40
Tabla 7. Recolección de datos material estabilizado	41
Tabla 8. Coordenadas de la ubicación de la cantera “El Gavilán”	44
Tabla 9. Combinación de agregados por el método de tanteo	47
Tabla 10. Resultados propiedades físicas material para afirmado.....	52
Tabla 11. Resultados Proctor Modificado y CBR del material para afirmado.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Método gráfico de combinación de agregados.	22
Figura 2: Diagrama de una Emulsión.....	26
Figura 3: Esquema de Emulsiones Directas O/W e Inversas W/O	27
Figura 4: Esquema de Emulsiones Múltiples W/O/W o O/W/O	27
Figura 5: Composición del Asfalto	29
Figura 6: Molécula de Emulsionante	30
Figura 7: Tipo de Emulsión según su Carga Eléctrica	30
Figura 8: Proceso de Rotura de Emulsión.....	31
Figura 9: Georreferenciación de la cantera El Gavilán	44
Figura 10: Adquisición del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”	45
Figura 11: Método gráfico de combinación de agregados.	48
Figura 12: Cuarteo del material.....	49
Figura 13: Tamizado del material.	49
Figura 14: Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.	50
Figura 15: Ensayo de Abrasión Los Ángeles	50
Figura 16: Compactación del suelo usando la energía modificada.	51
Figura 17: Ensayo de penetración.	51
Figura 18: Resultados máxima densidad seca.....	54
Figura 19: Resultados óptimo contenido de humedad.	54
Figura 20: Resultados CBR (100% Ds Máx).....	55
Figura 21: Cuarteo del material para ensayo granulométrico.	81
Figura 22: Lavado de material para ensayo granulométrico.	82
Figura 23: Preparación del material para ensayo de compactación.	83
Figura 24: Ensayo de compactación.....	84
Figura 25: Extracción de muestras del material compactado en molde.	85
Figura 26: Ensayo de CBR.....	86

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5% y 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado. Para el desarrollo de la presente investigación se obtuvieron muestras de material para afirmado de la cantera “El Gavilán” con el fin de determinar sus propiedades físicas y mecánicas a través de ensayos de laboratorio. Los ensayos realizados fueron: granulometría, límites de Atterberg, abrasión “Los Ángeles”, proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR). Al finalizar la investigación se obtuvo un valor de 43.36% de desgaste en el ensayo de abrasión “Los Ángeles” y un valor de CBR al 0.1” del 83% para la muestra patrón. Para las muestras con adiciones de 4%, 5% y 6% de emulsión asfáltica los resultados del CBR al 0.1” fueron de 113%, 142% y 199% respectivamente, presentando así un incremento en el porcentaje de CBR de más del 30%; con lo que se puede concluir que el material utilizado cumple con los requisitos mínimos que exigen las normas técnicas y que la adición de emulsión asfáltica bajo condiciones iguales o similares a la presente investigación aumenta el valor de CBR de dicho material.

Palabras clave: Estabilización, afirmado, emulsión asfáltica, resistencia mecánica.

ABSTRACT

The main objective of this test was to determine the influence of the modification of three levels (4%, 5% and 6%) of asphalt emulsion on the mechanical strength of a material for affirmation. For the development of the present investigation, samples of material for affirmation of the quarry “El Gavilán” will be obtained to determine its physical and mechanical properties through laboratory tests. The tests carried out were: granulometry, Atterberg limits, abrasion "Los Angeles", modified proctor and California Bearing Ratio (CBR). At the end of the investigation, obtain a 43.36% wear value in the “Los Angeles” abrasion test and a 0.1% CBR value of 83% for the standard sample. For samples with additions of 4%, 5% and 6% of asphalt emulsion the results of the CBR at 0.1” were 113%, 142% and 199% respectively, thus presenting an increase in the percentage of CBR of more than 30%; It can be concluded that the material used complies with the specific requirements required by the technical standards and the additional asphalt emulsion under the same or similar conditions to the present investigation increases the CBR value of said material.

Keywords: Stabilization, affirmed, asphalt emulsion, mechanical resistance.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Rozas y Sánchez (2004) afirman que, especialmente en el área rural, la longitud vial en dichos lugares forma la mayor parte de la red terciaria o las denominadas vías de bajo volumen de tránsito. El enfoque de las entidades públicas y los gobiernos de cada país debe estar dirigido hacia el desarrollo, crecimiento, mejoramiento y rehabilitación de dichas vías.

En el año 2005, PROVIAS NACIONAL informó que debido a factores climáticos y topográficos las vías que se encuentran afirmadas o en su defecto se mantienen como trochas necesitan un mantenimiento constante debido al desgaste que presentan en un corto periodo de tiempo. Por lo que se consideró efectuar diversos estudios de ingeniería para la evaluación de pavimentos económicos de carreteras de bajo tráfico de la red vial nacional - proyecto piloto carretera Patahuasi - Yauri – Sicuani, tramo Yauri – San Genaro L=11.36 Km, buscando así la promoción del uso de diversos materiales y tecnologías que contribuyan al mejoramiento de las condiciones estructurales de los suelos de la red vial. Dentro de las alternativas de este proyecto se consideró el uso de emulsión asfáltica como estabilizante.

El deterioro sistemático del afirmado colocado en las carreteras de bajo tránsito ocasionado por la erosión producto de las lluvias e intemperismo genera sobrecostos por mantenimiento que podrían ser solucionados utilizando métodos y materiales de construcción que aporten mayor resistencia e impermeabilicen la superficie. El mantenimiento de dichas vías es una difícil tarea para los organismos a cargo de estas, debido a que las alternativas ofrecidas en el medio son escasas, y por lo general se

termina aplicando la misma solución en gran parte de las ocasiones (González, Jiménez y López 2007).

Chávarro y Molina (2015) indican que actualmente el mantenimiento que reciben los caminos, por parte de las alcaldías y gobiernos regionales de nuestra región, no es el más adecuado, tanto desde el punto de vista técnico como económico lo que se ha convertido en un factor para el retraso del desarrollo económico de los pueblos que estas conectan, debido a que muchas veces la superficie impide una transitabilidad adecuada de los vehículos, ocasionando un volumen de tráfico menor a lo que podría obtenerse de tener una vía en mejores condiciones.

En el diseño de afirmados es necesario que el material con el que se diseña cuente con un porcentaje óptimo de CBR ya que esto contribuye a que la capa de afirmado pueda ser más resistente al desgaste y disminuir el espesor de esta. Es por ello por lo que, en la búsqueda de nuevas alternativas, la estabilización con emulsiones asfálticas sea considerada una solución efectiva.

La presente investigación se basa en el aporte físico-mecánico de la emulsión asfáltica al ser utilizada en la estabilización del material para afirmado de una cantera específica de la ciudad de Cajamarca, denominada “El Gavilán”.

Antecedentes

Jiménez, González y López (2007) investigaron la aplicación de nuevas metodologías de tratamiento de estabilización de bases con emulsión asfáltica. Para esta investigación se fabricaron series de seis (6) probetas de mezcla Suelo-Emulsión con los siguientes porcentajes de emulsión asfáltica 5%, 7%,10%, 12% y 15% y para la mezcla Grava-Emulsión se fabricaron series de seis probetas con variaciones de 2%, 3%, 4% ,5% y 6% en porcentaje de emulsión asfáltica.

Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas del agregado a través de ensayos de laboratorio como: análisis granulométrico, límites de consistencia, gravedad específica, prueba de proctor estándar, prueba de relación de soporte del suelo (CBR). Los resultados obtenidos fueron que las muestras de materiales empleados presentan un valor de CBR que oscila entre 40-80% que se encuentran dentro de las especificaciones contempladas para dicha investigación.

Los autores concluyen que esta técnica de estabilización presenta ventajas frente a otras técnicas ya que nos permite usar el suelo del lugar (siempre que los suelos cumplan con los requisitos establecidos en las especificaciones a utilizar), el uso de maquinaria y equipo convencional, etc.

De la Cruz (2010) evaluó el comportamiento estructural y estabilidad de un afirmado estabilizado con emulsión asfáltica. Se tomó una muestra para evaluar de la cantera ubicada en el km 222+200 de la carretera Cañete - Dv. Yauyos - Chupaca, la cual es una carretera de bajo volumen de tránsito.

Para la estabilización se hizo uso de la emulsión CSE - 1h (Emulsión catiónica Superestable de rotura lenta).

Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas a través de diversas pruebas: CBR, Estabilidad Marshall para distintos porcentajes de emulsión asfáltica, para establecer la afinidad y comportamiento mecánico de los materiales estabilizados además medir su mejoramiento de estabilidad ante el agua.

Los resultados proporcionaron que la mejor proporción de emulsión es de 4% con respecto al peso seco del material a estabilizar y que la emulsión mejora la estabilidad del suelo ante la presencia de agua.

El autor concluye que de la evaluación estructural del pavimento se observa bajos valores de CBR de la subrasante lo que se deduce que es un pavimento débil sobre una subrasante débil, lo cual no supone que sea una estructura no útil para el bajo tráfico que se presenta y que la emulsión no esté cumpliendo su función ya que se logró hacer la estabilización en presencia del agua.

Galván (2015) analiza el diseño de una mezcla asfáltica en frío con el empleo de material procedente del reciclado de pavimento y una emulsión asfáltica. El documento recoge los ensayos realizados durante el desarrollo de la investigación, los cuales contemplan la caracterización de la mezcla asfáltica y de cada uno de sus componentes. La mezcla asfáltica fue diseñada con la metodología Marshall.

Los resultados obtenidos cumplen ampliamente con los valores mínimos y máximos tomados como parámetros, como valor mínimo de estabilidad la cantidad de 227 Kg-f para mezclas en frío y el resultado obtenido del estudio es de 622.8 Kg-f con una pérdida de estabilidad de solo 5.9 %, lo cual indica que la pérdida de cohesión de la mezcla asfáltica por acción del agua es baja.

El autor concluye que la emulsión a emplear tiene que ser del tipo catiónica CSS-1h, de esta manera se logra evitar problemas de adherencia que puedan originarse en el momento de la mezcla, debido a la presencia de dos materiales de diferentes procedencias.

Bases teóricas

Definición y origen de los suelos

Al hablar de la definición y el origen de los suelos, Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2004) sostienen que:

En ingeniería un suelo se define como un material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos, producto de la desintegración mecánica o la descomposición química de rocas preexistentes, estas pueden acumularse o ser transportadas y depositadas en otros sitios. El suelo es usado en diversos proyectos de ingeniería y sirve como soporte para cimentaciones estructurales.

Los suelos se originan por la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas madres (sean estas ígneas, metamórficas o sedimentarias), que por el interperismo cambian su composición química y mineralógica, así como sus propiedades físicas y mecánicas, en el tiempo.

Entre los agentes físicos que provocan cambios en las rocas figuran la temperatura, el viento, el agua y los glaciales. Algunos agentes químicos principales, que podemos mencionar como causantes de cambios en las rocas son la oxidación, la carbonatación y la hidratación.

- **Suelos Residuales:** Es el producto del interperismo de las rocas que permanecen en el sitio donde se formó o son productos del ataque de los agentes de interperismo, pueden quedar en el lugar directamente sobre la roca de la cual se derivan.
- **Suelos Transportados:** Cuando los suelos son removidos del lugar de formación por los mismos agentes geológicos y re-depositados en otras zonas. Así se generan suelos que sobre yacen sobre otros estratos sin relación directa con ellos.

Existen en la naturaleza diferentes agentes de transporte, de los cuales pueden citarse como principales: los glaciales, el viento, los ríos y corrientes de aguas superficiales, los mares y las fuerzas de gravedad.

a) Tamaño de las Partículas

Por su tamaño los suelos se dividen en:

- **Gravas:** Son acumulaciones sueltas de fragmentos de roca que varían en su tamaño entre 2 mm. y 7.62 cm. de diámetro. Si estas son acarreadas por las aguas, tienen forma redondeada. Suele encontrarse en forma suelta en los lechos, en los márgenes y conos de deyección de los ríos, también en depresiones de terreno rellenados.
- **Arenas:** Están formadas por granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, sus partículas varían entre 0.05 mm y 2 mm de diámetro. El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. Las arenas estando limpias no sufren contracciones al secarse, no son plásticas y al aplicárseles carga se comprimen casi instantáneamente.
- **Limos:** Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, estos pueden ser inorgánicos como el producido en canteras, o limo orgánico como el que se encuentra en los ríos. El diámetro de las partículas varía entre 0.005 mm y 0.05 mm. Su color varía desde gris claro a muy oscuro, su permeabilidad es muy baja y la compresibilidad es muy alta en los limos orgánicos.

- **Arcillas:** Son partículas sólidas con diámetro menor a 0.005 mm y cuya masa se vuelve plástica al ser mezclada con agua, químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en pocas ocasiones contiene silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es cristalina y complicada, sus átomos están dispuestos en forma laminar.

Clasificación de los Suelos

La clasificación de los suelos puede realizarse de diversas maneras y podemos obtener distintas clasificaciones dependiendo del tamaño de las partículas, contenido de materiales limosos, arcillosos o propiedades como la plasticidad, etc. Los sistemas más conocidos de clasificación son: El sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**) según el American Association of State Highway Officials (**AASHTO**).

- **SUCS**

Según la Norma ASTM D 2487, dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En el siguiente esquema se muestran dichos símbolos y su significación:

Tabla 1
Prefijos y Sufijos Según la Composición del Suelo

Tipo de Suelo	Prefijo	Sub-Grupo	Sufijo
Grava	G	Bien Graduado	W
Arena	S	Pobremente Graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite Líquido Alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite Líquido Bajo (<50)	H

Fuente: ASTM D 2487, 2004

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo:

Tabla 2
Clasificación de Suelos (SUCS)

Símbolo	Características Generales		
GW	GRAVAS	Limpias	Bien Graduadas
GP	(>50% en	(Finos<5%)	Pobremente Graduadas
GM	tamiz #4	Con Finos	Componente Limoso
GC	ASTM)	(Finos>12%)	Componente Arcilloso
SW	ARENAS	Limpias	Bien Graduadas
SP	(<50% en	(Finos<5%)	Pobremente Graduadas
SM	tamiz #4	Con Finos	Componente Limoso
SC	ASTM)	(Finos>12%)	Componente Arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH	ORGÁNICOS	Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos Altamente Orgánicos	

Fuente: ASTM D 2487, 2004

- **AASHTO**

Inspirada en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos de suelos, numerados desde el A-1 hasta el A-7.

Los únicos ensayos necesarios para encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. Si queremos determinar su posición relativa dentro del grupo, es necesario introducir el concepto de índice de grupo (IG), expresado como un número entero con un valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz #200 ASTM:

$$\text{IG} = 0.2 \cdot a + 0.005 \cdot a \cdot c + 0.01 \cdot b \cdot d \quad \dots(1)$$

Donde:

“a” es el porcentaje en exceso sobre 35, de suelo que pasa por dicho tamiz, sin pasar de 75. Se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40.

“b” es el porcentaje en exceso sobre 15, de suelo que atraviesa el tamiz, sin superar un valor de 55. Ese un número entero que oscila entre 0 y 40.

“c” es el exceso de límite líquido (LL) sobre 40, y nunca superior a 60. Se expresa como un número entero comprendido entre 0 y 20.

“d” es el exceso de Índice de plasticidad (IP) sobre 10, nunca superior a 30. Es también un número entero positivo comprendido entre 0 y 20.

A continuación, se muestra la tabla de clasificación de suelos AASHTO:

Tabla 3
Clasificación de Suelos AASHTO

División General	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5	A-7-6
Análisis Granulométrico (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Estado de Consistencia (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite líquido				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad			NP									
Índice de Grupo		≤ 6		≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
Tipología		0	0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20		≤ 20
Calidad		Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos			Suelos arcillosos	
		Excelente a Buena					Aceptable a Mala					

Fuente: ASTM D 2487, 2004

Estabilización de Suelos

En el “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” del MTC se otorga un concepto general sobre la estabilización de suelos, el cual se refiere al mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y/o físico-químicos.

Se puede decir que la estabilización “Es el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento para corregir alguna deficiencia o alterar sus propiedades físicas o mecánicas, de modo que se incremente o mejore un suelo, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas dándole estabilidad en cualquier condición de tiempo y servicio” (Fratelli, 1993).

Existen diversos tipos de estabilización y podemos clasificarlos según Winterkorn y Hsai-Yang en:

- **Estabilización Física:** Comprende en buscar una buena granulometría usando materiales granulares o cohesivos.
- **Estabilización Mecánica:** Implica el tratamiento y la compactación de los suelos para su densificación.
- **Estabilización Química:** Encierra los cambios que se le dan a las propiedades del suelo mediante el uso de agentes cementantes, ligantes asfálticos o humectantes para lograr una adecuada estabilidad.

Combinación de Agregados

Se intenta la combinación de agregados para diversos fines, por ejemplo, para mejorar un agregado con uno de mejor calidad de modo que el agregado combinado resulte aceptable, o para corregir las deficiencias en la gradación que puedan tener.

Un problema que se presenta a menudo es el de determinar en qué proporción mezclar dos o más materiales para cumplir una cierta gradación que cumpla con los requisitos establecidos por las normas, para los tamices que especifica esta.

Existen varios métodos que se utilizan para combinar agregados de tal manera que cumplan con ciertas especificaciones y exigencias de acuerdo al tipo de uso que se le dará al material. Estos se encuentran enmarcados en forma general en dos grupos: métodos analíticos y métodos gráficos.

Podemos describir dos métodos para conseguir esto:

a) Método gráfico: En una gráfica, donde en la parte superior e inferior se marcan los porcentajes a usar de cada agregado y a la derecha e izquierda los porcentajes que pasan, como la que se mostrara en el ejemplo que viene a continuación, se marcan los rangos que delimita la norma para el porcentaje que pasa para cada tamiz.

- Se une por una línea el porcentaje que pasa del agregado “A”, a la izquierda del gráfico, con el porcentaje que pasa del agregado “B”, a la derecha, para los tamices correspondientes entre sí.
- Se marca la intersección de esta línea con sus límites superior e inferior, del rango correspondiente al tamiz. Se repite esto para todos los tamices.
- La marca con el límite inferior más a la derecha y la marca con el límite superior más a la izquierda, darán los valores para calcular las proporciones, en porcentaje, de cada agregado.

- Estas dos marcas se prolongan hasta la parte superior e inferior de la gráfica, obteniéndose dos valores, que se promedian, para obtener el porcentaje a usar de cada agregado, como se muestra en la figura a continuación:

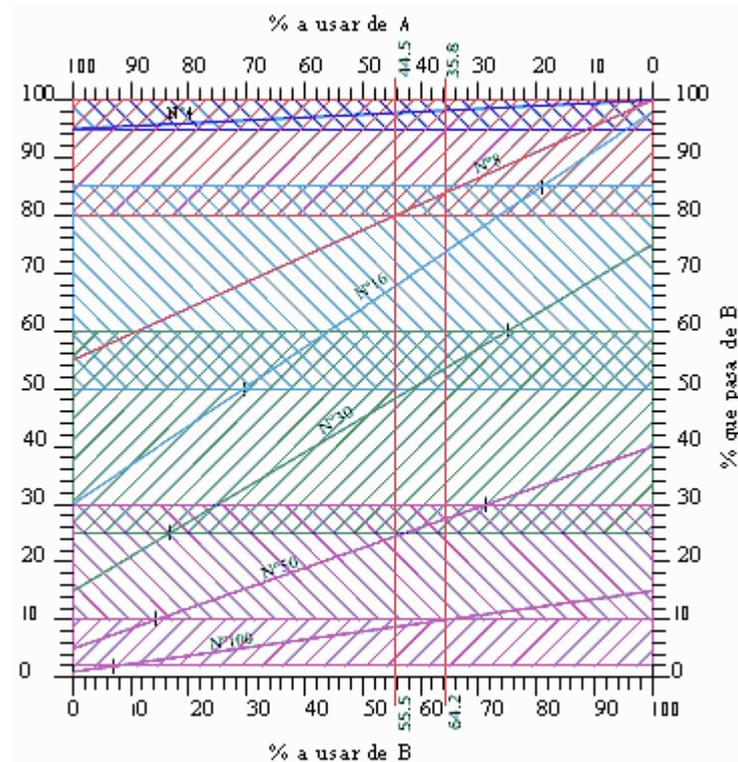


Figura 1: Método gráfico de combinación de agregados. García Guzmán, 2010.

- b) Método por tanteos:** Sin trazar la gráfica de los datos; en principio, podría considerarse una mezcla 50-50%, y ver si con esta relación se satisfacen los requisitos para todos los tamices, y a partir de este primer tanteo variar las proporciones hasta cumplir con todos los tamices. En la primera columna irá el porcentaje que pasa del agregado “A”, en la columna a continuación el porcentaje que pasa del agregado “B”. En las columnas siguientes se multiplicará el valor de cada porcentaje que pasa por el factor considerado en un inicio (50-50%) respectivamente. Por último ambos resultados se sumarán, estos valores deberán cumplir con los que se encuentren dentro de las especificaciones según el uso que se le dará al material.

Afirmado

El Afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito.

Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos, 2013).

Para la calidad de los materiales se realizarán los ensayos mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 4
Ensayos para Material de Afirmado

Material o producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia	Lugar de muestreo
Afirmado	Granulometría	MTC E 204	C 136	T27	1 cada 750 m ³	Cantera y pista
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T89	1 cada 750 m ³	Pista
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T96	1 cada 2.000 m ³	Cantera
	CBR	MTC E 132	D 1883	T193	1 cada 2.000 m ³	Cantera
	Densidad-Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 750 m ³	Pista
	Densidad-Humedad	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T191 T238	1 cada 250 m ³	Pista

Fuente: MTC, 2013

Suelos Estabilizados con Emulsión Asfáltica

La emulsión asfáltica catiónica utilizado para la estabilización de la vía, proviene de la composición de tres elementos básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante (tenso activo); la emulsión asfáltica puede ser modificada con polímeros o contener otros aditivos, dependiendo de la formulación del fabricante. El asfalto es el componente base de la emulsión y constituye entre un 60 y 75%. El poder cementante del asfalto como componente de la emulsión conlleva a que fije a los agregados en posiciones adecuadas para transmitir las cargas aplicadas a las capas inferiores.

La respuesta y duración de la estabilización suelo-emulsión estará sujeta a los siguientes factores:

- Dureza, gradación del suelo y tipo y calidad de emulsión.
- Afinidad del suelo con la emulsión.
- Calidad del drenaje existente.
- Calidad de la ejecución de manera que se respeten las dosificaciones materiales, tipo y composición de la mezcla y utilización de equipos de acuerdo con las condiciones del Proyecto (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

El material a estabilizar debe cumplir con las siguientes condiciones:

- **Granulometría:** Los suelos deben tener máximo 10% de material pasante por el tamiz N.º 200, estar limpios y no deben tener más de 1% de su peso de materia orgánica. El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-emulsión.
- **Plasticidad:** El índice de plasticidad del suelo debe ser menor o igual a 9%.
- **Composición Química:** La proporción de sulfatos, expresados como $SO_4^{=}$ no podrá exceder de 6000 ppm.

- **Abrasión:** Los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión (Máquina de Los Ángeles) no mayor a 50%.
- **Solidez:** Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos no deben presentar pérdidas en sulfato de sodio superiores al 12% y en materiales finos superiores al 10%; si se emplea sulfato de magnesio los agregados gruesos no deben presentar pérdidas superiores al 18% y en los materiales finos superiores al 15%.

La emulsión asfáltica catiónica, será del tipo de rotura lenta (CSS-1h), el cual deberá cumplir con los requisitos indicados en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013.

El agua deberá ser limpia y estará libre de materia álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma NTP 339.073, deberá estar comprendido entre 5,5 y 8,0 y el contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^{=}$ y determinado según norma NTP 339.074, no podrá ser superior a 3.000 ppm, determinado según la norma NTP 339.072. En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación antes indicados.

Normalmente la emulsión varía entre 4% y 8%, en peso del suelo seco a estabilizar. La mezcla se debe diseñar mediante el procedimiento Illinois del Instituto del Asfalto basado en la norma MTC E 504.

La dosificación de la mezcla se basará en los siguientes criterios:

- La cantidad de agua será la necesaria para una buena dispersión de la emulsión, esta será determinada en laboratorio con contenido de emulsión.
- Para obtener el contenido óptimo de emulsión asfáltica, la mezcla debe tener una estabilidad Marshall mínima de 230 kg con una pérdida de estabilidad después de saturado máximo 50%. El porcentaje de recubrimiento y trabajabilidad de la mezcla deberá encontrarse entre 50 y 100% (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

Emulsión Asfáltica

Para que el asfalto pueda ser empleado en pavimentación es necesario fluidificarlo, bien sea calentándolo, diluyéndolo o emulsionándolo. La alternativa de emulsionar el asfalto con agua brinda mayor protección ambiental al emplear menor cantidad de energía para su producción y no producir contaminación durante su aplicación (Galván, 2015).

Desde un punto de vista físico químico, una emulsión es una dispersión, más o menos estable, de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un agente emulsionante. Al tratarse de dos elementos parcial o totalmente inmiscibles, forman dos fases: la llamada fase continua (o dispersante) y la fase dispersa (o discreta). En la **Fig.2**, aparecen las dos fases que conforman la emulsión (Guevara, Méndez y Pimentel, 2010).

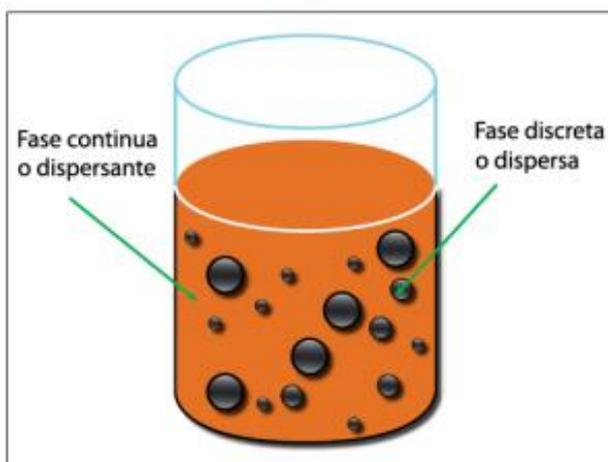


Figura 2: Diagrama de una Emulsión. Ulloa Calderón, 2012

De acuerdo al tipo de líquido que conforma cada fase, las emulsiones pueden ser directas o inversas como se visualiza en la **Fig.3** o múltiples como se muestra en la **Fig.4**. Las emulsiones directas, también llamadas O/W o aceite en agua, son aquellas donde la fase dispersa es una sustancia lipofílica (grasosa o aceitosa) y la fase continua es hidrofílica (normalmente agua). En las emulsiones inversas, por el contrario, la fase dispersa es una sustancia hidrofílica y la fase continua es lipofílica, siendo denominadas W/O o agua en aceite. En las emulsiones múltiples o W/O/W, la fase dispersa contiene una emulsión inversa y la fase continua es un líquido acuoso (Galván, 2015).

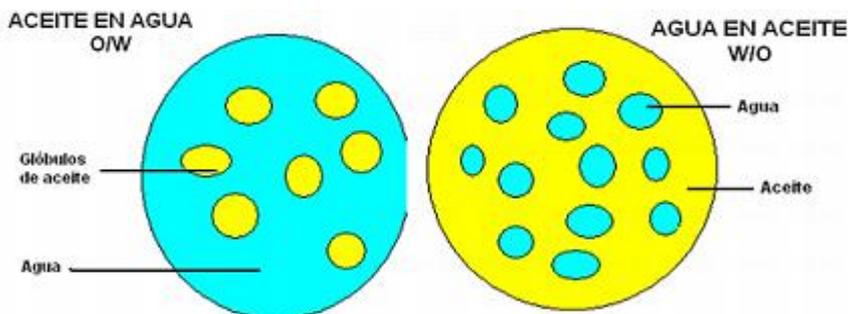


Figura 3: Esquema de Emulsiones Directas O/W e Inversas W/O. Ferré Franquet, 2018

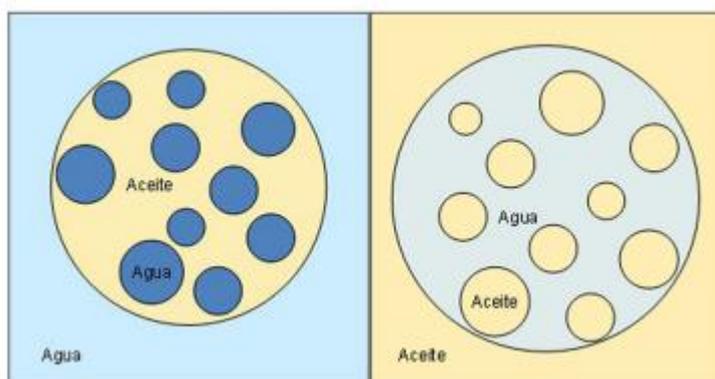


Figura 4: Esquema de Emulsiones Múltiples W/O/W o O/W/O. Ferré Franquet, 2018

Siendo la emulsión asfáltica una fina dispersión de partículas de asfalto (fase dispersa) en agua (fase continua), se clasifica como una emulsión del tipo directa (O/W), donde ambos líquidos se mantienen estables gracias a un agente emulsionante (surfactante) que al rodear la gota de asfalto proporciona la repulsión necesaria para conservar la estabilidad del sistema hasta su aplicación. Esta dispersión del asfalto se obtiene al aplicar una energía de cizallamiento mediante un molino coloidal, a través del cual se hace circular simultáneamente agua y asfalto en proporciones prefijadas.

La inalterabilidad de la dispersión se consigue a partir de la incorporación del agente emulsionante, que aporta una energía físico-química capaz de mantener el equilibrio de las partículas. Este componente se introduce en la fase acuosa y, de acuerdo a su composición y proporción, fija parámetros básicos que definen el comportamiento final de la emulsión, entre ellos la velocidad de rotura, la viscosidad, entre otros (Galván, 2015).

Componentes de la Emulsión

El asfalto, el agua y el agente emulsivo son los tres componentes básicos de una emulsión asfáltica, aunque para casos específicos de un proyecto podrían añadirse algunos aditivos, como estabilizadores, mejoradores de adherencia, mejoradores de recubrimiento, o agentes de control de rotura (Galván, 2015).

El objetivo es lograr una dispersión del asfalto en el agua lo suficientemente estable para ser bombeada, almacenada durante tiempo prolongado y mezclada. Más aún, la emulsión deberá romper al entrar en contacto con el agregado en un mezclador, o al ser distribuida sobre la superficie a trabajar. La rotura es la separación del agua del asfalto, conservando este último toda la capacidad adhesiva, la durabilidad, y la impermeabilidad propia del cemento asfáltico con el cual fue elaborado (Guevara, Méndez y Pimentel Gómez, 2010).

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa, y constituye entre un 50% y un 75% de la emulsión (Bracho, 2005).

Los asfaltos más utilizados en el mundo son los derivados de petróleo, que se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo.

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, mostrado en la **Fig.5**, el cual provee una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases: una discontinua (aromática) formada por los asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos. Estos maltenos y asfáltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites (Galván, 2015).

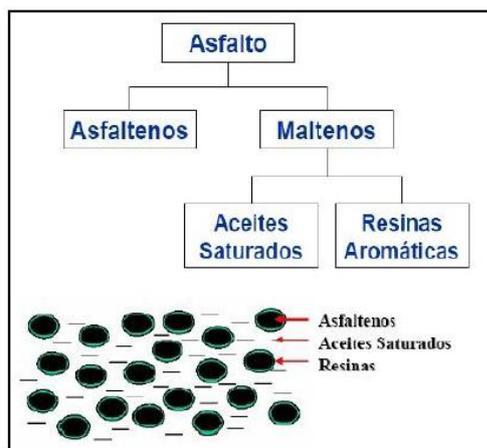


Figura 5: Composición del Asfalto. Galván Huamaní, 2015

El agua es otro componente en la emulsión. Aunque el efecto del agua no ha sido completamente establecido, existen ciertos factores que deben ser tomados en cuenta para preparar una emulsión asfáltica (Bracho, 2005).

Como es bien sabido, el agua de suministro nunca es completamente pura. Contiene impurezas que se encuentran en forma de dispersiones coloidales o en solución y afectan en cierto grado la calidad de la emulsión resultante. Por tal motivo, siempre conviene determinar cantidades y tipos de impurezas que contiene el agua a usar.

Otro componente es el agente emulsivo o emulsionante, el cual se representa por un agente tenso activo que tiene como finalidad mantener las gotitas de asfalto en suspensión estable y controlar el tiempo de rotura. Poseen una parte apolar y lipófila que tiene afinidad por el asfalto, y otra polar e hidrófila que tiene afinidad por el agua, esquematizado en la **Fig. 6**. Su distribución, al fabricar la emulsión, permite que los glóbulos de asfalto tengan cargas eléctricas en superficie y suficiente repulsión entre ellos para un correcto transporte y almacenaje sin que se produzca su coalescencia (Galván, 2015).

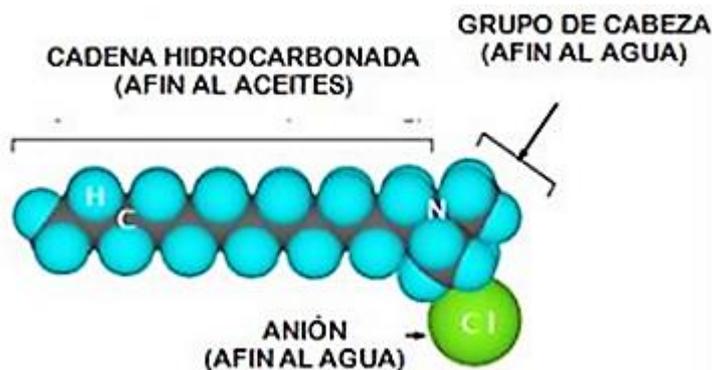


Figura 6: Molécula de Emulsionante. Ferré Franquet, 2018

Tipos de emulsiones

Se divide en tipos según su carga eléctrica y según su velocidad de rotura. De acuerdo con la carga eléctrica presente en las partículas de asfalto, como se muestra en la *Fig.7*, las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas, catiónicas o no iónicas cuando no poseen carga alguna. Cuando el glóbulo de asfalto, por la presencia del emulsionante en su superficie, adquiere carga positiva se dice que la emulsión es Catiónica (+). Si por el contrario la carga eléctrica del glóbulo de asfalto es negativa, se estará en presencia de una emulsión aniónica (-) (Bracho, 2005).

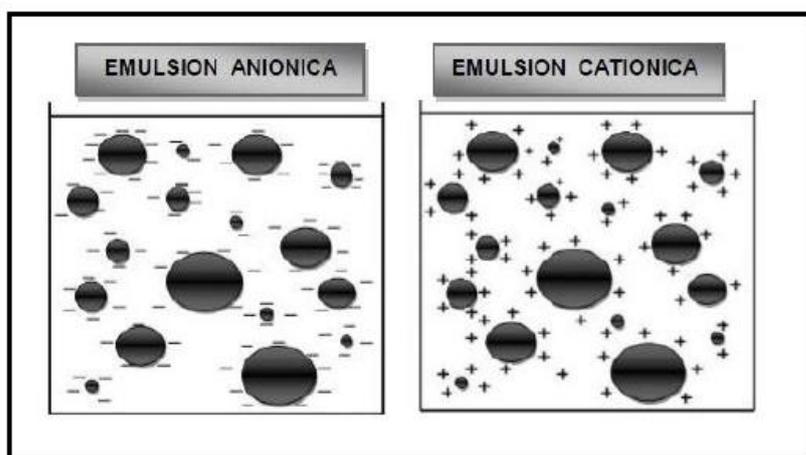


Figura 7: Tipo de Emulsión según su Carga Eléctrica. Galván Huamaní, 2015

En cuanto a la utilización de cada uno, fundamentalmente son el agregado y el clima los que definen la naturaleza de la emulsión a emplear, sea catiónica o aniónica, siendo estas últimas de muy reducida aplicación y requieren condiciones ambientales muy favorables. Las catiónicas se adaptan perfectamente a la mayor parte de los

agregados de cualquier naturaleza y permiten trabajar en condiciones ambientales más desfavorables.

Cada uno de estos dos grandes grupos de emulsiones puede dividirse a su vez en función de su velocidad de rotura, es decir, la velocidad con que las gotas de asfalto coalescen (se juntan restaurando el volumen de asfalto), relacionado íntimamente con la rapidez con que la emulsión se vuelva inestable y rompa tras entrar en contacto con el agregado. El proceso de rotura es inminentemente necesario, debido a que se necesita que el material sea recubierto por el asfalto (Galván, 2015).

La rotura de la emulsión se debe a la carga que tiene el agregado, el cual neutraliza la carga del asfalto en la emulsión. De esta manera la pequeña carga que tiene la emulsión se irá moviendo hacia el agregado que tiene carga opuesta y comenzará a formarse partículas de asfalto de gran tamaño, el mismo que comenzará a recubrir el agregado, mientras el agua es eliminada del asfalto agregado (Urgiles y Boada, 2011).

En la **Fig.8** se observa el proceso que sigue la emulsión cuando se junta con el agregado, dando paso a la rotura de la emulsión de manera que sea el asfalto quien recubre al agregado. La rotura de una emulsión es un factor decisivo para definir la emulsión a usar en la obra según sea el tipo de tratamiento (Galván, 2015).

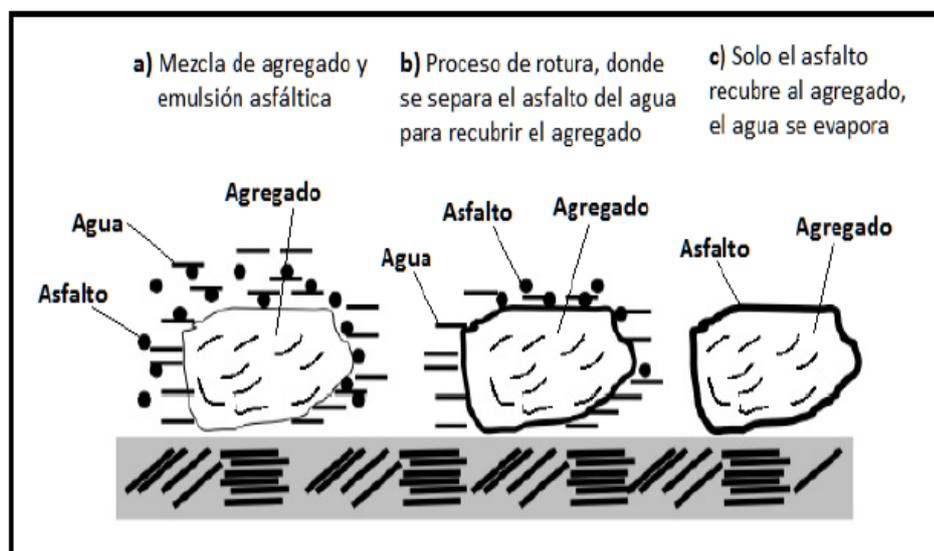


Figura 8: Proceso de Rotura de Emulsión. Galván Huamaní, 2015

Las emulsiones de rotura rápida (RS), rompen en muy corto tiempo (usualmente algunos minutos), se utilizan en trabajos de riego y tratamientos superficiales (Galván, 2015).

Tienen escasa o ninguna habilidad para mezclarse con un agregado que contenga finos, puesto que, al ponerse en contacto con éstos, el rompimiento es casi de inmediato, por lo tanto, el recubrimiento del material pétreo es insuficiente. (Bracho, 2005). Con las denominadas emulsiones de rotura media (MS) y la de rotura lenta (SS), es posible efectuar una amplia gama de mezclas en frío, según el tipo y granulometría del agregado o condiciones climáticas. Las emulsiones de rotura media mezclan bien con agregados gruesos, mientras que las de rotura lenta están diseñadas para mezclar con finos (Galván, 2015).

Nomenclatura para Emulsiones Asfálticas

La nomenclatura usada para la identificación de un determinado tipo de emulsión asfáltica, sean aniónicas o catiónicas, están detalladas en la **Tabla 5**, acorde a las normas AASHTO y ASTM.

Tabla 5
Nomenclatura para Emulsión Asfáltica

Emulsión Aniónica	Emulsión Catiónica
RS-1	CR-1
RS-2	CR-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
QS-1h	CQS-1h

Donde:

- **C:** indica que es una emulsión catiónica. La ausencia de esta letra indica una emulsión aniónica.
- Las cifras **1** y **2** indican la viscosidad. Un valor igual a 1 indica una viscosidad baja y para un valor igual a 2 una viscosidad alta.
- La letra “**h**” incluida en algunos grados indica que la base asfáltica es más consistente (hard, dura). Quiere decir que, en muchos casos en función del clima en obra, se necesitará que la emulsión tenga un residuo de mayor dureza. La letra “**s**” indicaría que la base es más blanda (soft).
- Las letras **HF** significan alta flotación (Galván, 2015).

Características de las Emulsiones

Contenido de Agua: Las emulsiones para carreteras pueden contener porcentos variables de agua, según el tipo de emulsión de que se trate; es esencial conocer el porcentaje de agua, si se requiere cuantificar con exactitud la cantidad real de aglutinamiento asfáltico usado en la carpeta. El contenido de agua de una emulsión puede variarse para adaptarse a técnicas particulares de aplicación.

Viscosidad: La viscosidad de una emulsión, es la valoración de sus propiedades de flujo y no tiene relación con la viscosidad del asfalto disperso. La viscosidad se condiciona principalmente por la proporción de asfalto presente en la emulsión y por la distribución de tamaño del glóbulo. La viscosidad de la emulsión debe ser lo suficientemente baja para poder regarla mediante petrolizadoras convencionales o para que cubra con facilidad la piedra en una mezcladora, pero al mismo tiempo será lo suficientemente viscosa para no escurrirse ni en la carretera durante el riego, ni en la superficie de las partículas durante el mezclado.

Estabilidad de Almacenamiento: Permite un tiempo mayor o menor entre la fabricación y el empleo de la emulsión; depende fundamentalmente de la naturaleza de la cantidad del emulsificante y tamaño de las partículas en dispersión.

Velocidad de Rompimiento: En función de distintas variables como son, naturaleza del ligante asfáltico, naturaleza y cantidad del emulsionante, naturaleza de los agregados y naturaleza de electroquímica de la propia emulsión.

Adherencia o Adhesividad a los Agregados: Es sin duda la característica más importante de cualquier ligante asfáltico y por lo tanto también de las emulsiones. Podemos definirla como la capacidad de un ligante o cementante asfáltico para quedar bien fijo en el agregado, recubriéndolo sin peligro de que se desplace, incluso en la presencia de agua o tráfico.

Uso de Emulsiones Asfálticas

Las emulsiones asfálticas tienen gran aplicabilidad dentro de la industria de los materiales de construcción. Estas se pueden usar para diversas aplicaciones dependiendo si contienen o no agregados, según:

Sin agregados

- Riegos
- Tratamientos y sellado.

Con agregados

- Tratamientos superficiales.
- Tratamientos anti-fisuras.
- Lechadas o slurrys.
- Reciclados.
- Mezclas en frío (Mercado, Bracho y Avendaño, 2008).

Ventajas del Método de Estabilización con Emulsión Asfáltica

Dentro de las principales ventajas del empleo de emulsión asfáltica en la estabilización de granulares están:

- La emulsión asfáltica es un producto apto desde el punto de vista ecológico ya que no libera residuos, además del agua, que se evapora en el curado.
- Dado que las emulsiones se trabajan a temperatura ambiente, no requieren calentamiento para su manipulación ni para su empleo en obra disminuyendo así los riesgos de quemaduras en los operarios.
- Ya que se usa agua, como medio dispersante las emulsiones no son inflamables ni emanan vapores de hidrocarburo hacia la atmósfera.
- Se aprovechan suelos de baja calidad, evitando su extracción y transporte a vertedero.
- Permiten la circulación por terrenos impracticables obteniendo una plataforma estable de apoyo del firme de infraestructuras lineales.
- Reducen la sensibilidad al agua de los suelos, aumentando su resistencia a la erosión, heladas y otros agentes climáticos.
- Se reduce el acarreo de materiales pétreos, ya que no se requiere material granular seleccionado (Chavarro y Molina, 2015).

Definición de Términos Básicos

- **Afirmado:** El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre. Hay dos principales aplicaciones en el uso de afirmados; su uso como superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas o su uso como capa inferior granular o como colchón anticontaminante. (MTC, 2008)
- **Asfalto:** El asfalto es un material negro, cementante que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla caliente (González, Jiménez y López, 2007).

- **AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (MTC, 2013).
- **CBR (California Bearing Ratio):** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo (MTC, 2008).
- **EG:** Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (MTC, 2013).
- **Emulsión asfáltica:** Dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). (Rodríguez Talavera, Castaño Meneses, & Martínez Madrid, 2001)
- **Emulsión asfáltica de rotura lenta:** Están diseñadas para máxima estabilidad de mezclado. Se utilizan con agregados de gradación densa y alto contenidos de finos. Poseen largos períodos de trabajabilidad. Su aplicación se extiende, además de la pavimentación, a otros usos industriales (Mercado, Bracho, y Avendaño, 2008).
- **Granulometría:** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (MTC, 2008).
- **Límite líquido:** Contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra de agua del suelo, con el cual el suelo del estado líquido al plástico (Crespo Villalaz, 2004)
- **Límite plástico:** Contenido de humedad de un suelo, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico (Crespo Villalaz, 2004)

- **Material de cantera:** Material de características apropiadas para su utilización en las diferentes partidas de construcción de obra, que deben estar económicamente cercanas a las obras y en los volúmenes significativos de necesidad de la misma. (MTC, 2013)
- **Mejoramiento:** Ejecución de las obras necesarias para elevar el estándar de la vía mediante actividades que implican la modificación sustancial de la geometría y de la estructura del pavimento; así como la construcción y/o adecuación de los puentes, túneles, obras de drenaje, muros, y señalizaciones necesarias. (MTC, 2013)
- **MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2013)
- **Productos químicos:** Son estabilizadores de diversa índole, resultantes de fabricación industrial de productos químicos u orgánicos, aplicables a capas de afirmado, mejoramiento de suelos u otras, teniendo en consideración la ubicación, clima y tipo de material predominante en las vías a emplearse (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).
- **Transitabilidad:** Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado tal de la misma que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo. (MTC, 2013)
- **Tratamiento superficial:** Aplicación de una o más capas conformadas por riegos asfálticos que pueden incluir aditivos y agregados cuyas características son definidas según especificaciones técnicas. Por lo general son de una, dos y tres capas (monocapa y bicapa). (MTC, 2013)
- **Vida útil:** Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido. (MTC, 2013)

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la incorporación de tres niveles (4%, 5% y 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5% y 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar las características físicas y mecánicas del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”.
2. Determinar las características físicas y mecánicas del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” con incorporaciones de 4%, 5% y 6% de emulsión asfáltica.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La resistencia mecánica de un material para afirmado se incrementa en más del 10% conforme aumentan los niveles (4%, 5% y 6%) de emulsión asfáltica.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Experimental.

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

- Unidad de estudio

El material para afirmado de la cantera “El Gavilán”.

- Población

El material para afirmado de la cantera “El Gavilán”.

- Muestra

El material para afirmado de la cantera “El Gavilán”.

- Técnicas de recolección de datos y análisis de datos

El presente proyecto de tesis tiene como principal técnica de recolección de datos la observación experimental u observación participante, ya que se tiene la potestad de manipular las variables. Esta técnica puede usar como instrumentos una hoja o una ficha de registro de datos, notas de campo, etc. dentro del plan de recolección de datos, procesamiento y presentación de datos se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Determinación de la población o sujetos de estudio
- Selección de la muestra
- Operacionalización del estudio
- Diseño del instrumento
- Método para procesar la información

La recolección de datos se realizará a través de los instrumentos antes mencionados. Concluida la recolección de datos se procesará la información digitalmente, haciendo uso de programas informáticos de procesamiento de datos como Excel. Los resultados serán presentados en gráficos y/o cuadros estadísticos para ser analizados e interpretados considerando el marco teórico.

Tabla 6
Recolección de datos material sin estabilizar

Variable	Fuente	Técnica	Instrumentos
Tamaño de Partícula	Material para afirmado	Observación Directa	- Tamices
			- Balanza
			- Horno
Límite Líquido	Material para afirmado	Observación Directa	- Copa de Casagrande
			- Balanza
			- Vasija
Límite Plástico	Material para afirmado	Observación Directa	- Horno
			- Tamiz N° 40
			- Agua
Desgaste de los agregados	Material para afirmado	Observación Directa	- Vidrio esmerilado
			- Balanza
			- Tamices
			- Estufa
			- Máquina de “Los Ángeles”
			- Carga Abrasiva

Resistencia de los suelos	Material para afirmado	Observación Directa	- Prensa
			- Molde
			- Disco espaciador
			- Pisón de compactación
			- Medidor de expansión
			- Trípode
			- Pesas
			- Pistón de penetración
			- Dos diales
			- Tanque
			- Horno
			- Balanza
			- Tamices
			- Cuarteador
			- Papel filtro

Tabla 7
Recolección de datos material estabilizado

Variable	Fuente	Técnica	Instrumentos
Tamaño de Partícula	Material para afirmado	Observación Directa	- Tamices
			- Balanza
			- Horno
Límite Líquido	Material para afirmado	Observación Directa	- Copa de Casagrande
			- Balanza
			- Vasija
			- Horno
			- Acanalador
			- Espátula

Límite Plástico	Material para afirmado	Observación Directa	- Espátula
			- Balanza
Desgaste de los agregados	Material para afirmado	Observación Directa	- Horno
			- Tamiz N° 40
Resistencia de los suelos	Material para afirmado	Observación Directa	- Agua
			- Vidrio esmerilado
			- Balanza
			- Tamices
			- Estufa
			- Máquina de “Los Ángeles”
			- Carga Abrasiva
			- Prensa
			- Molde
			- Disco espaciador
			- Pisón de compactación
			- Medidor de expansión
			- Trípode
			- Pesas
			- Pistón de penetración
			- Dos diales
			- Tanque
			- Horno
			- Balanza
			- Tamices
			- Cuarteador
			- Papel filtro

2.3. Procedimiento

- **Primero:** Se ha elegido una de las canteras de la ciudad de Cajamarca, para la presente investigación se ha optado por una muestra por conveniencia, seleccionando así la cantera “El Gavilán”.
- **Segundo:** Se realizará el muestreo en campo, obteniendo la cantidad suficiente del material de cantera para los ensayos que se requieran, tanto como material natural y como material estabilizado con emulsión asfáltica.
- **Tercero:** Una vez obtenidas las muestras, serán llevadas al laboratorio donde se realizarán los ensayos que se requieran, entre ellos se encuentran: Granulometría, Límite Líquido y Límite Plástico, CBR, Proctor Modificado, Densidad Seca, etc.
- **Cuarto:** Si el material obtenido de la cantera cumple con los requisitos se procederá a la estabilización con emulsión asfáltica, de lo contrario se procederá a la mezcla de materiales de la cantera “El Gavilán” con el de otra cantera.
- **Quinto:** Una vez hecha la verificación de las propiedades del material natural y que los valores obtenidos estén dentro de los rangos de la normativa se procederá a incorporar porcentajes de emulsión asfáltica en el rango del 4% al 6%.
- **Sexto:** Los valores que se obtengan en el laboratorio tendrán que ser verificados con los valores que se muestran en el Capítulo III: Afirmados, en la sección 301.E: Suelos estabilizados con Emulsión Asfáltica del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción.
- **Séptimo:** Por último, cuando se tengan los resultados de los ensayos se podrá realizar la verificación de la hipótesis planteada y de esta manera concluir con la investigación.

Las actividades realizadas para el desarrollo de la investigación, así como el procedimiento de estas serán descritas a continuación.

2.3.1. Ubicación de la cantera “El Gavilán”

En la carretera de Cajamarca hacia la costa, cerca del abra “El Gavilán” Se encuentra ubicada a 3250 m.s.n.m., al sureste de la ciudad de Cajamarca en las faldas del cerro ventanilla cerca del abra El Gavilán al costado derecho de la carretera Cajamarca – Pacasmayo.

Tabla 8

Coordenadas de la ubicación de la cantera “El Gavilán”

Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
Este:	779197.00	Latitud:	7°14'27.65"S
Norte:	9198831.00	Longitud:	78°28'18.09"O



Figura 9: Georreferenciación de la cantera El Gavilán. Google Earth, 2019

2.3.2. Adquisición del material para afirmado

Para la conformación de afirmados se requiere de un material granular procedente de la explotación de canteras cercanas a la zona, este material deberá cumplir con una serie de requisitos mínimos de granulometría, coeficiente de desgaste a la abrasión de los ángeles, límite líquido, índice de

plasticidad y CBR. En caso de no cumplir los requisitos antes mencionados, se deberá hacer un mejoramiento de dicho material.

El material se obtuvo de la cantera “El Gavilán”, la cual fue escogida por conveniencia. El material para afirmado pasó por un proceso de zarandeo en la malla de 1”, se adquirió la cantidad necesaria de material para posteriormente ser llevado al laboratorio y realizar los ensayos correspondientes.



Figura 10: Adquisición del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”

2.3.3. Adquisición de la emulsión asfáltica

Para realizar los ensayos correspondientes se seleccionó una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta (CSS-1H), que cumpla con los requisitos descritos en la norma ASTM D2397. Se escogió una emulsión de rotura lenta debido a que posee un largo periodo de trabajabilidad con lo cual se asegura una buena mezcla emulsión-agregados, teniendo como resultado final una mezcla estable.

Este tipo de emulsión presenta ciertas características que se pueden reconocer por las siglas y sufijos que esta presenta, así una emulsión CSS-1H hace referencia a una emulsión catiónica (C) de sedimentación lenta (SS). El sufijo

1 nos indica que presenta una viscosidad entre 20 y 100 seg. y la letra H denota que se ha utilizado un asfalto con penetración entre 40 y 90.

La utilización de dicha emulsión para la realización de los ensayos fue debido a la baja viscosidad que presenta y porque su uso se recomienda para la estabilización de suelos, carpetas asfálticas y algunos reciclados con lechadas asfálticas (slurry seal).

2.3.4. Ensayos

Una vez obtenido el material de la cantera “El Gavilán” elegida por conveniencia, se procedió a trasladar dicho material hacia el laboratorio de suelos ubicado en el campus de la Universidad Privada del Norte (UPN) – Cajamarca. Luego se procedió a preparar adecuadamente el material para realizar los ensayos de laboratorio correspondientes.

2.3.5. Análisis granulométrico

Al realizar el ensayo granulométrico del material extraído de la cantera, dio como resultado que no se encontraba dentro de los husos granulométricos recomendados para un material de afirmado, por lo que se creyó conveniente hacer una combinación de agregados para obtener un material con una gradación que se encuentre dentro de los husos recomendables y que además cumpla con los requisitos de un material que será estabilizado con emulsión asfáltica.

Para lograr dicha gradación se obtuvo arena gruesa de la misma cantera, la cual fue sometida al ensayo de granulometría. Una vez obtenido esto se procedió a realizar los cálculos correspondientes para hacer la combinación de agregados y tener las proporciones adecuadas.

En la presente investigación se realizó la combinación de agregados por el método de tanteo y el método gráfico, obteniendo los siguientes porcentajes:

Método de tanteo:

Para este método se utilizó el porcentaje de pasante en cada malla de ambos agregados, el material traído directamente de la cantera (A) y la arena gruesa (B). Se inició el tanteo con un porcentaje de 50% - 50%, sin embargo no cumplía con la granulometría requerida en la malla N°40; de la misma manera se probaron otros porcentajes hasta que se obtuvo la proporción ideal que cumple con la granulometría para afirmado indicada en la normativa, la cual fue de 57% - 43% para los agregados “A” y “B” respectivamente.

Tabla 9

Combinación de agregados por el método de tanteo

Tamiz	% Que pasa (A)	% Que pasa (B)	"A" x % Tanteo (C)	"B" x % Tanteo (D)	C+D	Granulometría Afirmado AASHTO M-147
2"	100.00	100.00	57.00	43.00	100.00	-
1 1/2"	100.00	100.00	57.00	43.00	100.00	-
1"	100.00	100.00	57.00	43.00	100.00	-
3/4"	80.60	100.00	45.94	43.00	88.94	-
1/2"	54.18	99.49	30.88	42.78	73.66	-
3/8"	43.61	97.50	24.86	41.93	66.78	50-85
N°4	28.64	80.03	16.33	34.42	50.74	35-65
N°10	21.12	60.75	12.04	26.12	38.16	25-50
N°20	18.09	52.19	10.31	22.44	32.75	-
N°40	16.00	45.35	9.12	19.50	28.62	15-30
N°60	13.07	32.90	7.45	14.15	21.60	-
N°100	9.48	21.00	5.40	9.03	14.43	-
N°200	6.50	13.92	3.71	5.99	9.69	5-15

Método gráfico:

Para el método gráfico se realizó un dibujo en el programa AutoCAD, utilizando las mallas y los porcentajes de pasante indicada en la normativa, los valores de la izquierda y derecha representan el porcentaje que pasa de los agregados “A” y “B” respectivamente; mientras que los valores de arriba y abajo son los porcentajes a usar de “A” y “B” respectivamente.

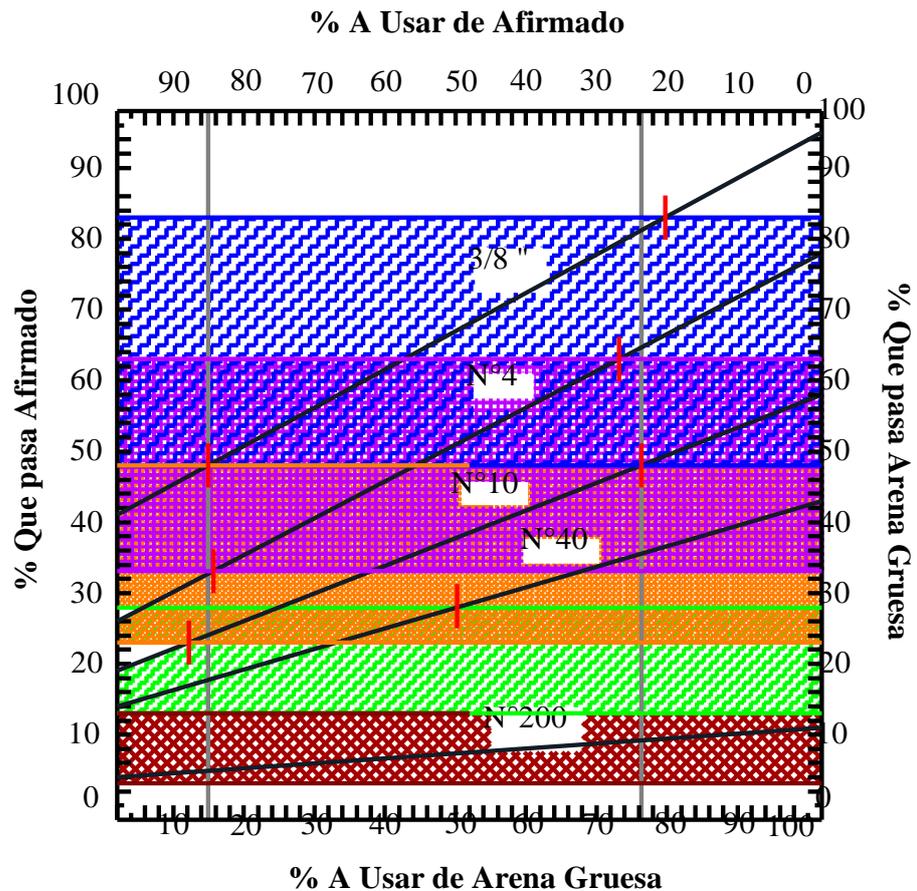


Figura 11: Método gráfico de combinación de agregados.

Teniendo los valores de intersección se procedió a aplicar la siguiente fórmula para obtener los porcentajes para cada agregado:

$$\% \text{ de } A = \frac{87 + 26}{2} = 56.5 \% \approx 57\%$$

$$\% \text{ de } B = \frac{13 + 74}{2} = 43.5 \% \approx 43\%$$

Utilizando ambos métodos, finalmente se obtuvieron los mismos porcentajes para la combinación de agregados. Una vez combinados, se realizó por última vez el ensayo de granulometría, esto con la finalidad de que el material finalmente se encuentre dentro de los husos recomendables. Con el resultado final se obtuvo un material para afirmado cuya granulometría se encontraba dentro del huso granulométrico C, la cual cumple con los requisitos inicialmente mencionados. Para los ensayos posteriores, se utilizó el material ya combinado.



Figura 12: Cuarteo del material.



Figura 13: Tamizado del material.

2.3.6. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad



Figura 14: Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.

2.3.7. Abrasión Los Ángeles



Figura 15: Ensayo de Abrasión Los Ángeles

2.3.8. Compactación del suelo en laboratorio usando la energía modificada



Figura 16: Compactación del suelo usando la energía modificada.

2.3.9. CBR de suelos



Figura 17: Ensayo de penetración.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos al concluir los ensayos realizados al material para afirmado fueron los siguientes:

Tabla 10
Resultados propiedades físicas material para afirmado

Ensayo	Resultado
Análisis Granulométrico	A-1
Límite Líquido	12.54%
Límite Plástico	N.P.
Abrasión	43.36%

En la **Tabla 10** se muestran los resultados obtenidos en laboratorio de las propiedades físicas del material para afirmado. Con el ensayo de análisis granulométrico se pudo determinar que el material corresponde a un suelo granular de tipo A-1 según la clasificación AASHTO. Asimismo, el material no presenta límite plástico y el porcentaje de desgaste a la abrasión es menor al 50%.

Tabla 11
Resultados Proctor Modificado y CBR del material para afirmado

Ensayo	Afirmado	Afirmado	Afirmado	Afirmado	
		+ 4% de emulsión asfáltica	+ 5% de emulsión asfáltica	+ 6% de emulsión asfáltica	
Proctor Modificado	Densidad máx. seca	2.274	2.296	2.218	2.189
	(gr./cm ³)				
CBR	OCH	6.17%	5.79%	5.17%	5.02%
	CBR al 0.1"	83%	113%	142%	199%

Por la gradación de material obtenida, se utilizó el método “C” (Más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8” y menos del 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4”) para realizar el ensayo de Proctor modificado.

Como se muestra en la **Tabla 11** la incorporación de porcentajes (4%, 5% y 6%) de emulsión asfáltica incrementa la resistencia mecánica de un material para afirmado. Los resultados obtenidos han sido bajo criterios específicos y para un tipo de material en particular, por lo cual la estabilización con emulsión asfáltica aplicada bajo las mismas condiciones de la presente investigación; debería brindar resultados similares, mostrando así un comportamiento favorable.

Los formatos de protocolos que han sido utilizados para el desarrollo de la investigación se muestran en los anexos.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Compactación del suelo en laboratorio usando la energía modificada

En el trabajo de investigación denominado “Diseño y evaluación para un Afirmado estabilizado con emulsión asfáltica, aplicación: Carretera Cañete – Chupaca”, los valores obtenidos para la máxima densidad seca fueron de 2.295 gr./cm³, 2.326 gr./cm³ y 2.282 gr./cm³ para los porcentajes de adición del 3%, 4% y 5% de emulsión asfáltica, concluyendo que en relación a este parámetro se considera como óptimo el valor de 4% de emulsión asfáltica. Asimismo los resultados del óptimo contenido de humedad fueron de 8.90%, 8.40% y 7.90% para las adiciones de 3%, 4% y 5% respectivamente.

En la presente tesis se puede observar que al incorporar emulsión asfáltica la máxima densidad seca presenta un incremento del 2.274 gr./cm³ al 2.296 gr./cm³ para el 4% de emulsión asfáltica, disminuyendo al 2.218 gr./cm³ y 2.189 gr./cm³ para los porcentajes del 5% y 6% de emulsión asfáltica respectivamente. El óptimo contenido de humedad disminuyó al adicionar emulsión asfáltica, obteniendo un 6.17% en la muestra patrón y un 5.79%, 5.17% y 5.02% para las muestras con adiciones del 4%, 5% y 6%

respectivamente. La comparación de los resultados descritos se muestra en los gráficos a continuación:

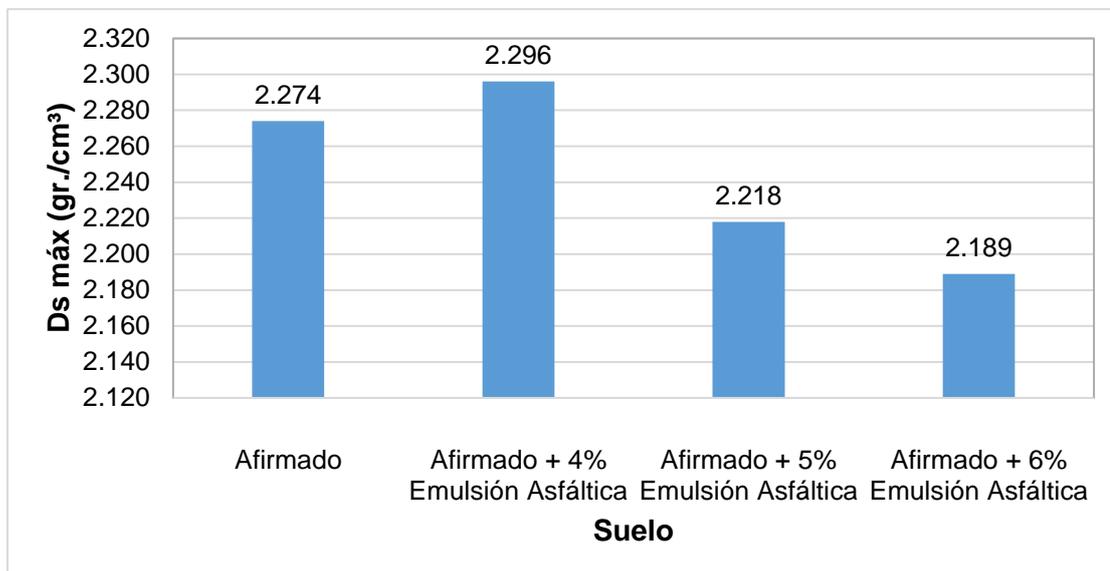


Figura 18: Resultados máxima densidad seca

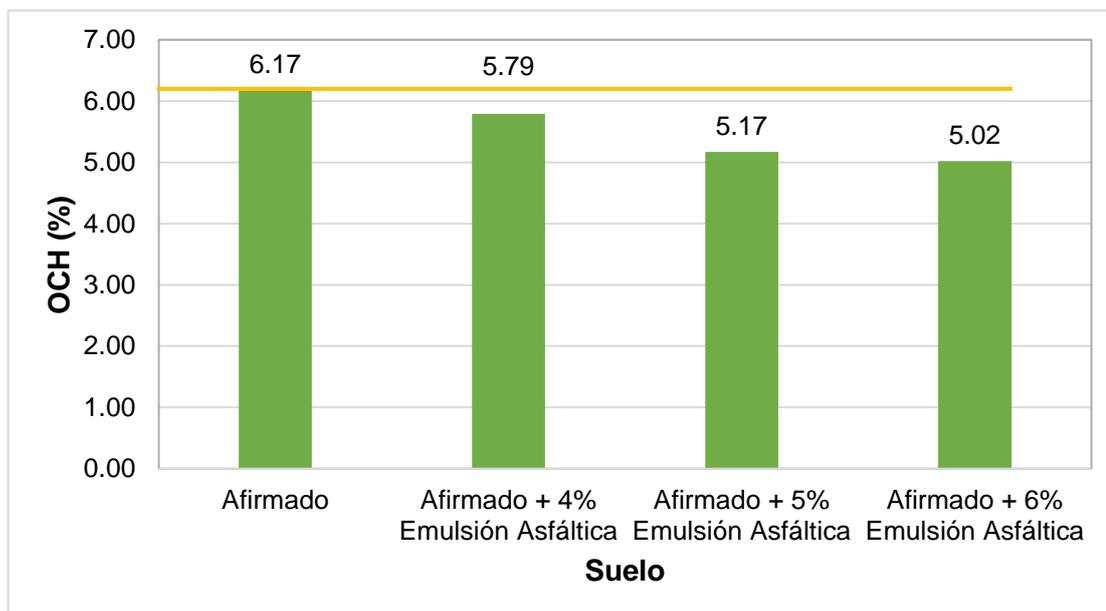


Figura 19: Resultados óptimo contenido de humedad.

4.1.2. California Bearing Ratio (CBR)

En la tesis denominada “Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en El Salvador” desarrollada por Jiménez, Gonzáles y López en el año 2007, se concluye que

con la incorporación de emulsión asfáltica en proporciones de 2%, 3%, 4%, 5% y 6% aumenta el valor de CBR en 47.6%, 90.3%, 113.9%, 128.7% y 92.1% respectivamente. Demostrando de esta manera que la adición de emulsión aporta una mayor resistencia en materiales gravosos.

Por otro lado, en el trabajo de investigación denominado “Diseño y evaluación para un Afirmado estabilizado con emulsión asfáltica, aplicación: Carretera Cañete – Chupaca”, donde se obtuvo un valor de CBR del 55% para el material sin adición; mientras que con la adición de del 3%, 4% y 5% de emulsión asfáltica, se obtuvieron valores de 63%, 71% y 69% respectivamente y en la cual se concluye que el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica es de 4%. Asimismo, se comprueba que la estabilización con emulsión asfáltica mejora la resistencia mecánica.

En la presente investigación al igual que en las investigaciones precedentes los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de emulsión asfáltica a un material para afirmado bien gradado aporta una mayor resistencia mecánica. A diferencia de los resultados en otras investigaciones para la muestra patrón se obtuvo un CBR al 0.1” de 83%, mientras que para las adiciones de 4%, 5% y 6% se obtuvo 113%, 142% y 199% respectivamente.

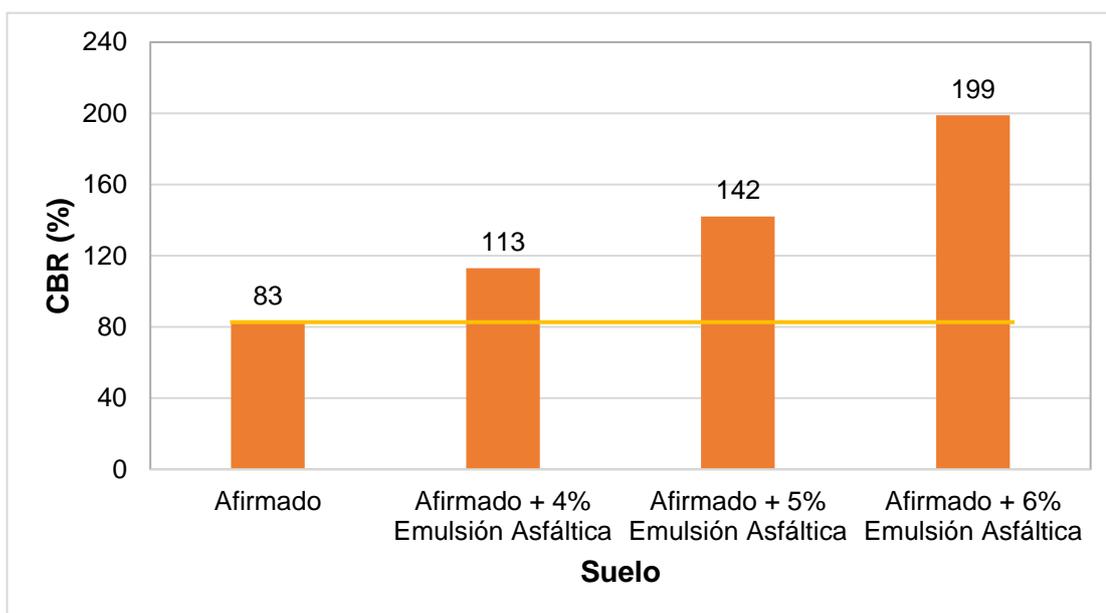


Figura 20: Resultados CBR (100% Ds Máx)

Como se muestra en los gráficos, los valores de CBR obtenidos han sido superiores a los indicados en investigaciones que anteceden a esta. La variación puede deberse principalmente al tipo de material empleado para realizar los ensayos, sin embargo; en cada una de ellas se concluye que la estabilización con emulsión asfáltica incrementa los valores de la resistencia mecánica en materiales que cumplan con los requisitos de granulometría.

Asimismo, para futuras investigaciones, se recomienda tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Evaluar el comportamiento del material con la adición de porcentajes distintos a los presentados, en el rango del 4% al 8%.
2. Analizar la influencia de la adición de emulsión asfáltica en los distintos tipos de suelos que cumplan con los requisitos necesarios para este tipo de estabilización.
3. Investigar los costos de la estabilización con emulsión asfáltica.
4. Considerar que el presente estudio ha sido realizado con emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, por lo que los procedimientos antes mencionados han sido aplicados para tal caso.
5. Los procedimientos para los ensayos de laboratorio deberán ser realizados de acuerdo con la normativa vigente.
6. Para un mejor análisis del comportamiento del material con respecto al ensayo de CBR, podrían elaborarse hasta 4 muestras por cada adición de emulsión asfáltica.

4.2. Conclusiones

1. La hipótesis planteada en la presente investigación se cumple de manera satisfactoria, al incorporar mayores porcentajes de emulsión asfáltica la resistencia mecánica del material para afirmado aumenta en más del 10%.

2. El material para afirmado de la cantera “El Gavilán” utilizado para la presente investigación cumple con los requisitos mínimos que exigen las normas técnicas peruanas del Ministerio de transportes y comunicaciones, presentando así una granulometría dentro de la gradación “C”, con un valor de límite líquido del 12.54% que no presenta índice de plasticidad. Asimismo se obtuvo un 43.36% de resistencia a la abrasión y un valor de CBR al 0.1” del 83%.
3. Con la adición de 4% de emulsión asfáltica la máxima densidad seca aumentó a 2.296 gr/cm³ respecto a la muestra patrón en la cual se obtuvo una máxima densidad seca de 2.274 gr./cm³, con las dos siguientes adiciones del 5% y 6% la máxima densidad seca disminuyó a 2.218 gr./cm³ y 2.189 gr./cm³ respectivamente.
4. La adición de 4%, 5% y 6% de emulsión asfáltica influyó en los resultados del CBR del material para afirmado, obteniéndose 113%, 142% y 199% respectivamente para una penetración del 0.1””; mientras que para la muestra patrón se obtuvo un valor de CBR del 83%.

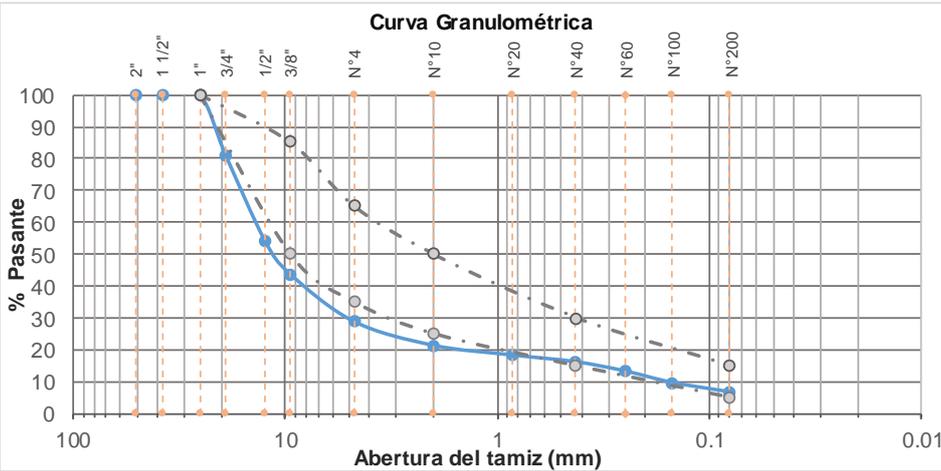
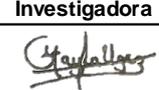
REFERENCIAS

1. Acosta, E. A., & Civil, I. (2012). Análisis Comparativo del Diseño de Mezclas Asfálticas MDC-2 con Asfalto Original y Modificado con Polímeros por los Métodos Marshal y Superpave Fase 1 Proyecto TAAT Corasfaltos. Recuperado el 12 de 9 de 2019, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1822/2/122749.pdf>
2. Bracho, C. L. (2005). Emulsiones Asfálticas. Mérida: Universidad de los Andes.
3. Chavarro Acuña, W., & Molina Pinzón, C. (2015). Evaluación de Alternativas de Pavimentación para Vías de Bajos Volúmenes de Tránsito. Bogotá: Universidas Católica de Colombia.
4. Chávarro Acuña, W., & Molina Pinzón, C. (2015). Evaluación de Alternativas de Pavimentación para Vías de Bajos Volúmenes de Tránsito. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
5. Crespo Villalaz, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México: Editorial Limusa S.A. .
6. De la Cruz Salcedo, D. R. (2010). Diseño y Evaluación de un afirmado estabilizado con emulsión asfáltica, aplicación: Carretera Cañete-Chupaca. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
7. Ferré Franquet, P. (2018). Las Emulsiones de Betún, su Química y su Física. Madrid: Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas.
8. Fratelli, M. (1993). Suelos, Fundaciones y Muros. Venezuela.
9. Galván Huamaní, L. M. (2015). Criterios de Análisis y Diseño de una Mezcla Asfáltica en Frío con Pavimento Reciclado y Emulsión Asfáltica. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
10. Gonzáles Escobar, W., Jiménez Angulo, M. E., & López Cornejo, R. J. (2007). Guía Básica para el Uso de Emulsiones Asfálticas. San Salvador: Universidad de El Salvador.
11. Guevara Palma, M. R., Méndez Delgado, H. A., & Pimentel Gómez, J. C. (2010). Diseño de Mezclas Asfálticas Densas en Frío Basado en el Método Marshall Modificado de la Universidad de Illinois. El Salvador: Universidad de El Salvador.
12. Mercado, R., Bracho, C., & Avendaño, J. (2008). Emulsiones Asfálticas-Usos y Rompimiento. Mérida: Laboratorio FIRP.
13. Ministerio de Tranposrtes y Comunicaciones. (2013). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima: Editora Perú.

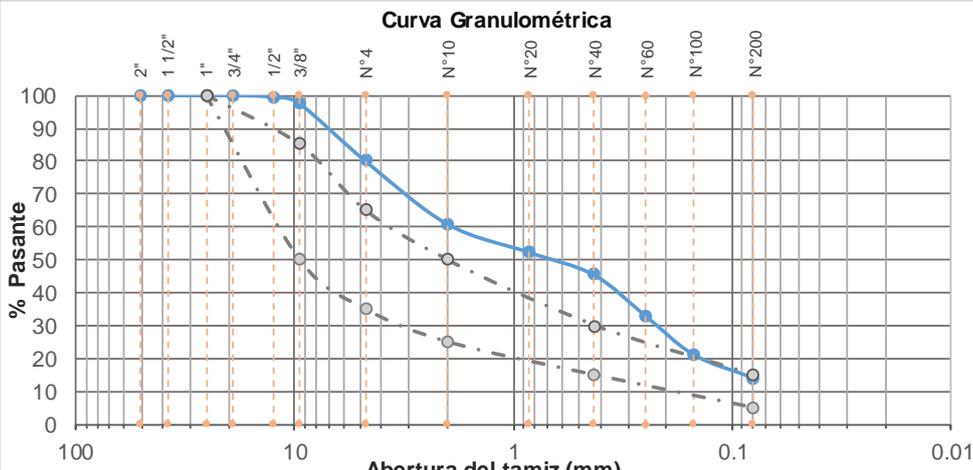
14. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativ.
15. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Lima: MTC.
16. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos. Lima.
17. PROVIAS NACIONAL. (2005). Evaluación de Pavimentos Económicos de la Carretera de Bajo Tráfico de la Red Vial Nacional Proyecto Piloto Carretera Patahuasi - Yauri - Sicuani; Tramo: Yauri San Genaro. Cuzco.
18. Rodríguez Talavera, R., Castaño Meneses, V. M., & Martínez Madrid, M. (2001). Emulsiones Asfálticas. México: Instituto Mexicano del Transporte.
19. Rozas, P., & Sánchez, R. (2004). Desarrollo de Infraestructura y Crecimiento Económico: Revisión Conceptual. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas.
20. Torres Gracia, A. I. (2010). Propuesta Metodológica para la Evaluación y Mejoramiento con Emulsión Asfáltica y/o Cemento de los Materiales Granulares Existentes en las Vías Terciarias. Bogotá.
21. Ulloa Calderón, A. (2012). Preparación de Emulsiones Asfálticas en Laboratorio. 18.
22. Urgiles Guarderas, L. M., & Boada Parra, L. G. (2011). Diseño Y Evaluación De Micropavimentos Con Emulsión Asfáltica Modificada Con Polímeros, Para Agregados De Canteras De Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio Y Nayón En El Distrito Metropolitano De Quito. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
23. Winterkorn, H., & Hsai-Yang, F. (1991). Soil Technology And Engineering. Estados Unidos: Geotechnical Engineering Division Fritz, Engineering Laboratory, Lehigh University, USA.

ANEXOS

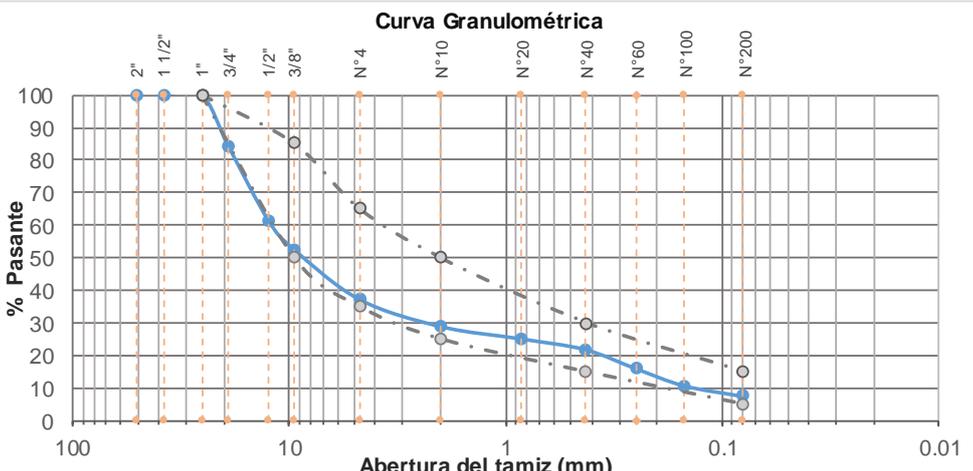
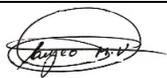
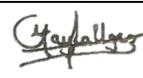
Anexo N° 01. Ensayo granulométrico del afirmado de la cantera "El Gavilán"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E 204 / ASTM C 136)					
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado		
	Investigadora		Mayra Johana Ugaz Garay	PROTOCOLO N°1 HOJAS 1 DE 1	
	Fecha		06/04/2017		
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material		Afirmado			
Cantera		"El Gavilán"			
Peso total (gr.)		12470			
Peso seco fino	Inicial (gr.)	641.1			
	Final (gr.)	495.6			
Pasante de la N° 200 (gr.)		145.5			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
2"	50.80	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	0	0.000	0.000	100.000
1"	25.40	0	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.00	2419	19.399	19.399	80.601
1/2"	12.50	3295	26.423	45.822	54.178
3/8"	9.50	1318	10.569	56.391	43.609
N°4	4.75	1866	14.964	71.355	28.645
N°10	2.00	168.4	7.524	78.879	21.121
N°20	0.85	67.8	3.029	81.909	18.091
N°40	0.43	46.8	2.091	84.000	16.000
N°60	0.25	65.5	2.927	86.926	13.074
N°100	0.15	80.5	3.597	90.523	9.477
N°200	0.08	66.6	2.976	93.499	6.501
Cazoleta	-	145.5	6.501	100.000	0.000
Total					
<p style="text-align: center;">Curva Granulométrica</p> 					
OBSERVACIÓN / COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis		Investigadora		
					
Sr. Víctor Cuzco Minchán	Ing. Alejandro Cubas Becerra		Mayra Johana Ugaz Garay		

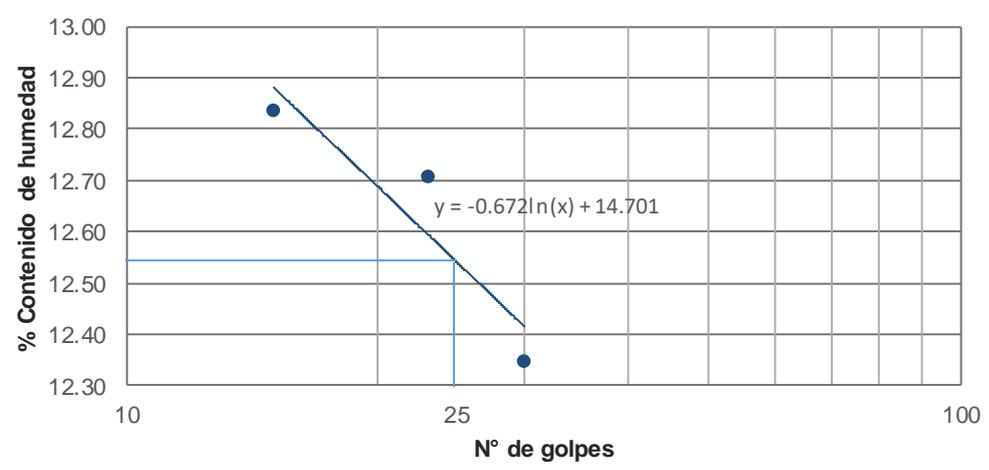
Anexo N° 02. Ensayo granulométrico arena gruesa de la cantera "El Gavilán"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E 204 / ASTM C 136)					
 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
	Investigadora	Mayra Johana Ugaz Garay	PROTOCOLO N°1 HOJAS 1 DE 1		
	Fecha	11/04/2017			
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material		Arena Gruesa			
Cantera		"El Gavilán"			
Peso total (gr.)		2290.50			
Peso seco fino	Inicial (gr.)	368.50			
	Final (gr.)	304.40			
Pasante de la N° 200 (gr.)		64.10			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
2"	50.80	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	0	0.000	0.000	100.000
1"	25.40	0	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.00	0	0.000	0.000	100.000
1/2"	12.50	11.70	0.511	0.511	99.489
3/8"	9.50	45.50	1.986	2.497	97.503
N°4	4.75	400.10	17.468	19.965	80.035
N°10	2.00	88.80	19.287	39.252	60.748
N°20	0.85	39.40	8.557	47.809	52.191
N°40	0.43	31.50	6.842	54.650	45.350
N°60	0.25	57.30	12.445	67.096	32.904
N°100	0.15	54.80	11.902	78.998	21.002
N°200	0.08	32.60	7.080	86.078	13.922
Cazoleta	-	64.1	13.922	100.000	0.000
Total					
<p style="text-align: center;">Curva Granulométrica</p> 					
OBSERVACIÓN / COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis		Investigadora		
					
Sr. Víctor Cuzco Minchán	Ing. Alejandro Cubas Becerra		Mayra Johana Ugaz Garay		

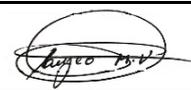
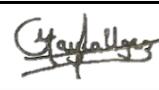
Anexo N° 03. Ensayo granulométrico del material para afirmado combinado de la cantera "El Gavilán" (huso granulométrico C)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E 204 / ASTM C 136)					
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado		
	Investigadora	Mayra Johana Ugaz Garay	PROTOCOLO N°1 HOJAS 1 DE 1		
	Fecha	14/04/2017			
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material		Afirmado (Agregados combinados)			
Cantera		"El Gavilán"			
Peso total (gr.)		10516.8			
Peso seco fino	Inicial (gr.)	527.2			
	Final (gr.)	422.2			
Pasante de la N° 200 (gr.)		105			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
2"	50.80	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	0	0.000	0.000	100.000
1"	25.40	0	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.00	1689.6	16.066	16.066	83.934
1/2"	12.50	2359.4	22.435	38.500	61.500
3/8"	9.50	943.3	8.969	47.470	52.530
N°4	4.75	1610.6	15.315	62.784	37.216
N°10	2.00	118.3	8.351	71.135	28.865
N°20	0.85	53.7	3.791	74.926	25.074
N°40	0.43	46.6	3.290	78.216	21.784
N°60	0.25	83.5	5.894	84.110	15.890
N°100	0.15	74	5.224	89.334	10.666
N°200	0.08	46	3.247	92.581	7.419
Cazoleta	-	105	7.412	99.993	0.007
Total					
<p style="text-align: center;">Curva Granulométrica</p> 					
OBSERVACIÓN / COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis		Investigadora		
					
Sr. Víctor Cuzco Minchán	Ing. Alejandro Cubas Becerra		Mayra Johana Ugaz Garay		

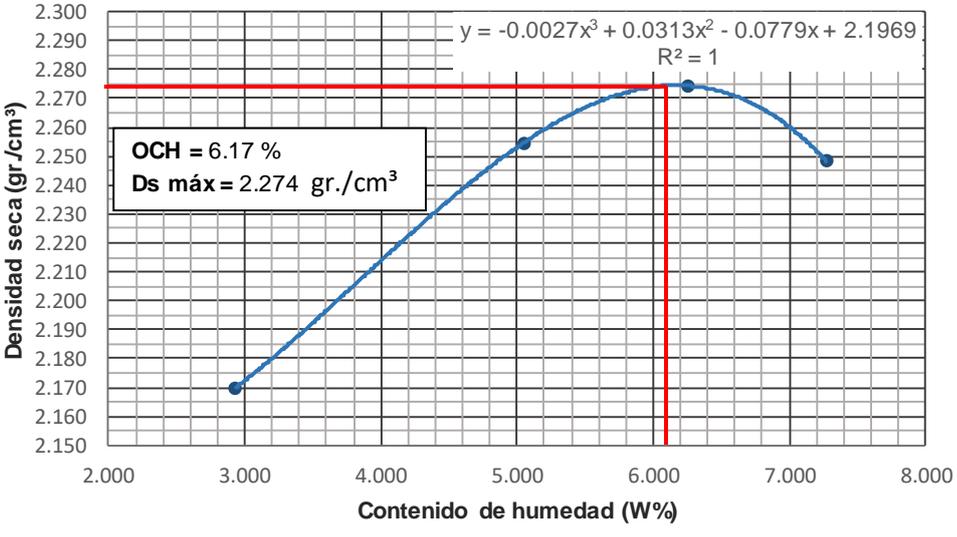
Anexo N° 04. Ensayo de límites de Atterberg

LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO					
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
	Investigadora	Mayra Johana Ugaz Garay	PROTOCOLO N°2 HOJAS 1 DE 1		
	Fecha	18/05/2017			
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material	Afirmado				
Cantera	"El Gavilán"				
Cantidad de muestra					
DATOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Peso de la tara Wt (gr.)	25.90	25.60	26.00		
Peso de la muestra húmeda + tara Wmh + t (gr.)	42.60	46.00	44.20		
Peso de la muestra seca + tara Wms + t (gr.)	40.70	43.70	42.20		
Peso del agua Ww (gr.)	1.90	2.30	2.00		
Peso de la muestra seca Wms (gr.)	14.80	18.10	16.20		
Contenido de humedad W%	12.84	12.71	12.35		
Numero de golpes	15.00	23.00	30.00		-
LL - LP	12.54				-
Índice de plasticidad	NO PLÁSTICO				
Límite Líquido					
					
OBSERVACIÓN / COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadora			
					
Sr. Víctor Cuzco Minchán	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Mayra Johana Ugaz Garay			

Anexo N° 05. Ensayo de Abrasión Los Ángeles

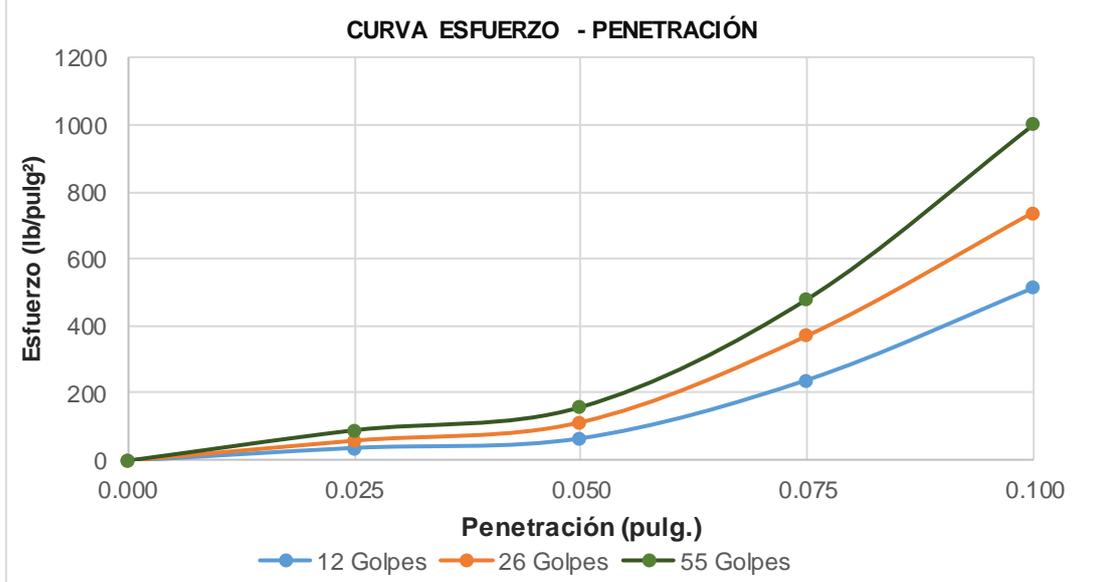
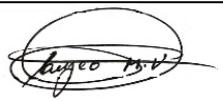
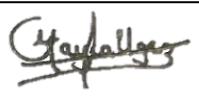
ABRASIÓN LOS ÁNGELES (MTC E 207 / ASTM C 131)					
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
	Investigadora	Mayra Johana Ugaz Garay	PROTOCOLO N°3 HOJAS 1 DE 1		
	Fecha	08/06/2017			
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material	Afirmado				
Cantera	"El Gavilán"				
GRANULOMETRÍA DEL ENSAYO					
Gradación	A	B	C	D	
Carga abrasiva (N° de esferas)	12	11	8	6	
GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADOS PARA ENSAYO					
Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz	A (gr.)	B (gr.)	C (gr.)	D (gr.)
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
Totales		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
DESGASTE A LA ABRASIÓN					
Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz	A (gr.)	B (gr.)	C (gr.)	D (gr.)
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"		2503.00		
1/2"	3/8"		2506.00		
3/8"	1/4"				
1/4"	N° 4				
N° 4	N° 8				
Totales		0.00	5009.00	0.00	0.00
Peso retenido en el tamiz N° 12		2836.90			
Coeficiente de desgaste a Los Ángeles		43.36%			
OBSERVACIÓN / COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis		Investigadora		
					
Sr. Víctor Cuzco Minchán	Ing. Alejandro Cubas Becerra		Mayra Johana Ugaz Garay		

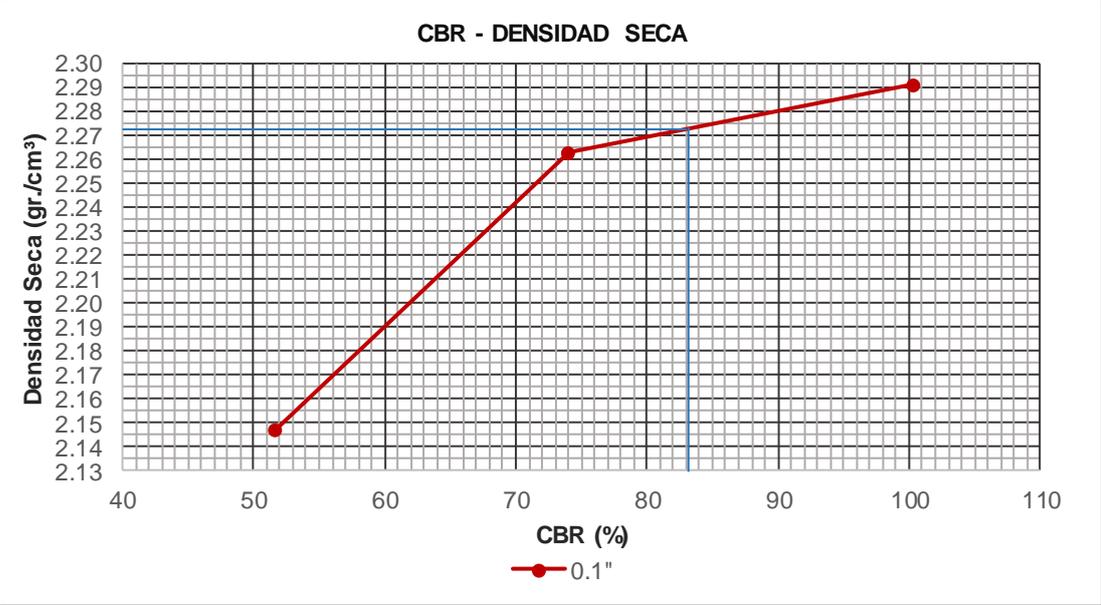
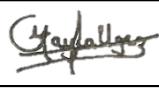
Anexo N° 06. Ensayo de compactación usando la energía modificada del material para afirmado de la cantera "El Gavilán"

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)								
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado					
	Investigadora		Mayra Johana Ugaz Garay			PROTOCOLO N°4		
	Fecha		11/06/2017					
INFORMACIÓN GENERAL								
Tipo de material			Afirmado					
Cantera			"El Gavilán"					
Cantidad de muestra			24000 gr.					
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3	Molde N°4				
Peso molde (gr.)	6600.00	6600.00	6600.00	6600.00				
Wmh + molde (gr.)	11240.00	11520.00	11620.00	11610.00				
Whm (gr.)	4640.00	4920.00	5020.00	5010.00				
Vhm (cm³)	2077.31	2077.31	2077.31	2077.31				
Dh (gr./cm³)	2.234	2.368	2.417	2.412				
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Wt (gr.)	25.90	25.60	26.00	26.90	25.40	26.70	26.20	26.30
Wmh + t (gr.)	257.30	236.10	235.90	215.80	233.70	249.00	259.50	304.50
Wms + t (gr.)	250.70	230.10	226.40	206.20	222.70	234.60	245.50	283.50
Ww (gr.)	6.60	6.00	9.50	9.60	11.00	14.40	14.00	21.00
Wms (gr.)	224.80	204.50	200.40	179.30	197.30	207.90	219.30	257.20
W (%)	2.94	2.93	4.74	5.35	5.58	6.93	6.38	8.16
W promedio (%)	2.935		5.047		6.251		7.274	
Ds (gr./cm³)	2.170		2.255		2.274		2.248	
 <p>Densidad seca (gr./cm³)</p> <p>Contenido de humedad (W%)</p> <p>$y = -0.0027x^3 + 0.0313x^2 - 0.0779x + 2.1969$ $R^2 = 1$</p> <p>OCH = 6.17 % Ds máx = 2.274 gr./cm³</p>								
OBSERVACIÓN COMENTARIO								
APROBACIÓN								
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis			Investigadora		
								
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Alejandro Cubas Becerra			Mayra Johana Ugaz Garay		

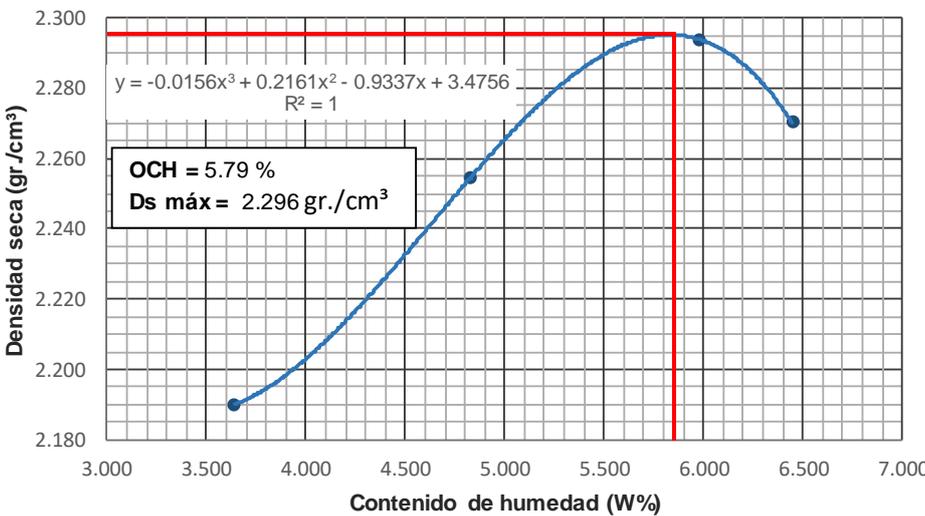
Anexo N° 07. Ensayo de CBR del material para afirmado de la cantera "El Gavilán"

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)											
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
		Investigadores		Mayra Johana Ugaz Garay				PROTOCOLO N°4			
		Fecha		13/06/2017							
INFORMACIÓN GENERAL											
Tipo de material			Afirmado								
Cantera			"El Gavilán"								
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3					
N° de capas		5		5		5					
N° de golpes		12		26		55					
Condición de la muestra		sin saturar	saturado	sin saturar	saturado	sin saturar	saturado				
Peso molde (gr.)		7635	7635	7675	7675	7480	7480				
Wmh + molde (gr.)		12815	12840	13100	13135	12980	12995				
Wmh (gr.)		5180	5205	5425	5460	5500	5515				
Vhm (cm ³)		2262.94	2262.94	2262.94	2262.94	2262.94	2262.94				
Dh (gr./cm ³)		2.29	2.30	2.40	2.41	2.43	2.44				
Contenido de humedad											
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wt (gr.)		25.60	26.20	26.30	26.60	26.70	26.20	27.20	26.10	27.00	
Wmh + t (gr.)		209.40	216.90	225.20	222.70	227.90	210.30	221.80	202.50	241.90	
Wms + t (gr.)		197.90	205.10	210.60	211.90	216.40	198.20	211.00	192.00	228.10	
Ww (gr.)		11.50	11.80	14.60	10.80	11.50	12.10	10.80	10.50	13.80	
Wms (gr.)		172.30	178.90	184.30	185.30	189.70	172.00	183.80	165.90	201.10	
W (%)		6.67	6.60	7.92	5.83	6.06	7.03	5.88	6.33	6.86	
W promedio (%)		6.64		7.92	5.95		7.03	6.10		6.86	
Ds (gr./cm ³)		2.147			2.263			2.291			
Hinchamiento											
Tiempo acumulado		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°4			
Horas Dias		Hinchamiento			Hinchamiento			Hinchamiento			
		mm.		%	mm.		%	mm.		%	
OBSERVACIÓN / COMENTARIO											
APROBACIÓN											
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis			Investigadora					
											
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Alejandro Cubas Becerra			Mayra Johana Ugaz Garay					

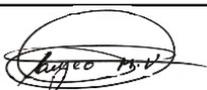
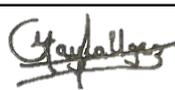
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)							
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
		Investigadores		Mayra Johana Ugaz Garay		PROTOCOLO N°4 HOJA 2 DE 3	
		Fecha		13/06/2017			
INFORMACIÓN GENERAL							
Tipo de material				Afirmado			
Cantera				"El Gavilán"			
Carga penetración							
Datos		D pisón= 2.00 Pulg.		A pisón= 3.14 Pulg. ²		F de carga= 7.5	
Penetración		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4	
mm.	Pulg	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	120.00	38.20	187.50	59.68	285.00	90.72
1.27	0.050	210.00	66.85	360.00	114.59	502.50	159.95
1.91	0.075	757.50	241.12	1170.00	372.42	1515.00	482.24
2.54	0.100	1620.00	515.66	2325.00	740.07	3150.00	1002.68
3.18	0.125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.81	0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<p style="text-align: center;">CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN</p>  <p style="text-align: center;">Esfuerzo (lb/pulg²)</p> <p style="text-align: center;">Penetración (pulg.)</p> <p style="text-align: center;">● 12 Golpes ● 26 Golpes ● 55 Golpes</p>							
OBSERVACIÓN / COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadora			
							
Sr. Víctor Cuzco Minchán		Ing. Alejandro Cubas Becerra		Mayra Johana Ugaz Garay			

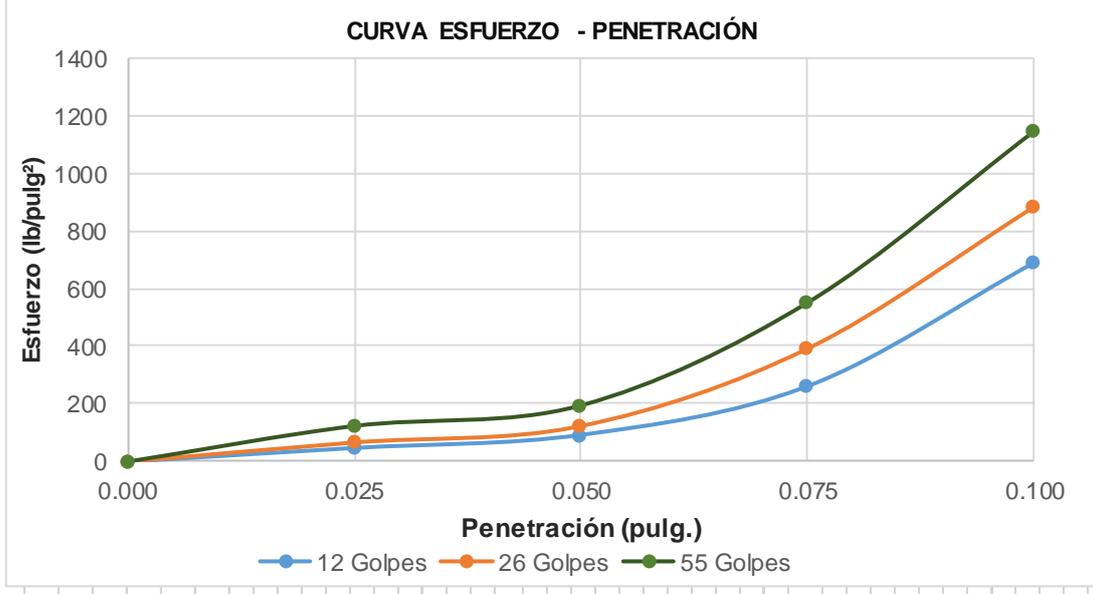
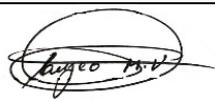
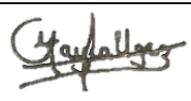
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)			
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	Mayra Johana Ugaz Garay	PROTOCOLO N°4 HOJA 3 DE 3
	Fecha	13/06/2017	
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de material	Afirmado		
Cantera	"El Gavilán"		
Esfuerzos para 0.1" de penetración, CBR y densidad seca			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	515.66	740.07	1002.68
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000	1000	1000
CBR (%)	51.57	74.01	100.27
Ds (gr./cm³)	2.147	2.263	2.291
<p style="text-align: center;">CBR - DENSIDAD SECA</p> 			
Resultados			
Máxima densidad seca (gr./cm³)	2.274		
CBR 0.1" (%)	83%		
OBSERVACIÓN / COMENTARIO			
APROBACIÓN			
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadora	
			
Sr. Víctor Cuzco Minchán	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Mayra Johana Ugaz Garay	

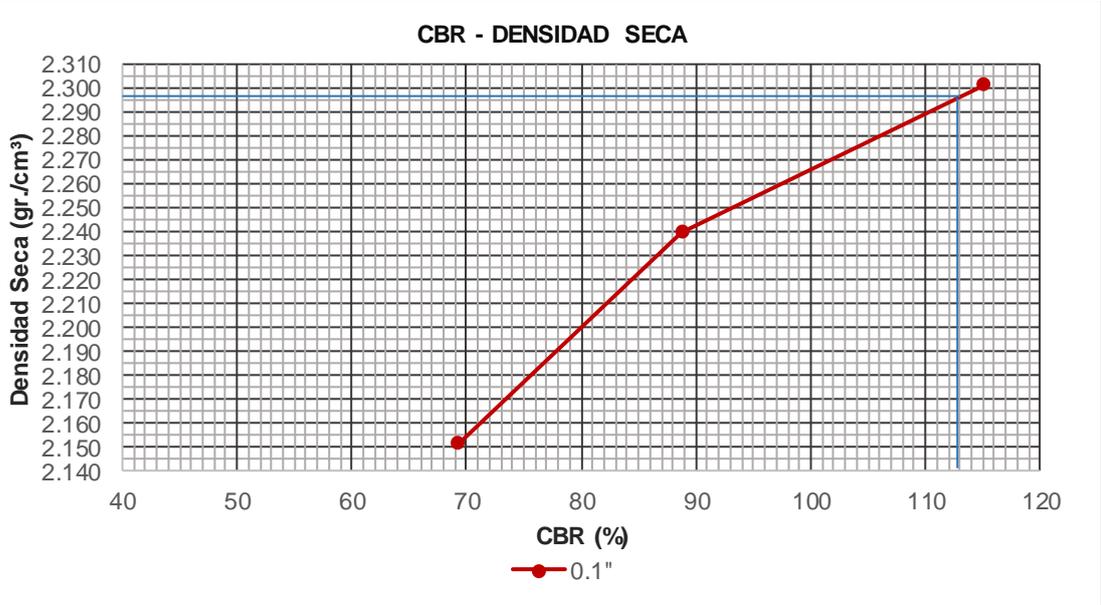
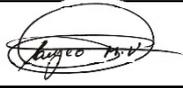
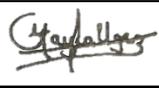
Anexo N° 08. Ensayo de compactación usando la energía modificada del material para afirmado de la cantera "El Gavilán" + 4% de emulsión asfáltica

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)								
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado					
	Investigadora		Mayra Johana Ugaz Garay			PROTOCOLO N°4		
	Fecha		14/06/2018					
INFORMACIÓN GENERAL								
Tipo de material		Afirmado + 4% de Emulsión Asfáltica						
Cantera		"El Gavilán"						
Cantidad de muestra		24000 gr.						
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3	Molde N°4				
Peso molde (gr.)	6600.00	6600.00	6600.00	6600.00				
Wmh + molde (gr.)	11315.00	11510.00	11650.00	11620.00				
Whm (gr.)	4715.00	4910.00	5050.00	5020.00				
Vhm (cm ³)	2077.31	2077.31	2077.31	2077.31				
Dh (gr./cm ³)	2.270	2.364	2.431	2.417				
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Wt (gr.)	25.90	25.60	26.00	26.90	25.40	26.70	26.20	26.30
Wmh + t (gr.)	262.10	296.50	273.80	255.30	321.30	266.10	286.20	347.10
Wms + t (gr.)	253.10	287.80	261.60	245.50	302.90	254.00	271.90	325.90
Ww (gr.)	9.00	8.70	12.20	9.80	18.40	12.10	14.30	21.20
Wms (gr.)	227.20	262.20	235.60	218.60	277.50	227.30	245.70	299.60
W (%)	3.96	3.32	5.18	4.48	6.63	5.32	5.82	7.08
W promedio (%)	3.640		4.831		5.977		6.448	
Ds (gr./cm ³)	2.190		2.255		2.294		2.270	
								
OBSERVACIÓN COMENTARIO								
APROBACIÓN								
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis			Investigadora		
								
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Alejandro Cubas Becerra			Mayra Johana Ugaz Garay		

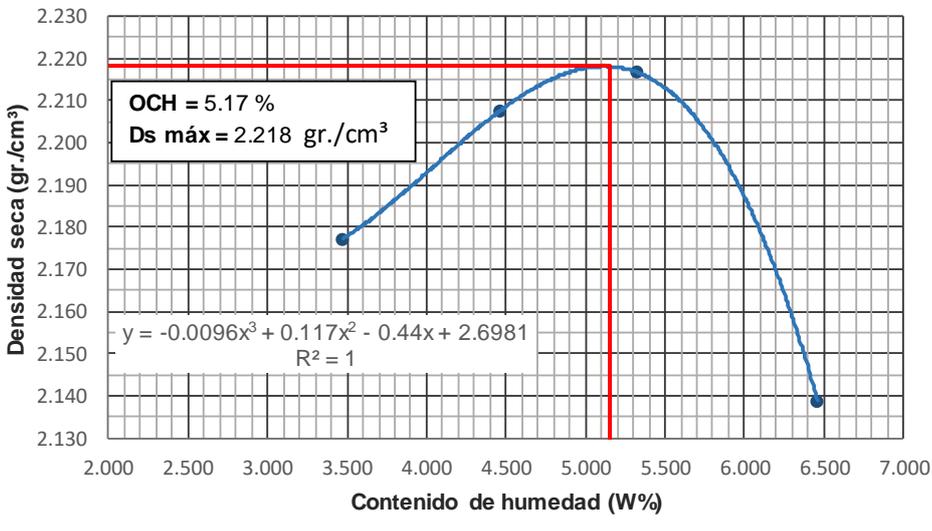
Anexo N° 09. Ensayo de CBR del material para afirmado de la cantera "El Gavilán" +
4% de emulsión asfáltica

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)											
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
		Investigadores		Mayra Johana Ugaz Garay				PROTOCOLO N°4			
		Fecha		13/06/2017							
INFORMACIÓN GENERAL											
Tipo de material		Afirmado + 4% de emulsión asfáltica									
Cantera		"El Gavilán"									
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3					
N° de capas		5		5		5					
N° de golpes		12		26		55					
Condición de la muestra		sin saturar		saturado		sin saturar		saturado			
Peso molde (gr.)		7260		7260		7100		7100			
Wmh + molde (gr.)		12340		12415		12430		12455			
Wmh (gr.)		5080		5155		5330		5355			
Vhm (cm ³)		2262.94		2262.94		2262.94		2262.94			
Dh (gr./cm ³)		2.24		2.28		2.36		2.37			
Contenido de humedad											
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wt (gr.)		27.10	26.80	26.70	27.10	27.10	27.10	27.10	27.00	28.30	
Wmh + t (gr.)		290.00	289.80	276.90	277.90	271.80	270.10	249.90	233.30	268.40	
Wms + t (gr.)		279.40	278.60	260.30	265.30	260.10	255.00	236.90	221.30	252.80	
Ww (gr.)		10.60	11.20	16.60	12.60	11.70	15.10	13.00	12.00	15.60	
Wms (gr.)		252.30	251.80	233.60	238.20	233.00	227.90	209.80	194.30	224.50	
W (%)		4.20	4.45	7.11	5.29	5.02	6.63	6.20	6.18	6.95	
W promedio (%)		4.32		7.11		5.16		6.63		6.19	
Ds (gr./cm ³)		2.152		2.240		2.240		2.301		2.301	
Hinchamiento											
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4					
Horas		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento					
		Dias	mm.	%	mm.	%	mm.		%		
OBSERVACIÓN / COMENTARIO											
APROBACIÓN											
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis			Investigadora					
											
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Alejandro Cubas Becerra			Mayra Johana Ugaz Garay					

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)							
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
		Investigadores		Mayra Johana Ugaz Garay		PROTOCOLO N°4 HOJA 2 DE 3	
		Fecha		13/06/2017			
INFORMACIÓN GENERAL							
Tipo de material		Afirmado + 4% de emulsión asfáltica					
Cantera		"El Gavilán"					
Carga penetración							
Datos		D pisón= 2.00 Pulg.		A pisón= 3.14 Pulg. ²		F de carga= 7.5	
Penetración		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4	
mm.	Pulg	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	150.00	47.75	210.00	66.85	390.00	124.14
1.27	0.050	292.50	93.11	390.00	124.14	615.00	195.76
1.91	0.075	825.00	262.61	1237.50	393.91	1740.00	553.86
2.54	0.100	2175.00	692.32	2790.00	888.08	3615.00	1150.69
3.18	0.125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.81	0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							
OBSERVACIÓN / COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadora			
							
Sr. Víctor Cuzco Minchán		Ing. Alejandro Cubas Becerra		Mayra Johana Ugaz Garay			

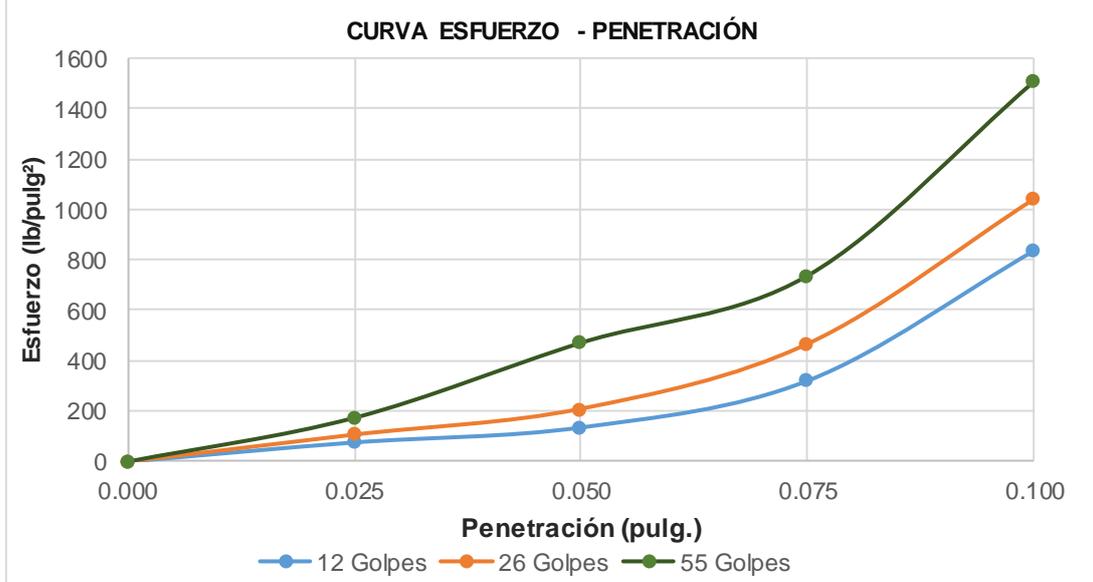
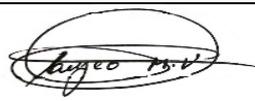
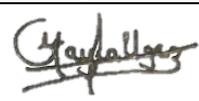
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	Mayra Johana Ugaz Garay	PROTOCOLO N°4 HOJA 3 DE 3
	Fecha	13/06/2017	
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de material	Afirmado + 4% de emulsión asfáltica		
Cantera	"El Gavilán"		
Esfuerzos para 0.1" de penetración, CBR y densidad seca			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	692.32	888.08	1150.69
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000	1000	1000
CBR (%)	69.23	88.81	115.07
Ds (gr./cm³)	2.152	2.240	2.301
CBR - DENSIDAD SECA 			
Resultados			
Máxima densidad seca (gr./cm³)	2.296		
CBR 0.1" (%)	113%		
OBSERVACIÓN / COMENTARIO			
APROBACIÓN			
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadora	
			
Sr. Víctor Cuzco Minchán	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Mayra Johana Ugaz Garay	

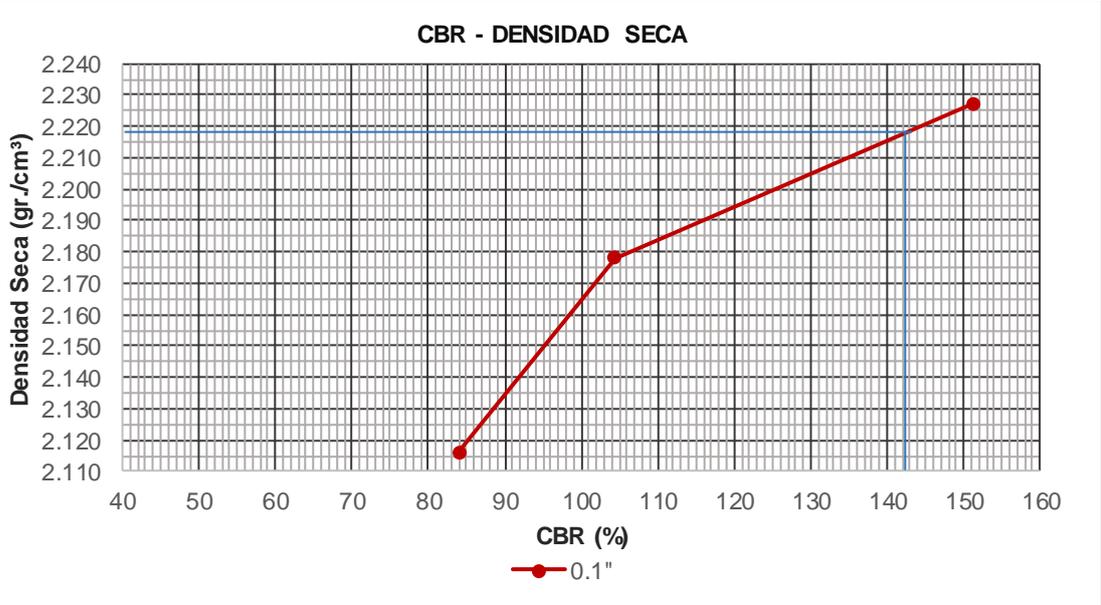
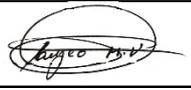
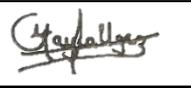
**Anexo N° 10. Ensayo de compactación usando la energía modificada del material para
afirmado de la cantera "El Gavilán" + 5% de emulsión asfáltica**

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)								
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado					
	Investigadora		Mayra Johana Ugaz Garay			PROTOCOLO N°4 HOJAS 1 DE 1		
	Fecha		04/10/2018					
INFORMACIÓN GENERAL								
Tipo de material		Afirmado + 5% de emulsión asfáltica						
Cantera		"El Gavilán"						
Cantidad de muestra		24000 gr.						
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3	Molde N°4				
Peso molde (gr.)	6600.00	6600.00	6600.00	6600.00				
Wmh + molde (gr.)	11280.00	11390.00	11450.00	11330.00				
Whm (gr.)	4680.00	4790.00	4850.00	4730.00				
Vhm (cm³)	2077.31	2077.31	2077.31	2077.31				
Dh (gr./cm³)	2.253	2.306	2.335	2.277				
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Wt (gr.)	28.20	27.20	28.40	27.00	26.50	27.10	25.90	25.60
Wmh + t (gr.)	254.00	277.70	251.20	278.20	272.40	303.40	381.70	301.40
Wms + t (gr.)	246.50	269.20	242.30	266.80	261.00	288.30	357.90	286.40
Ww (gr.)	7.50	8.50	8.90	11.40	11.40	15.10	23.80	15.00
Wms (gr.)	218.30	242.00	213.90	239.80	234.50	261.20	332.00	260.80
W (%)	3.44	3.51	4.16	4.75	4.86	5.78	7.17	5.75
W promedio (%)	3.474		4.457		5.321		6.460	
Ds (gr./cm³)	2.177		2.207		2.217		2.139	
								
OBSERVACIÓN COMENTARIO								
APROBACIÓN								
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis			Investigadora			
								
Sr. Víctor Cuzco Minchán		Ing. Alejandro Cubas Becerra			Mayra Johana Ugaz Garay			

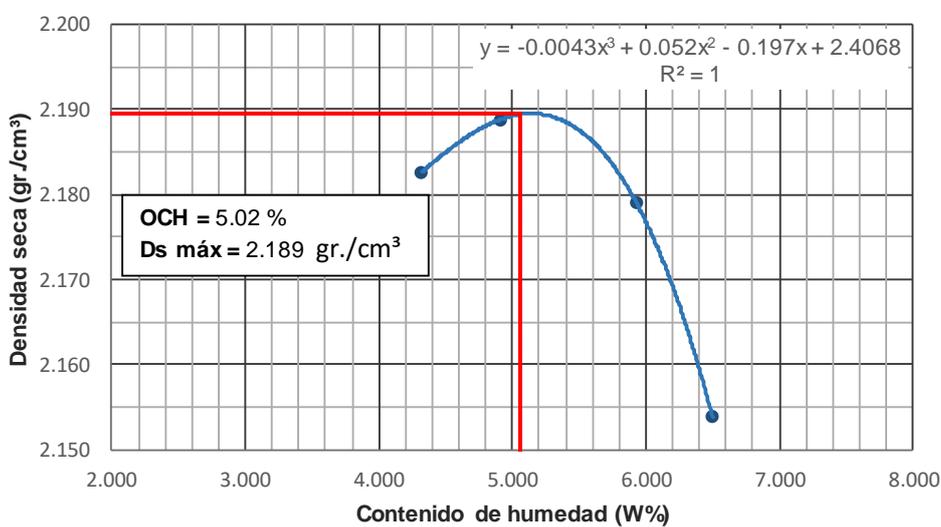
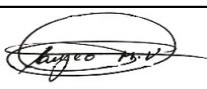
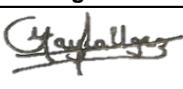
Anexo N° 11. Ensayo de CBR del material para afirmado de la cantera "El Gavilán" +
5% de emulsión asfáltica

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)											
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
		Investigadores		Mayra Johana Ugaz Garay				PROTOCOLO N°4			
		Fecha		24/01/2019							
INFORMACIÓN GENERAL											
Tipo de material		Afirmado + 5% de emulsión asfáltica									
Cantera		"El Gavilán"									
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3					
N° de capas		5		5		5					
N° de golpes		12		26		55					
Condición de la muestra		sin saturar		saturado		sin saturar		saturado			
Peso molde (gr.)		7545		7545		7395		7395			
Wmh + molde (gr.)		12580		12600		12620		12690			
Wmh (gr.)		5035		5055		5225		5295			
Vhm (cm ³)		2262.94		2262.94		2262.94		2262.94			
Dh (gr./cm ³)		2.22		2.23		2.31		2.34			
Contenido de humedad											
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wt (gr.)		26.80	27.10	27.30	27.00	26.80	28.60	27.40	27.10	26.70	
Wmh + t (gr.)		266.50	316.90	279.10	274.80	272.40	280.00	248.20	252.80	227.50	
Wms + t (gr.)		254.90	302.60	264.70	260.80	258.40	265.50	236.90	240.60	216.30	
Ww (gr.)		11.60	14.30	14.40	14.00	14.00	14.50	11.30	12.20	11.20	
Wms (gr.)		228.10	275.50	237.40	233.80	231.60	236.90	209.50	213.50	189.60	
W (%)		5.09	5.19	6.07	5.99	6.04	6.12	5.39	5.71	5.91	
W promedio (%)		5.14		6.07		6.02		6.12		5.55	
Ds (gr./cm ³)		2.116			2.178			2.227			
Hinchamiento											
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4					
Horas		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento					
		Días	mm.	%	mm.	%	mm.		%		
OBSERVACIÓN / COMENTARIO											
APROBACIÓN											
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis			Investigadora					
											
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Alejandro Cubas Becerra			Mayra Johana Ugaz Garay					

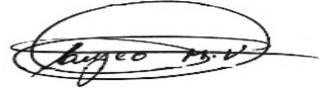
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)							
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
		Investigadores		Mayra Johana Ugaz Garay		PROTOCOLO N°4 HOJA 2 DE 3	
		Fecha		24/01/2019			
INFORMACIÓN GENERAL							
Tipo de material		Afirmado + 5% de emulsión asfáltica					
Cantera		"El Gavilán"					
Carga penetración							
Datos		D pisón= 2.00 Pulg.	A pisón= 3.14 Pulg. ²	F de carga= 7.5			
Penetración		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4	
mm.	Pulg	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	240.00	76.39	337.50	107.43	547.50	174.27
1.27	0.050	427.50	136.08	660.00	210.08	1485.00	472.69
1.91	0.075	1012.50	322.29	1470.00	467.92	2325.00	740.07
2.54	0.100	2640.00	840.34	3277.50	1043.26	4755.00	1513.56
3.18	0.125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.81	0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<p style="text-align: center;">CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN</p>  <p style="text-align: center;">Esfuerzo (lb/pulg²)</p> <p style="text-align: center;">Penetración (pulg.)</p> <p style="text-align: center;">● 12 Golpes ● 26 Golpes ● 55 Golpes</p>							
OBSERVACIÓN / COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadora			
							
Sr. Víctor Cuzco Minchán		Ing. Alejandro Cubas Becerra		Mayra Johana Ugaz Garay			

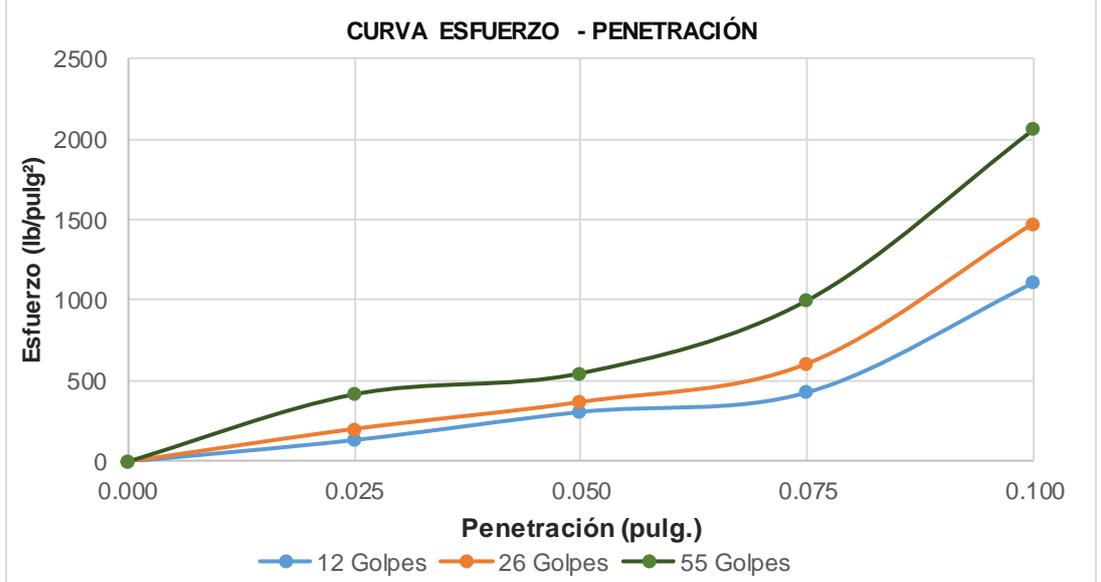
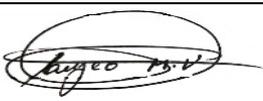
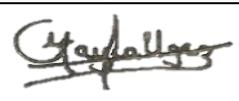
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)			
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	Mayra Johana Ugaz Garay	PROTOCOLO N°4 HOJA 3 DE 3
	Fecha	24/01/2019	
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de material	Afirmado + 5% de emulsión asfáltica		
Cantera	"El Gavilán"		
Esfuerzos para 0.1" de penetración, CBR y densidad seca			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	840.34	1043.26	1513.56
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000	1000	1000
CBR (%)	84.03	104.33	151.36
Ds (gr./cm³)	2.116	2.178	2.227
CBR - DENSIDAD SECA 			
Resultados			
Máxima densidad seca (gr./cm³)	2.218		
CBR 0.1" (%)	142%		
OBSERVACIÓN / COMENTARIO			
APROBACIÓN			
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadora	
			
Sr. Víctor Cuzco Minchán	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Mayra Johana Ugaz Garay	

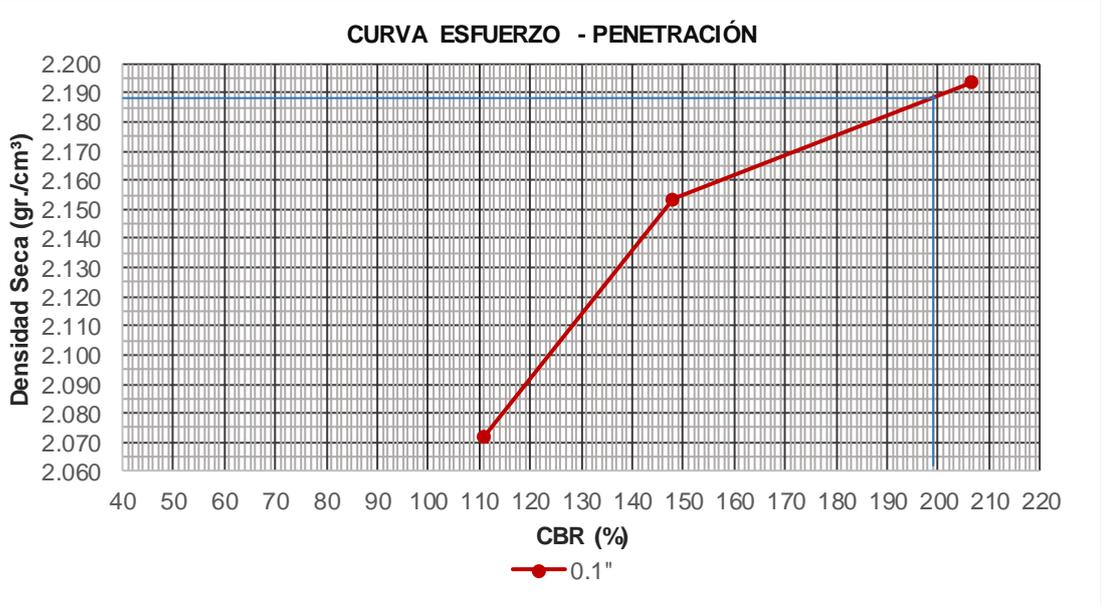
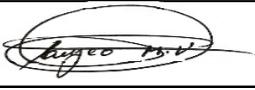
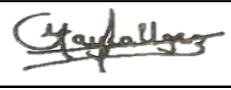
Anexo N° 12. Ensayo de compactación usando la energía modificada del material para afirmado de la cantera "El Gavilán" + 6% de emulsión asfáltica

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)								
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado					
	Investigadora		Mayra Johana Ugaz Garay			PROTOCOLO N°4		
	Fecha		08/10/2018					
INFORMACIÓN GENERAL								
Tipo de material		Afirmado + 6% de emulsión asfáltica						
Cantera		"El Gavilán"						
Cantidad de muestra		24000 gr.						
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3	Molde N°4				
Peso molde (gr.)	6600.00	6600.00	6600.00	6600.00				
Wmh + molde (gr.)	11330.00	11370.00	11370.00	11395.00				
Whm (gr.)	4730.00	4770.00	4770.00	4795.00				
Vhm (cm ³)	2077.31	2077.31	2077.31	2077.31				
Dh (gr./cm ³)	2.277	2.296	2.296	2.308				
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Wt (gr.)	27.00	27.10	26.10	27.30	27.20	26.90	26.70	27.40
Wmh + t (gr.)	264.50	250.60	291.80	285.80	281.30	275.30	308.00	354.30
Wms + t (gr.)	254.60	241.40	280.00	273.10	267.60	260.90	292.80	332.10
Ww (gr.)	9.90	9.20	11.80	12.70	13.70	14.40	15.20	22.20
Wms (gr.)	227.60	214.30	253.90	245.80	240.40	234.00	266.10	304.70
W (%)	4.35	4.29	4.65	5.17	5.70	6.15	5.71	7.29
W promedio (%)	4.321		4.907		5.926		6.499	
Ds (gr./cm ³)	2.183		2.189		2.179		2.154	
 <p style="text-align: center;">$y = -0.0043x^3 + 0.052x^2 - 0.197x + 2.4068$ $R^2 = 1$</p> <p style="text-align: center;">OCH = 5.02 % Ds máx = 2.189 gr./cm³</p>								
OBSERVACIÓN COMENTARIO								
APROBACIÓN								
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis			Investigadora		
								
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Alejandro Cubas Becerra			Mayra Johana Ugaz Garay		

Anexo N° 13. Ensayo de CBR del material para afirmado de la cantera "El Gavilán" +
6% de emulsión asfáltica

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)											
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
		Investigadores		Mayra Johana Ugaz Garay				PROTOCOLO N°4			
		Fecha		28/01/2019							
INFORMACIÓN GENERAL											
Tipo de material		Afirmado + 6% de emulsión asfáltica									
Cantera		"El Gavilán"									
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3					
N° de capas		5		5		5					
N° de golpes		12		26		55					
Condición de la muestra		sin saturar		saturado		sin saturar		saturado			
Peso molde (gr.)		7211		7211		8035		8035			
Wmh + molde (gr.)		12068		12235		13062		13265			
Wmh (gr.)		4857		5024		5027		5230			
Vhm (cm ³)		2262.94		2262.94		2262.94		2262.94			
Dh (gr./cm ³)		2.15		2.22		2.22		2.31			
Contenido de humedad											
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wt (gr.)		27.40	27.40	27.30	27.50	28.60	27.80	27.50	26.80	27.20	
Wmh + t (gr.)		261.20	254.50	254.20	250.60	243.20	243.70	245.90	253.20	273.30	
Wms + t (gr.)		253.70	246.10	238.50	243.70	236.70	230.70	240.80	247.80	259.40	
Ww (gr.)		7.50	8.40	15.70	6.90	6.50	13.00	5.10	5.40	13.90	
Wms (gr.)		226.30	218.70	211.20	216.20	208.10	202.90	213.30	221.00	232.20	
W (%)		3.31	3.84	7.43	3.19	3.12	6.41	2.39	2.44	5.99	
W promedio (%)		3.58		7.43		3.16		6.41		2.42	
Ds (gr./cm ³)		2.072		2.153		2.153		2.194		2.194	
Hinchamiento											
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4					
Horas		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento					
		mm.	%	mm.	%	mm.		%			
OBSERVACIÓN / COMENTARIO											
APROBACIÓN											
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis			Investigadora					
											
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Alejandro Cubas Becerra			Mayra Johana Ugaz Garay					

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)							
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
		Investigadores		Mayra Johana Ugaz Garay		PROTOCOLO N°4 HOJA 2 DE 3	
		Fecha		28/01/2019			
INFORMACIÓN GENERAL							
Tipo de material		Afirmado + 6% de emulsión asfáltica					
Cantera		"El Gavilán"					
Carga penetración							
Datos		D pisón= 2.00 Pulg.		A pisón= 3.14 Pulg. ²		F de carga= 7.5	
Penetración		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4	
mm.	Pulg	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	420.00	133.69	637.50	202.92	1312.50	417.78
1.27	0.050	967.50	307.96	1162.50	370.04	1725.00	549.08
1.91	0.075	1350.00	429.72	1912.50	608.77	3150.00	1002.68
2.54	0.100	3487.50	1110.11	4650.00	1480.14	6487.50	2065.04
3.18	0.125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.81	0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							
OBSERVACIÓN / COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadora			
							
Sr. Víctor Cuzco Minchán		Ing. Alejandro Cubas Becerra		Mayra Johana Ugaz Garay			

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)			
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5%, 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	Mayra Johana Ugaz Garay	PROTOCOLO N°4 HOJA 3 DE 3
	Fecha	28/01/2019	
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de material	Afirmado + 6% de emulsión asfáltica		
Cantera	"El Gavilán"		
Esfuerzos para 0.1" de penetración, CBR y densidad seca			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	1110.11	1480.14	2065.04
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000	1000	1000
CBR (%)	111.01	148.01	206.50
Ds (gr./cm³)	2.072	2.153	2.194
CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN			
 <p>Densidad Seca (gr./cm³)</p> <p>CBR (%)</p> <p>—●— 0.1"</p>			
Resultados			
Máxima densidad seca (gr./cm³)	2.189		
CBR 0.1" (%)	199%		
OBSERVACIÓN / COMENTARIO			
APROBACIÓN			
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadora	
			
Sr. Víctor Cuzco Minchán	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Mayra Johana Ugaz Garay	

Anexo N° 14. Panel Fotográfico



Figura 21: Cuarteo del material para ensayo granulométrico.



Figura 22: Lavado de material para ensayo granulométrico.



Figura 23: Preparación del material para ensayo de compactación.



Figura 24: Ensayo de compactación.



Figura 25: Extracción de muestras del material compactado en molde.



Figura 26: Ensayo de CBR.

Anexo N° 15. Ficha de Seguridad Emulsión Asfáltica



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

45 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

FICHA DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO

EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA DE ROTURA LENTA

F. Aprob: 05/01/15

Versión. 02

1. Identificación del Producto y la Empresa

Nombre Alternativo : CSS-1H, CRL-1H
Edición : Enero 2015 – Versión. 01

Empresa : CAH Contratistas Generales S.A
Dirección : Planta: Calle 4, Urb. Grimanesa Mz. C Lote 4-5 – Callao – Callao
Teléfono : 5722457
Portal Institucional : www.camohesa.com.pe

CAS # : N.P

2. Composición e Informaciones sobre los Componentes

Naturaleza Química

Corresponde al asfalto; el cual es una combinación compleja de compuestos orgánicos de alto peso molecular, principalmente hidrocarburos obtenidos a través de procesos realizado a residuos de refinación de crudos de petróleo, el que ha sido emulsionado en agua bajo la acción de un agente emulsificante químico en agua y en medio ácido.

Componentes:

Nombre Común	% en peso
asfalto	
Fase acuosa (agua en medio surfactante)	38-43
aditivos	
Ningún componente está presente con una concentración suficiente como para requerir su clasificación como elemento peligroso para la salud.	

PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS
Callao: Calle 4. Urb. Grimanesa Mz C. Lt. 4-5 – Telfs: 5722457 – 572-3447 – 717-7388 Anexo LAB. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs.: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225221
CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
E-mail: camohesa@terra.com.pe www.camohesa.com.pe

Pág. 1/8

CAH

CONTRATISTAS GENERALES S.A.

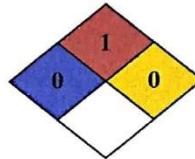
45 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

3. Identificación de los peligros

ROMBO DE SEGURIDAD – NFPA 704

- Salud : 0
- Inflamabilidad : 1
- Reactividad : 0



Salud

- Evitar el contacto con la piel e inhalación, ya que puede ser medianamente irritante.
- Por lo anterior, mantener además una buena práctica de higiene personal y un seguro manipuleo del producto.

Seguridad

- El producto no está clasificado como inflamable, pero bajo la acción del calor, reaccionará en forma violenta proyectando material caliente.

Medio Ambiente

- No es biodegradable.

4. Medidas de Primeros Auxilios

En caso de inhalación:

- En caso de inhalación proporcionar aire fresco.
- En casos de dificultad respiratoria aplicar respiración artificial.
- En caso de pérdida de conocimiento sin problemas respiratorios colocar en posición y procurar aire fresco.
- Si los síntomas persisten, obtener ayuda médica inmediata.

En caso de contacto con la piel:

- Se debe evitar el contacto con la piel, aún cuando producto no presenta efectos adversos salvo en pieles muy sensibles.
- En caso de contacto con emulsión asfáltica, remover inmediatamente con abundante agua y jabón.

PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

Callao: Calle 4. Urb. Grimaenza Mz C. Lt. 4-5 –Telfs: 5722457– 572-3447–717-7388 Anexo LAB. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs.: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225221
CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
E-mail: camohesa@terra.com.pe www.camohesa.com.pe

Pág. 2/8



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

45 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

- Las ropas contaminadas deben ser removidas lo más rápido posible. Las prendas deben ser lavadas antes de volver a usarse.

5. Medidas de ataque contra incendio

Producto no presenta riesgos de inflamación. Como prevención se recomienda:

Equipo de Extinción

- Espuma y polvo químico seco. Dióxido de carbono, arena y tierra puede usarse para controlar fuegos de poca magnitud.
- La espuma deberá ser arrojada gradualmente de manera de formar un manto sobre la superficie del líquido que arde.
- Cuando se emplee dióxido de carbono o polvo químico seco deberá considerarse la dirección del viento para una correcta aplicación

No emplear

- Chorros de agua.
- Extintores a base de HALON que dañan el medio ambiente.

Evitar

- Calentar el producto sobre 80°C, ya que reaccionará en forma violenta proyectando material.

Equipos de Protección

- Usar adecuados equipos de protección que deberán incluir aparatos de respiración cuando se ingresa a la zona de fuego. Los envases, estructuras y equipos adyacentes al fuego deben ser enfriados con agua en forma de neblina.

6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

Cuidados personales

- Evitar que la emulsión asfáltica entre en contacto con agua u otros líquidos.
- Minimizar el contacto con la piel.
- Usar guantes y botas impermeables.
- El personal no deberá ingresar a los tanques que han contenido asfaltos o asfalto diluido si no ha sido purgado.
- Emplear aparatos de respiración si se sospecha la presencia de sulfhídrico.
- Evacuar la zona de operaciones de todo personal ajeno a la actividad.
- Evitar fuentes de ignición.
- Si se detectan pérdidas de producto procurar su detención siempre y cuando no pongan en riesgo a los operadores.

PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

Callao: Calle 4. Urb. Grimaneza Mz C. Lt. 4-5 –Telfs: 5722457– 572-3447–717-7388 Anexo LAB. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs.: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225221
CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
E-mail: camohesa@terra.com.pe www.camohesa.com.pe

Pág.3/8

CAH

CONTRATISTAS GENERALES S.A.

45 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

Preservación del medio ambiente

- Prevenir el rociado o vertido a drenajes, acequias o ríos empleando arena, tierra o cualquier otra barrera apropiada para detener derrames accidentales. Si inevitablemente alguno de los accidentes antes mencionados ocurrieran avisar a las autoridades pertinentes.

Pequeños Derrames

- Absorber con arena o tierra. Recoger y transportar en recipiente apropiado hasta su destino definitivo de acuerdo a la legislación vigente.

Grandes Derrames

- Debe prevenirse su dispersión con arena o tierra. Proceder igual que en pequeños derrames.

7. Manipulamiento y Almacenamiento

Manipulación:

Precauciones generales: Utilizar prendas sueltas, en buenas condiciones, con el cuello cerrado y las mangas atadas. También deben protegerse manos y brazos. Usar botas de unos 15 cm de altas y atadas. El producto debe ser manejado a la menor temperatura posible.

Condiciones especiales: NP

Almacenamiento:

Temperatura y productos de descomposición: En caliente los vapores están formados principalmente por agua, a temperaturas más altas los vapores son más ricos en compuestos orgánicos.

Reacciones peligrosas: Puede arder rápidamente cuando se mezcla con nafta u otros disolventes volátiles.

Condiciones de almacenamiento: Contenedores debidamente cerrados y etiquetados. No someter el producto a cambios extremos de temperatura. No congelar

Materiales incompatibles: Oxidantes fuertes y materiales que reaccionan con el agua.

PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

Callao: Calle 4. Urb. Grimaneza Mz C. Lt. 4-5 –Telfs: 5722457– 572-3447–717-7388 Anexo LAB. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs.: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225221
CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
E-mail: camohesa@terra.com.pe www.camohesa.com.pe

Pág. 4/8



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

45 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

8. Control de exposición y protección individual

Equipos de protección personal:

Protección respiratoria

El producto es líquido. Cuando se calienta desprende principalmente vapor de agua, no presentando peligro a nivel respiratorio.

Protección ocular: Gafas de seguridad, para evitar proyecciones.

Protección cutánea: Guantes.

Otras protecciones: Visor y cremas para la piel.

Precauciones general: Cuando se manipula asfalto en lugares cerrados, debe existir una buena ventilación local.

Prácticas higiénicas en el trabajo:

Deben usarse duchas con agua caliente. Usar jabón y no otros productos con disolvente. Tanto la ropa como los útiles deben cambiarse frecuentemente y limpiarse en seco. La ropa muy contaminada debe cambiarse inmediatamente. Debe revisarse el estado de los guantes para evitar una contaminación interna. Utilizar cremas para la piel después del trabajo.

9. Propiedades físico-químicas

Aspecto	: Líquido a temperatura ambiente.
pH	: 1.5 - 3
Color	: Negro (ASTM D-1500)
Olor	: Característico.
Rango de ebullición	: >100°C
Punto de congelación	: < 0°C (ASTM D-97)
Propiedades explosivas	: NP
Propiedades comburentes	: NP
Densidad	: 1,010 g/cm ³ a 25°C (ASTM D-1298)
Temperatura y presión críticas	: NP
Solubilidad en agua	: Se dispersa.
Solubilidad en Tricloroetileno	: > 99.1
Viscosidad 25°C, SSF	: 20-100 (ASTM D-88).

PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS
Callao: Calle 4. Urb. Grimaneza Mz C. Lt. 4-5 – Telfs: 5722457– 572-3447–717-7388 Anexo LAB. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs.: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225221
CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
E-mail: camohesa@terra.com.pe www.camohesa.com.pe

Pág.5/8



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

45 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

10. Estabilidad y reactividad

Estabilidad	: Estable a temperatura ambiente.
Condiciones a evitar	: La congelación daña la emulsión y el contacto con ácidos la coagula.
Incompatibilidades	: Oxidantes fuertes y materiales que reaccionan con el agua.
Productos de descomposición	peligrosos: No se descompone bajo condiciones normales de uso y de almacenamiento.
Riesgo de polimerización	: NP
Condiciones a evitar	: NP

11. Informaciones toxicológicas

Vía de entrada	: Ingestión accidental.
Efectos agudos y crónicos	: NP
Carcinogenicidad	: NP
Toxicidad para la reproducción	: NP
Condiciones médicas agravadas por la exposición:	Problemas dermatológicos.

12. Informaciones ecológicas

Movilidad	: Líquido en condiciones ambientales. Si penetra en la tierra se adhiere a las partículas inmovilizándose.
Biodegradabilidad	: No es biodegradable.
Ecotoxicidad	: Es posible diluir en agua.

13. Consideraciones sobre tratamiento y disposición

Desechos	: No deben contaminarse la tierra y los cursos de agua con emulsión asfáltica. Los desechos provenientes de derrames u operaciones de limpieza de tanques deberán disponerse en contenedores o envases perfectamente identificados y disponerlos conforme a la reglamentación vigente.
-----------------	--

PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS
Callao: Calle 4. Urb. Grimaneza Mz C. Lt. 4-5 -Telfs: 5722457- 572-3447-717-7388 Anexo LAB. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs.: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225221
CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
E-mail: camohesa@terra.com.pe www.camohesa.com.pe

Pág. 6/8

CAH

CONTRATISTAS GENERALES S.A.

45 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

14. Informaciones para transporte

Precauciones especiales: Estable a temperatura ambiente y durante el transporte.
Transportar en contenedores debidamente cerrados y etiquetados.

- **ADR/RID:** ACUERDO EUROPEO CONCERNIENTE A LA CARGA DE MATERIALES PELIGROSOS POR CARRETERAS / ACUERDO EUROPEO CONCERNIENTE A LA CARGA DE MATERIALES PELIGROSOS POR FERROCARRIL

Información Complementaria
Producto No Peligroso

- **IMO/IMDG:** ORGANIZACIÓN MARITIMA INTERNACIONAL

Información Complementaria
Producto No Peligroso

- **IATA/ICAO:** ASOCIACION INTERNACIONAL DE TRANSPORTE AEREO ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL

Información Complementaria
Producto No Peligroso

15. Información Reglamentaria

Clasificación: No aplicable
Etiquetado : No aplicable
Frasas R : No aplicable
Frasas S : No aplicable

PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS
Callao: Calle 4. Urb. Grimaneza Mz C. Lt. 4-5 --Telfs: 5722457-- 572-3447-717-7388 Anexo LAB. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs.: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225221
CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
E-mail: camohesa@terra.com.pe www.camohesa.com.pe

Pág. 7/8



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

45 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

16. Información Adicional

En el Perú, el producto está reglamentado por normas dictadas por el Ministerio de Energía y Minas:

- Reglamento de Seguridad para el Transporte de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 026-94-EM (10/05/94), y modificaciones.
- Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 052-1993-EM (18/11/1993), y modificaciones.

- Reglamento de medio ambiente para las actividades de hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 015-2006-EM (02/03/2006), y modificaciones.
- Reglamentos para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos aprobados por los Decretos Supremos N° 030-1998-EM(03/08/1998) y N° 045-2001-EM (26/07/2001), y modificaciones.
- Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 043-2007-EM (22/08/2007), y modificaciones.

El uso del producto fuera del territorio peruano está sujeto a la reglamentación vigente de cada país.

EMERGENCIAS a nivel nacional: 116

Dirección General de Capitanías y Guardacostas: (511) 209-9300

Nota: El presente documento constituye información básica para que el usuario tome los cuidados necesarios a fin de prevenir accidentes. CAH CONTRATISTAS GENERALES S.A no se responsabiliza por actividades fuera de su control.

PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS
Callao: Calle 4. Urb. Grímaneza Mz C. Lt. 4-5 – Telfs: 5722457– 572-3447–717-7388 Anexo LAB. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs.: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225221
CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
E-mail: camohesa@terra.com.pe www.camohesa.com.pe

Pág. 8/8

Anexo N° 16. Ficha de Control de Calidad Emulsión Asfáltica



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

47 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACIÓN, ASFALTOS EMULSIONADOS, MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

CONTROL DE CALIDAD DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta
CSS-1H, CRL-1H

DATOS GENERALES

CLIENTE : MAYRA JOHANA UGAZ GARAY	FECHA DE FABRICACION : 19-01-18
	FECHA DE EMBARQUE : 23-01-18
	LOTE N° : EM018-01-18

PRUEBAS A LA EMULSIÓN

Ensayos	Unidad	Resultado	Especificación NTP 321.059 / EG-2013	Método De Referencia
1. Viscosidad Saybol de Emulsiones Asfálticas 25°C	seg.	24	20 Min	ASTM D 88 MTC E-403.00
2. Tamizado de las Emulsiones Asfálticas	%	0.02	0.1 Max	ASTM D 6933 MTC E-405.00
3.- Carga de Partícula de las emulsiones asfálticas	(+)	(+)	Positivo	ASTM D 7402 MTC E-407.00
4. Estabilidad al almacenamiento (24h)	%	0.1	1.0 Max	ASTM D 6930-04
5. Residuo por Destilación	%	62	57.0 Min	ASTM D 244 MTC E-401.00

PRUEBAS AL RESIDUO POR DESTILACIÓN

Ensayos	Unidad	Resultado	Especificación NTP 321.059 / EG-2013	Método De Referencia
1. Penetración de los Materiales Asfálticos, 25°C	0.1mm	75	40-90	ASTM D 5 MTC E-304.00
2. Ductilidad de los Materiales Bituminosos, 25°C, 5cm/1	cm.	74	40 min	ASTM D 113 MTC E-306.00
3. Solubilidad en Tricloroetileno, %	%	99	97.5 min	ASTM D 2042 MTC E 302

* Especificación de emulsiones cationicas, EG-2013 tabla 415-04

EDICIÓN : Enero 2016, Versión 01 REVISADO POR : Ing. M. V. B.
HECHO POR : Tec. M. C. D. FECHA DE ENSAYO : 22-01-18
SUPERVISADO : Ing. I. C. R. PESO ESPECIFICO EMULSION : 1004 g/l

OBSERVACIONES:

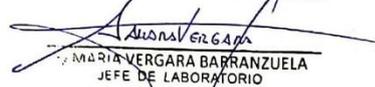
- * Para largos periodos de almacenamiento se recomienda recircula la emulsión por lo menos una vez a la semana.
- * Almanecar la emulsion asfalticas de acuerdo a lo indicado por el manual basico de emulsiones asfalticas MS-19
- * La solución jabonosa se diseño con un valor de pH = 1.9

Original: Cliente

Copia 1: Área despacho

Copia 2: Área Laboratorio

CAH CONTRATISTAS GENERALES S.A.


MARIA VERGARA BARRANZUELA
JEFE DE LABORATORIO

- * El presente documento concierne única y exclusivamente a la muestra sometida a ensayo y al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.
- * Queda terminantemente prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización expresa por escrito por CAH Contratistas Generales S.A, asimismo la empresa no se responsabiliza por los daños ó pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado del producto

Planta de Emulsiones Asfálticas y Asfaltos Modificados con Polimeros

Callao: Calle 4-5, Urb. Grimaneza Mz C, Lt 5 ----Telfs: 5722457-- 572-3447-- 717-7388 Anexo Lab. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs.: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225221
CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
E-mail: camohesa@terra.com.pe www.camohesa.com.pe