

“INFLUENCIA Y COMPARACIÓN DE LA
INCORPORACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA DE
ROTURA LENTA, RÁPIDA Y CONTROLADA EN LA
RESISTENCIA MECÁNICA DE MATERIAL DE
AFIRMADO, CAJAMARCA 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Jerson Eduardo Palomino Quiroz

Asesor:

Ing. Tulio Edgar Guillén Sheen

<https://orcid.org/0000-0001-5024-7595>

Cajamarca - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	LIZBETH MILAGROS MERMA GALLARDO	40012838
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	HECTOR ARTURO CUADROS ROJAS	43275350
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 3	KATIA NATALY CARRION RABANAL	46269439
	Nombre y Apellidos	N° DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis - Jerson Eduardo Palomino Quiroz

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	0%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	1library.co Fuente de Internet	10%
2	www.clasf.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	www.ateb.es Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	myslide.es Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

DEDICATORIA

A Dios, por haberme brindado la fortaleza en todo el camino recorrido para llegar a
cumplir mis metas y sueños.

A mi madre, por su apoyo constante; además de, sus ánimos interminables.

A mi familia, por brindarme su comprensión y buenos sentimientos en el transcurso
de mi camino de formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por la ferviente fe y esperanza que sembró en mí para continuar con mi progreso como profesional y estudiante.

Gracias a mi familia por su apoyo constante e interminables consejos.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	12
RESUMEN	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	35
1.3 OBJETIVOS	35
1.4 HIPÓTESIS.....	36
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	37
TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODO.....	37
PROCEDIMIENTO	40
<i>Ubicación de la Cantera</i>	53
<i>Adquisición de Materiales</i>	54
<i>Ensayos de Laboratorio</i>	55
VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	55
ANÁLISIS DE DATOS	55
ASPECTOS ÉTICOS	60
CAPÍTULO III: RESULTADOS	62
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	72
LIMITACIONES.....	72
DISCUSIÓN	72
IMPLICACIONES:.....	75
CONCLUSIONES	75
REFERENCIAS.....	78
ANEXOS	81
ANEXO N°1: ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	81
ANEXO N°2: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	82
ANEXO N°3: ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG	83
ANEXO N°4: ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ANGELES.....	84
ANEXO N°5: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE MATERIAL DE AFIRMADO.....	85
ANEXO N°6: ENSAYO 1 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO.....	86
ANEXO N°7: ENSAYO 2 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO.....	87
ANEXO N°8: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CSS-1H.....	88
ANEXO N°9: ENSAYO 1 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CSS-1H.....	89

ANEXO N°10: ENSAYO 2 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CSS-1H.....	90
ANEXO N°11: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CRS-2H	91
ANEXO N°12: ENSAYO 1 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CRS-2H	92
ANEXO N°13: ENSAYO 2 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CRS-2H	93
ANEXO N°14: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CQS-1H.....	94
ANEXO N°15: ENSAYO 1 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CQS-1H.....	95
ANEXO N°16: ENSAYO 2 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CQS-1H.....	96
ANEXO N°17: FICHA TÉCNICA DE EMULSIÓN CSS-1H	97
ANEXO N°18: FICHA TÉCNICA DE EMULSIÓN CRS-2H.....	98
ANEXO N°19: FICHA TÉCNICA DE EMULSIÓN CQS-1H	99
ANEXO N°21: MÁTRIZ DE CONSISTENCIA	100
ANEXO N°22: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	101

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PREFIJOS Y SUFIJOS SEGÚN LA COMPOSICIÓN DE UN SUELOS	22
TABLA 2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS	22
TABLA 3 NOMENCLATURA PARA EMULSIÓN	31
TABLA 4 ESPECIFICACIONES CSS-1H.....	33
TABLA 5 ESPECIFICACIONES CQS-1H.....	34
TABLA 6 ESPECIFICACIONES CRS-2H	35
TABLA 7 MUESTREO MTC E 101 (2016).....	38
TABLA 8 MUESTREO – PROCTOR MODIFICADO	38
TABLA 9 MUESTREO – CBR	38
TABLA 10 RECOLECCIÓN DE DATOS MATERIAL.....	39
TABLA 11 % DE RESIDUO ASFÁLTICO EN EMULSIÓN ASFÁLTICA	48
TABLA 12 MÉTODO ENSAYO DE ABRASIÓN	49
TABLA 13 COORDENADAS DE LA CANTERA “EL GUITARRERO.....	53
TABLA 14 ANÁLISIS DE DATOS-CONTENIDO DE HUMEDAD.....	56
TABLA 15 ANÁLISIS DE DATOS-LÍMITES DE ATTERBERG	57
TABLA 16 ANÁLISIS DE DATOS-ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	57
TABLA 17 ANÁLISIS DE DATOS-ABRASIÓN “LOS ÁNGELES	58
TABLA 18 ANÁLISIS DE DATOS-PROCTOR MODIFICADO	59
TABLA 19 ANÁLISIS DE DATOS-CBR.....	60
TABLA 20 CONTENIDO DE HUMEDAD	62
TABLA 21 PROPIEDADES FÍSICAS DE MATERIAL NATURAL PARA AFIRMADO	62

TABLA 22 RESIDUO ASFÁLTICO EMULSIONES	62
TABLA 23 RESULTADOS PROCTOR MODIFICADO	64
TABLA 24 RESULTADOS PROCTOR MODIFICADO	64
TABLA 25 RESULTADOS CBR-ESPECÍMENES	64
TABLA 26 PROCTOR RESUMEN	64
TABLA 27 CANTIDAD DE MATERIALES EMPLEADOS.....	66
TABLA 28 CBR RESUMEN.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1 <i>CURVA GRANULOMÉTRICA.</i>	23
FIGURA N°2 <i>RECTA PARA OBTENER LIMITE LIQUIDO DE MATERIALES.</i>	24
FIGURA N°3 <i>PARÁBOLA TÍPICA DE RELACIÓN DE DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD.</i> 25	
FIGURA N°4 <i>CURVA TÍPICA DE PENETRACIÓN VS CARGA..</i>	25
FIGURA N°5 <i>DIAGRAMA DE FASES DE UNA EMULSIÓN,.</i>	29
FIGURA N°6 <i>ESQUEMA DE EMULSIONES DIRECTAS O/W E INVERSA W/O..</i>	29
FIGURA N°7 <i>CLASIFICACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS..</i>	30
FIGURA N°8 <i>TIPO DE EMULSIÓN SEGÚN SU CARGA ELÉCTRICA..</i>	30
FIGURA N°9 <i>PROCESO DE ROTURA DE LA EMULSIÓN..</i>	31
FIGURA N°10 <i>ROTURA DE EMULSIÓN..</i>	32
FIGURA N°11 <i>ESQUEMA DE DESARROLLO.</i>	42
FIGURA N°12 <i>MÁRGENES PARA GRANULOMETRÍA.</i>	46
FIGURA N°13 <i>GEORREFERENCIACIÓN DE CANTERA EN “EL GUITARRERO”.</i>	54
FIGURA N°14 <i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MATERIAL DE AFIRMADO.</i>	63
FIGURA N°15 <i>ANÁLISIS PROCTOR MODIFICADO.</i>	65
FIGURA N°16 <i>RESULTADOS DE CBR.</i>	66
FIGURA N°17 <i>CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN Y DENSIDAD – CBR – MUESTRA PATRÓN. ..</i> 67	
FIGURA N°21 <i>ADQUISICIÓN DE MATERIAL DE AFIRMADO DE CANTERA “EL GUITARRERO”.</i>	101
FIGURA N°22 <i>ADQUISICIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS.</i>	102
FIGURA N°23 <i>GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS</i>	103
FIGURA N°24 <i>INCORPORACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.</i>	104

FIGURA N°25 <i>ELABORACIÓN DE PROCTOR MODIFICADO</i>	105
FIGURA N°26 <i>INMERSIÓN DE MOLDES PARA CBR</i>	106
FIGURA N°27 <i>ENSAYO CBR</i>	106

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1: CONTENIDO DE HUMEDAD	43
ECUACIÓN 2: DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	43
ECUACIÓN 3: CONTENIDO DE HUMEDAD.	44
ECUACIÓN 4: PORCENTAJE DE PESO RETENIDO EN CADA MALLA.	45
ECUACIÓN 5: PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO EN CADA MALLA.....	45
ECUACIÓN 6: PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA EN CADA MALLA.....	45
ECUACIÓN 7: ÍNDICE DE GRADO.	48
ECUACIÓN 8: PORCENTAJE DE DESGASTE.....	50
ECUACIÓN 9: DENSIDAD SECA.....	51
ECUACIÓN 10: CAPACIDAD DE SOPORTE.....	51
ECUACIÓN 11: ESFUERZO.....	53
ECUACIÓN 12: CAPACIDAD DE SOPORTE.....	53

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal determinar la influencia y comparar la incorporación de tres tipos distintos de emulsión asfáltica (de rotura lenta (CSS-1H), rápida (CRS-1H) y controlada (CQS-1H)) en la resistencia mecánica para un material de afirmado de la ciudad de Cajamarca. Por ello, para el desarrollo de la presente investigación se obtuvo una muestra de material de la cantera “El Guitarrero” que, será empleado en la obtención de propiedades físicas y mecánicas a través de ensayos de laboratorio. Los ensayos considerados fueron los de granulometría, límites de Atterberg, abrasión, Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR). Por último, al finalizar con la investigación se determinó que el valor de desgaste de en el ensayo de abrasión para la muestra patrón fue de 48.52%; así mismo, su valor de CBR al 0,1” de penetración fue de 45%. Por otro lado, las muestras con adición del 4% de emulsión de rotura Lenta (CSS-1H), rotura Rápida (CRS-1H) y rotura Controlada (CQS-1H) presentaron un CBR al 1” de penetración de 64%, 44% y 43%, mostrando como conclusión que, la incorporación de emulsiones mejora la capacidad de resistencia mecánica del suelo en algunos casos; por lo que, dependiendo del tipo de emulsión se obtendrá un mejor o peor resultado.

PALABRAS CLAVES: Emulsión Asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada;
Resistencia mecánica

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Nesterenko, D. (2018), señala que en el Perú existe la necesidad de definir una nueva alternativa de estabilización de suelos para su uso posterior y, que si bien existe métodos convencionales como el uso de cal, cemento y agua, también, es importante el uso de nuevas tecnologías como lo son el uso de emulsiones asfálticas o polímeros pero, hay que tener en cuenta la necesidad de comparar, en un mismo contexto, las características físico-químicas que esta pueda presentar, tanto previo al tratamiento como posteriormente, y, de esta manera definir su resistencia y durabilidad. También menciona que, aún existe una amplia barrera para la definición de una normativa adecuada en cuanto al uso de estos métodos.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2020. En los últimos informes a finales del año 2019 en nuestro país solo se tenía un 17% de carreteras pavimentadas y cerca de un 83% no pavimentadas por lo que, es notorio que existen una cantidad considerable de vías que aún deben ser mejoradas o en su defecto mantenidas periódicamente; sin contar aquellas que están en un proceso de creación y construcción. Por tal motivo, en el Perú la incidencia desarrollo vial y desarrollo socioeconómico está directamente ligadas ya que, es comprobado que la mejora en las vías de acceso promueve el desarrollo de la población, es por ello la importancia de buscar alternativas más eficientes y de bajo costo para disminuir el impacto negativo en el progreso de la ciudadanía. En ese sentido se promueve considerar lo dicho en el manual de especificaciones técnicas generales EG-2013, en donde se especifica el uso de estabilizadores y la manera de incorporar este proceso y mejorar las condiciones del suelo y sus características de durabilidad.

Abukhettala & Fall. (2020). Mencionan que dentro de las alternativas de estabilización de suelos de Canadá para las zonas en donde las calles o carreteras aún se encuentran a nivel de material granular, se puede utilizar aditivos elaborados a base de petróleo, con el fin de generar un conglomerante que influya en la consistencia y preservación de la capa superior que la conforman; así también, como para imprimación, sub base o base, por lo que, la aplicación de una mezcla a base de polímeros proporciona al material granular una impermeabilización por encima del 60 % además de otorgarle mayor consistencia y resistencia. El autor obtuvo que el incremento en la impermeabilización de un material granular luego de la aplicación del material bituminoso; además, este material fue sometido a pruebas de resistencia mecánica obteniendo un resultado óptimo, aumentando su capacidad de resistencia en un rango entre 40%-60%; además también menciona que la incorporación de material Poli Etilen Teraftalato (PET) otorgan una mejora en resistencia mecánica de hasta del 10%. Entre sus conclusiones menciona que, la emulsión asfáltica y PET proporcionan mejoras físicas en su aplicación a materiales granulares, otorgándole características de preservación, resistencia e impermeabilización por encima del 20% con respecto a su estado inicial, por lo que, los gastos de mantenimiento periódico disminuirán dependiendo del proceso constructivo y preservación que esta mezcla presente.

Maharaj, R., & Maharaj, C. (2014). En su investigación realizada en EE.UU. proponen que los aditivos poliméricos tienen influencia en las características reológicas del suelo a donde se le aplique, propio de su composición, debido al material bituminoso del que está compuesto, por ello realizan la investigación del, mundialmente famoso, material bituminoso Trinidad Lake Asphalt (TLA) aplicándolo en suelo y asfalto para medir su resistencia y durabilidad. Dentro de una de sus premisas está el uso de niveles de Cloruro de Polivinilico (PVC) y aceite de motor usado, con el fin de reducir la aplicabilidad del material bituminoso.

Esta investigación demostró que a medida que se aumenta la adición del PVC y TLA desde un 0% hasta un 10%, genera una resistencia óptima en el suelo y asfalto aplicado variando estos desde un 4% en el nivel más bajo de inclusión, hasta un 54% en su porcentaje más alto de inclusión.

Ferré Franquet, P. (2018). En su publicación menciona que las emulsiones, naturalmente, tienen una inestabilidad debido a los materiales que la componen, y que es un factor importante en la medida que, este será empleado para un suelo con características inapropiadas, generando bajos índices en cuanto a la velocidad de rotura y adhesividad. De esta manera la inestabilidad natural de la emulsión y su mala aplicación a un suelo, con características físicas inapropiadas, determinaran que el producto sea una material granular sin las características mínimas de un material estabilizado, la razón, según la investigación, es el factor de la viscosidad en la fase de dispersión sobre el material granular, generado por el porcentaje de ligante de la emulsión; además, el producto también puede verse afectado por la distribución de tamaño globular de la emulsión y por la presencia de fluidificantes. Por ello, se establece desde 1975 en España la normalización para emulsiones bituminosas, siendo su última revisión y reedición en 2013. Por último, concluye que el control adecuado en una estabilización es el factor que determinará el nivel de resistencia e impermeabilización de un material granular y por ello la adquisición de materiales deben obedecer a un diseño previo y autorizado.

Para Quiroz, Washington (2017) en su investigación “Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y Diesel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR, Ecuador 2017”, demuestra que la investigación realizada en el sector de Huachi la Magdalena-Ecuador de la parroquia Huachi chico, al momento de evaluar las alternativas

para estabilización del suelo con estos dos tipos de emulsiones frente a ensayos de Proctor modificado y CBR se obtuvo que el suelo en estudio fue de tipo Arena Limoso. Además, el resultado mostró que, aquel suelo con el asfalto y emulsión asfáltica en caliente. Dio como densidad aparente el valor de 2.484 gr/cm³ cuyo valor permitió encontrar el valor de CBR puntual. En cuanto a la mejora de la capacidad portante del suelo se puede decir que los valores encontrados fueron aproximados siendo este valor el de 60 correspondiente a la evaluación de un suelo con un 9% de emulsión asfáltica, mientras que, el segundo valor fue de 59 de California Bearing Ratio (CBR) con una taza de emulsión Dese de 3% de asfalto y 6% de Diesel. Por último, se concluye que relacionado a los costos resulta más conveniente el uso de emulsión asfáltica, ya que en el porcentaje óptimo de emulsión se gastó una tercera parte del total usado en la elaboración de la emulsión asfalto – Diesel.

Farias & Aragao (2020). En su artículo evalúan los parámetros de resistencia de mezclas de suelo arenoso en Brasil con alto contenido de emulsión asfáltica para diversos usos dentro de los cuales se prioriza su utilización en presas de tierra zonificada y terraplenes. Dentro de su propuesta está el uso de niveles de emulsión asfáltica que varía desde los 13% hasta los 28% en peso. Los resultados confirmaron que el uso de altos contenidos de emulsión le dio un comportamiento bilineal al suelo arenoso para las envolventes de falla obtenidos en las pruebas de corte axial. Con un esfuerzo axial menor a los 100 kpa la mezcla presentó un intercepto cohesivo debido al ligante existente mientras que para esfuerzos mayores a 200 kpa la mezcla presenta un ángulo de fricción igual a la matriz del suelo arenoso utilizada.

Azanza, (2020). En su tesis de maestría “Caracterización Dinámica de Estabilización de Suelo-Arena-Emulsión, Brasil 2020” busca caracterizar el comportamiento mecánico de Suelo-Arena-Emulsión (SAE) en función de los materiales que se emplean y mediante en control de los ensayos de laboratorio, dentro de su metodología lo primero es destinar una

dosificación adecuada, para luego pasar a una segunda etapa en donde se diseña la mezcla en función de sus características mecánicas. También evalúa la utilización de una nueva tecnología de asfalto espumado para estabilización de suelo arena. Por último, concluye que la mezcla SAE tiene mejor rendimiento al diseñarse basado en el ensayo triaxial estático y su comportamiento resiliente a través del ensayo triaxial dinámico. También menciona que es muy importante el contenido de humedad, siendo que para suelos con un contenido de humedad del 100% la mezcla trabaja como un suelo cohesivo, lo que la coloca como la situación más desfavorable; por otro lado, cuando el contenido de humedad se encuentra entre el 40% y 60% se aprecia un comportamiento similar al de un material granular no tratado.

Galván (2015) plantea el diseño de una mezcla asfáltica con material de reciclaje de un pavimento, adicionado a una emulsión asfáltica. A partir de ello, se generan y recogen los datos necesarios y suficientes para la determinación de la mejor alternativa de mezcla asfáltica, esto gracias al método Marshal. Es así que, los resultados obtenidos, cumplen con las consideraciones mínimas planteadas perdiendo poca estabilidad y concluyendo que la pérdida de cohesión por acción del agua es baja. Por último, el autor recomienda el uso del tipo de mezcla asfáltica catiónica CSS-1h, con el fin de evitar la adherencia al momento de elaboración de la mezcla.

Rojas, Jaime (2017) en su investigación “Aplicación de la emulsión asfáltica en la estabilización de la sub rasante de la carretera afirmada de tercera clase, Emp. PE 18 Quilca – Cochamarca, año 2017”, demuestra que la aplicación de emulsión asfáltica mejora las características de la sub rasante de la zona de estudio, por lo que al aplicar la emulsión asfáltica de rotura lenta genera una mejora en la transitabilidad de la vía intervenida. Por ello el investigador también menciona el incremento del Índice Medio Diario Anual (IMDA), en consecuencia, a las mejoras; por otro lado, también plantea el uso de otro tipo de alternativas

como lo es la aplicación de emulsiones de rotura rápida que, aunque sean empleadas en otro tipo de procesos también pueden funcionar de forma correcta para el tratamiento a nivel superficial en la preservación de caminos y carreteras de este tipo. Entre sus conclusiones se demuestra que el uso e incorporación de emulsión asfáltica, en tasas distintas, mejoro el California Bearing Ratio (CBR) de un suelo arcilloso incrementándolo a una tasa de 2%, de 4.10% a 5,20%, a una tasa de 4% que paso a 5.90% y a una tasa de 6% a un resultado CBR final de 7.20% por lo que los resultados van de forma ascendente en mejora de sus características propias.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). En su “Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima”, nos indican el procedimiento que se debe realizar para estabilizar un material considerado de afirmado o un material destinado para sub rasante o sub base. Además, recomienda los análisis granulométricos previos para determinar las características mínimas para ser considerado aceptado. Es preciso mencionar que resalta en cuanto al ensayo de Proctor modificado, y al contenido de humedad que, el material mantenga previo a la estabilización con emulsión, ya que de esto depende la etapa de impregnación y la posterior impermeabilización del material. De este modo nos da un alcance del procedimiento y los parámetros para determinar la resistencia mecánica. También, nos indica que se puede adicionar un ensayo de lavado asfáltico para medir las tasas de aplicación de la emulsión. Además, indica que para pruebas y diseño de material con inclusión de emulsiones también es oportuno el uso de la prueba de rueda neumática para medir el fraguado oportuno de la mezcla.

Ugaz (2017) plantea la determinación de la mejor alternativa en cuanto al uso de emulsión asfáltica de rotura lenta con un material de afirmado con distintas tasas de aplicación (4%, 5% y 6%). Este análisis conllevo a realizar pruebas mediante ensayos de laboratorio,

como lo es el California Bearing Ratio (CBR, Proctor modificado, granulometría, plasticidad, abrasión, etc. Por lo que, se verifica que la inclusión de una tasa de 4% la máxima densidad seca del material evaluado aumento a 2.296 gr/cm³; mientras que, con la adición de las dos próximas tasas, esta disminuyó. En cuanto a los resultados de CBR, los resultados obtenidos fueron de 113%, 142% y 199% para una penetración del 0.1, mientras que para la muestra patrón se obtuvo un valor de 83%. Por último, se concluye que, la incorporación de mayores concentraciones de emulsión mejora la resistencia mecánica del material, aumentando en más del 10%.

Rojas (2018) en su investigación “Propiedades físico mecánicas de bloques de tierra comprimida con la adición de emulsión asfáltica”, Cajamarca 2018” determina la influencia de la adición de emulsión asfáltica en bloques de tierra, con el fin de determinar su resistencia a la compresión, flexión y grado de absorción. La metodología adoptada en laboratorio fue mediante los ensayos mencionados y la empleabilidad de emulsión RC-250 con niveles del 2%, 3% y 4% ensayándolos y encontrando resultados medianamente satisfactorios. Por último, concluye que la evaluación obtenida de los ensayos de resistencia a la compresión y flexión, determina que los mejores resultados los obtiene aquella muestra con la adición de emulsión asfáltica al 4%, ya que esta muestra obtuvo un incremento del 126.51% de resistencia a la compresión, y 44.90% de resistencia a la flexión con respecto a la muestra patrón. Por lo que recomienda el uso de emulsión asfáltica para suelos y material granular, con el fin de obtener una estabilización más duradera.

Mendoza, (2021) en su tesis “Caracterización de los Tipos de Estabilización de Suelos Utilizados para el Mejoramiento de las Propiedades Físicas en Subrasantes, Cajamarca 2021” señala que, la estabilización a nivel de sub rasante tiene muchos métodos por los cuales podemos obtener distintos resultados en sus características físicas e indica que una de las

mejores alternativas de uso es aquella en la que se incorpora productos químicos como lo son las emulsiones lo que influye directamente en el California Bearing Ratio (CBR) de la subrasante. Su metodología de aplicación fue la de revisión sistemática, por lo cual reviso 20 investigaciones de las cuales concluye que para una estabilización adecuada la comparación de las propiedades del suelo y la capacidad de soporte debe tener un CBR mayor a 6%. Por último, indica también que la adición de cemento en la estabilización aumenta el CBR hasta en un 200% más para terrenos arcillosos.

Por lo anterior mencionado, la presente investigación tiene por misión determinar qué tipo de emulsión (de rotura lenta, rápida o controlada) beneficia en mayor consideración aun suelo de afirmado en cuanto a resistencia mecánica y, por ende, mejorar sus condiciones a futuro. Además, la presente plantea demostrar y comparar el uso de tres tipos de emulsión asfáltica (de rotura lenta, rápida y controlada) en el uso para la mejora de resistencia mecánica de afirmado en la ciudad de Cajamarca, encontrando su diferencia en cuanto a su proceso de mezcla, características y accesibilidad económica.

Bases Teóricas:

Mecánica de Suelos

Según Duque (2016), al igual que afirmaba Therzagui, la mecánica de suelos, “es la aplicación de leyes de mecánica e hidráulica a los problemas en ingeniería relacionados con los suelos, sedimentos o acumulaciones no consolidadas de partículas producidas por, desintegración mecánica o descomposición química del material o roca”.

Clasificación de Suelos

Existen en la actualidad muchas formas de definir los tipos de suelos a emplear o estudiar; sin embargo, los más conocidos y referenciados por su alta confiabilidad y variedad de clasificación son:

- **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

Esta clasificación se basa en la norma ASTM D 2487, consiste en asignar un prefijo que define la composición del suelo, y, un sufijo que define sus características.

Tabla 1

Prefijos y Sufijos Según la Composición de un Suelos

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)	B

Fuente: Astmd 2487

- **American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)**

Este método consiste en clasificar el suelo en siete grupos definidos por una representación que va desde el A-1 hasta el A-7. Además, se considera realizar los ensayos de granulometría y límites de atterberg, esto complementado a la inclusión del Índice de Grupo (IG), lo que por último nos dará el indicio del tipo del suelo estudiado.

Tabla 2

Clasificación de Suelos AASHTO

Símbolo		Característica Generales	
GW	Gravas	Limpias	Bien graduadas
GP	(>50% en tamiz #4 ASTM)	(Finos <5%)	Pobremente Graduados
GM		Con Finos	Componente Limoso
GC		(Finos >12%)	Componente Arcilloso
SW	Arenas (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
SP		(Finos <5%)	Pobremente Graduados
SM		Con Finos	Componente Limoso
SC		(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	

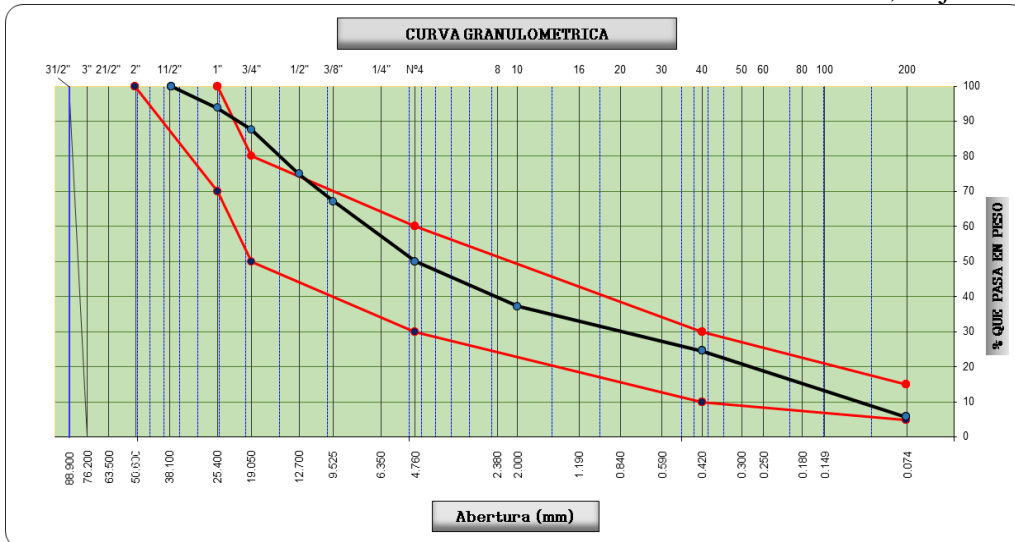
Fuente: Astmd 2487

Análisis Granulométrico

Guevara & Salazar (2021) Es el proceso mediante el cual el material a analizar es pasado por todos los tamices con el fin de encontrar los pesos retenidos en cada malla y compararla según las especificaciones de norma que el usuario quiere emplear.

Figura N°1

Curva Granulométrica. Elaboración propia 2023.

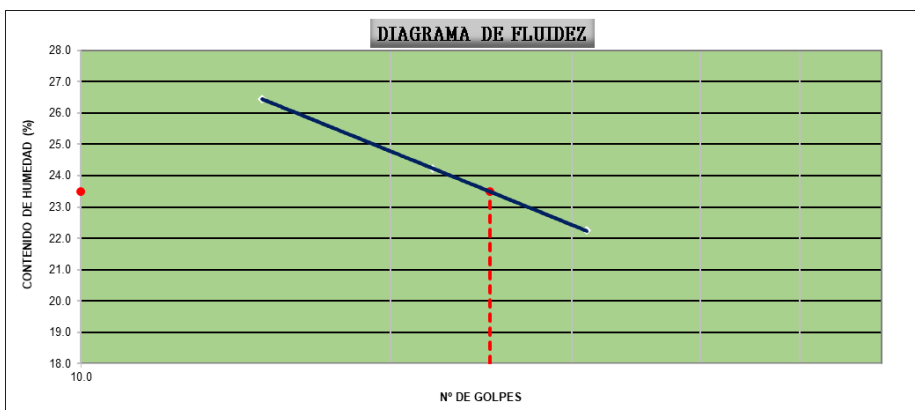


Límites de Atterberg

Consiste en la evaluación de material granular parametrándolo dentro de cuatro estados según su contenido de humedad, siendo estos: el estado seco, semiseco, plástico y líquido. Este principio es esencial para la utilización del método SUCS o AASHTO.

Figura N°2

Recta para Obtener Limite Liquido de Materiales. Elaboración propia 2023.

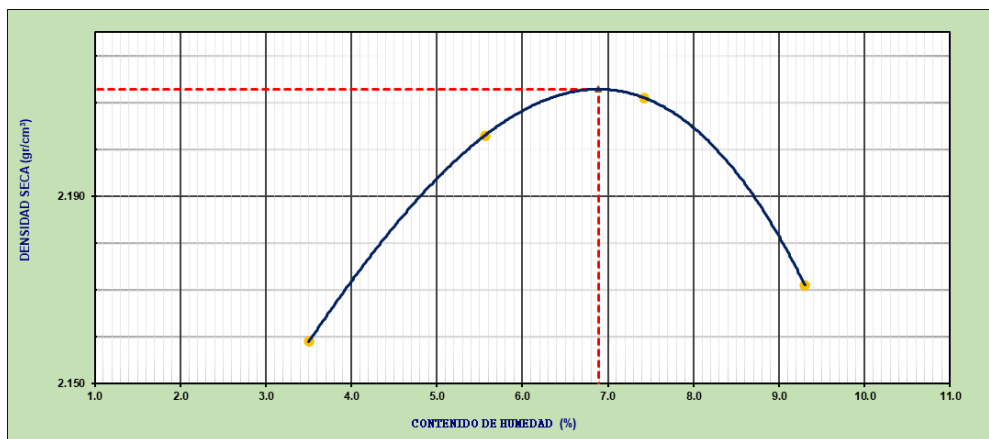


Proctor Modificado

Este método esta referido a la aplicación de energía para suelos, lo que va a variar su densidad según el grado de compactación a la que se someta el material. Por otro lado, esta variación de densidad está relacionada con el contenido de humedad que posee. Este método es empleado para determinar el óptimo contenido de humedad de un suelo.

Figura N°3

Parábola Típica de Relación de Densidad Seca y Contenido de Humedad. Elaboración propia 2023.

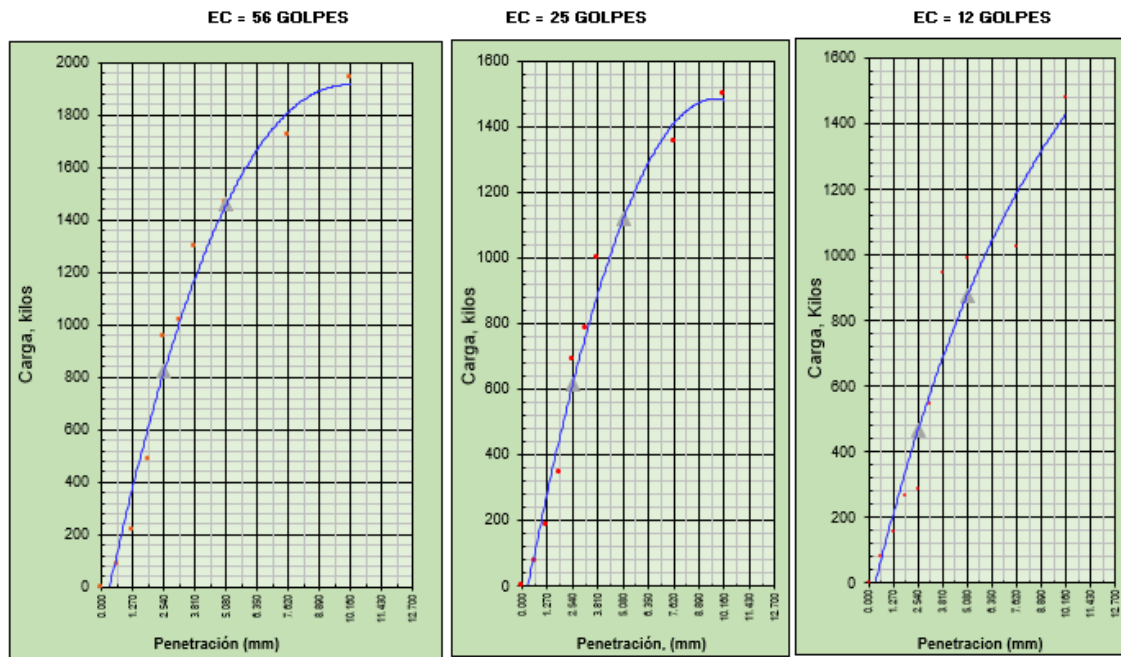


California Bearing Ratio (CBR)

Es el ensayo que permite conocer la resistencia al corte de un suelo aplicando cantidades de carga en un pistón. Este parámetro es definido como la fuerza necesaria para que un pistón penetre a cierta profundidad. MTC (2014).

Figura N°4

Curva Típica de Penetración vs Carga. Elaboración propia 2023.



Estabilización de Suelos

Según Quiroz, Washington (2017), La razón primordial que acompaña a todas las estabilizaciones, es el de mejorar y cambiar las propiedades de un suelo. Existen muchas formas de estabilizar un material, un método muy usado de estabilización es la de mezclar a un material de granulometría gruesa con otro que carece de esa característica. Finalmente, está el recurso de estabilizar un suelo mezclándole cemento, cal, asfalto entre otros.

Según Fernández (2017), la estabilización de suelos es el proceso mediante el cual el suelo mejora sus características de tal manera que, este mantenga, en mayor tiempo y condiciones externas, sus características mecánicas. Este proceso consiste de la adición de materiales novedosos o procesados al material granular. Los principales índices bajo el cual se medirán las estabilizaciones van en relación a la propia resistencia al corte del producto. Por lo que, la estabilización de suelos es considerada como la mezcla o combinación de materiales con la intención de mejorar la firmeza del producto final, con el fin de soportar los efectos abrasivos ambientales o de rodadura dependiendo del uso del afirmado.

Según el “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” del MTC (2014), la estabilización de suelos se define como el mejoramiento de características físicas y/o mecánicas del producto por la inclusión de un material o elemento mediante un proceso mecánico y/o físico - químico.

Tipos de Estabilización de Suelos

Estabilización Física

Según Winterkorn (2015), la estabilización física se basa en obtener una adecuada granulometría de los materiales a usar con el fin de adquirir la mejor capacidad portante.

Estabilización Mecánica

Según Fernández (2017) la estabilización mecánica se basa en la manipulación de y compactación del material granular con el fin de obtener una mejor capacidad portante sin la adición de algún elemento o material externo.

Estabilización Química

Se basa en la aplicación de un material o elemento químico, que por lo general se lo conoce como estabilizador químico, con el objetivo de brindarle al material granular la transferencia de características y propiedades que, mejoren su comportamiento ante el sometimiento de cargas o efectos de abrasión externos. Dentro de ellos estabilizadores químicos más conocidos se encuentran aquellos derivados de producto enzimáticos, polímeros y subproductos del petróleo. Fernández (2017).

Cabe mencionar que dentro de esta clasificación se encuentra la estabilización de suelos con emulsión asfáltica.

Estabilización de suelos con Emulsión Asfáltica

Según Garay (2015), la emulsión asfáltica de este tipo en la estabilización vial, se debe a la reacción de los 3 agentes involucrados: el material granular, el agua y el agente químico. También señala que, en este tipo de emulsión, el asfalto es su componente esencial y lo constituye entre un 60 % y 75%. Por último las características del producto estarán definidas por los factores de dureza, afinidad del suelo, calidad del drenaje, y calidad de ejecución. Además, el MTC (2014) menciona que el material empleado debe cumplir ciertos requisitos como los son:

Granulometría: El suelo debe tener máximo 10% de material pasante la malla N°200, y, el material grueso no debe ser mayor al 1/3 del espesor de la capa.

Plasticidad: Debe ser menor a 9%.

Composición Química: Los sulfatos deben ser menores a 6000 ppm.

Abrasión: El desgaste de los componentes de agregado grueso deben ser menores al 50%.

Emulsión Asfáltica

Una Emulsión asfáltica es la mezcla entre líquido asfáltico y agua en porcentajes que le permitan ofrecer características permeables y de resistencia a distintos tipos de suelos donde se aplicaran, es así que viene a estar compuesta por una combinación homogénea y estable, por otro lado, estos líquidos vienen a ser del tipo no miscible. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Las emulsiones asfálticas se definen como aquellos materiales asfálticos líquidos estables, constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión está formada por agua y un agente emulsificante, y la fase discontinua por pequeños glóbulos de cemento asfáltico.

Figura N°5

Diagrama de fases de una emulsión, Chi Cob y Tuyub Sanchez (2015).

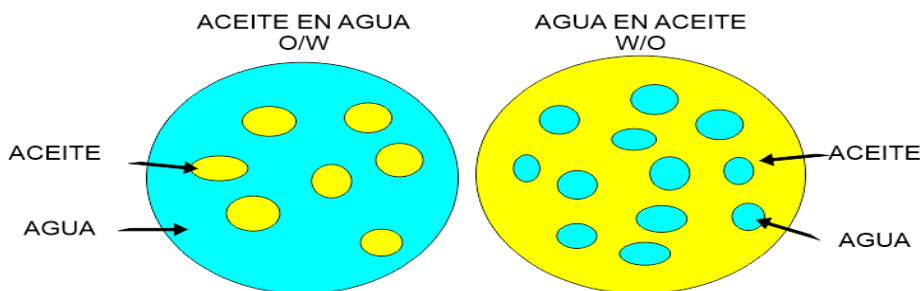


Ferré, Pedro (2018) Las emulsiones directas son aquellas en las que la fase dispersa es una sustancia lipofílica (grasa o aceitosa) y la fase continua es hidrofílica (normalmente agua). Estas emulsiones suelen denominarse L/H o O/W. Ejemplos son además de las emulsiones bituminosas, la leche, la mayonesa, algunos tipos de pinturas, y muchos otros productos alimentarios y fitosanitarios.

Las emulsiones inversas por el contrario son las que la fase dispersa es una sustancia hidrofílica y la fase continua es lipofílica. Estas emulsiones suelen denominarse con la abreviatura H/L o W/O. Como ejemplos pueden citarse las margarinas, fluidos hidráulicos y la mayoría de las cremas cosméticas.

Figura N°6

Esquema de emulsiones directas O/W e inversa W/O. Ferré, Pedro (2018).



Propiedades Físicas De La Emulsión Asfáltica

Rodríguez (2017), afirma que “Las emulsiones asfálticas tienen propiedades que se deben a los agentes emulsivos químicos empleados. Siendo este agente tensoactivo o surfactante. Este agente emulsivo tiene la propiedad de conservar las gotas del asfalto en suspensión estable, así como la de controlar el tiempo de rotura de esta. Es por ese motivo que es un elemento determinante que clasificara las emulsiones como catiónicas, aniónicas, o no iónicas”.

Son tres las categorías en la que se clasifica una emulsión asfáltica:

Figura N°7

Clasificación de emulsiones asfálticas. Rodríguez (2017).

Aniónicas (las partículas de asfalto están cargadas negativamente)	—
Catiónicas (las partículas de asfalto están cargadas positivamente)	+
No Iónicas (las partículas de asfalto son neutras)	

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.8** 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 N°8

Tipo de Emulsión según su Carga Eléctrica. Galván Huamaní (2015).

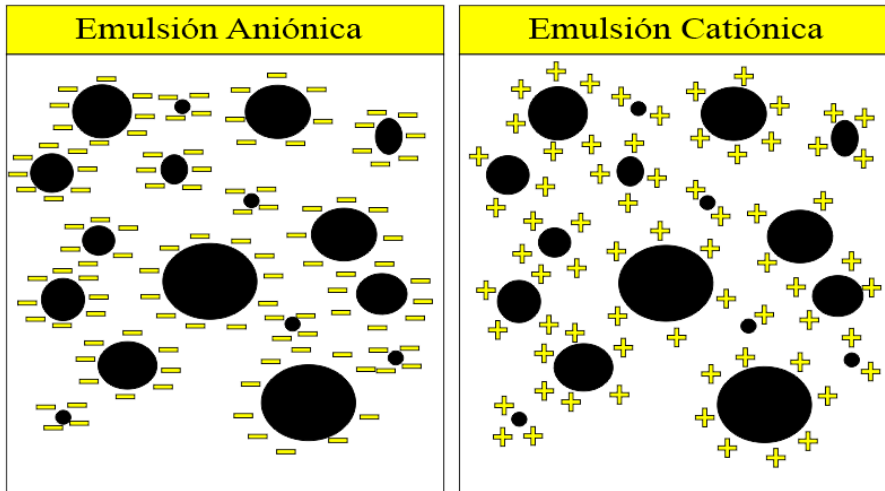
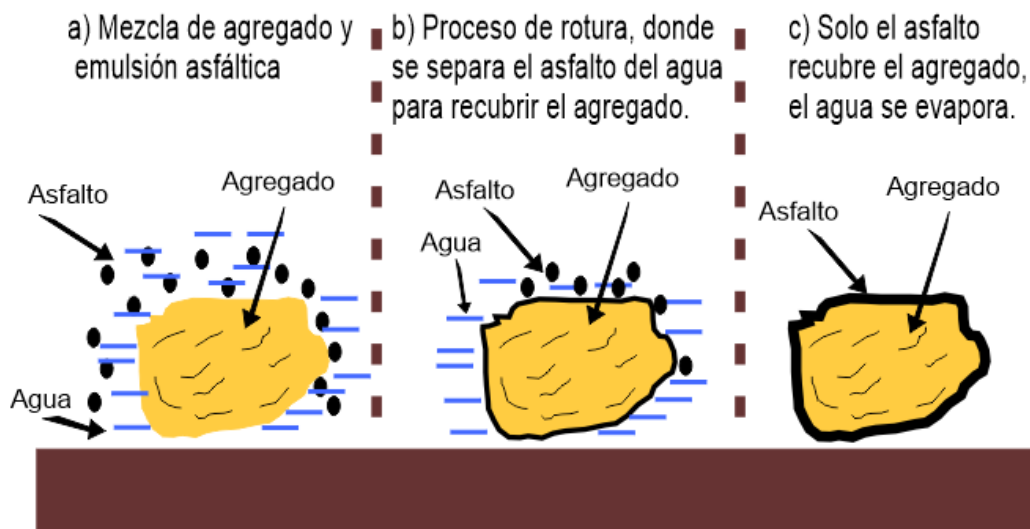


Figura N°9

Proceso de Rotura de la Emulsión. Galván Huamaní (2015).



Además, Galván (2015), menciona que las emulsiones son clasificadas también según su nomenclatura y el tipo de rotura que estas presentan, siendo las más conocidas las de rotura rápida (RS) las de rotura lenta (SS) y de rotura media (MS). A partir de ellas se puede efectuar una diversa cantidad de mezclas en frío.

Nomenclatura de las Emulsiones Asfálticas

Según las normas AASHTO y ASTM estas son:

Tabla 3

Nomenclatura para Emulsión Asfáltica

Emulsión Aniónica	Emulsión Catiónica
RS-1	CRS-1
RS-2	CRS-2
MS-1	-
MS-2	CMS-2
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	-
HFMS-2	-
HF-MS-2h	-
SS-1	CSS-1
SS-1h	CSS-1h
QS-1h	CQS-1h

Fuente: Normas AASHTO M140-M208 y ASTM D977-D2397

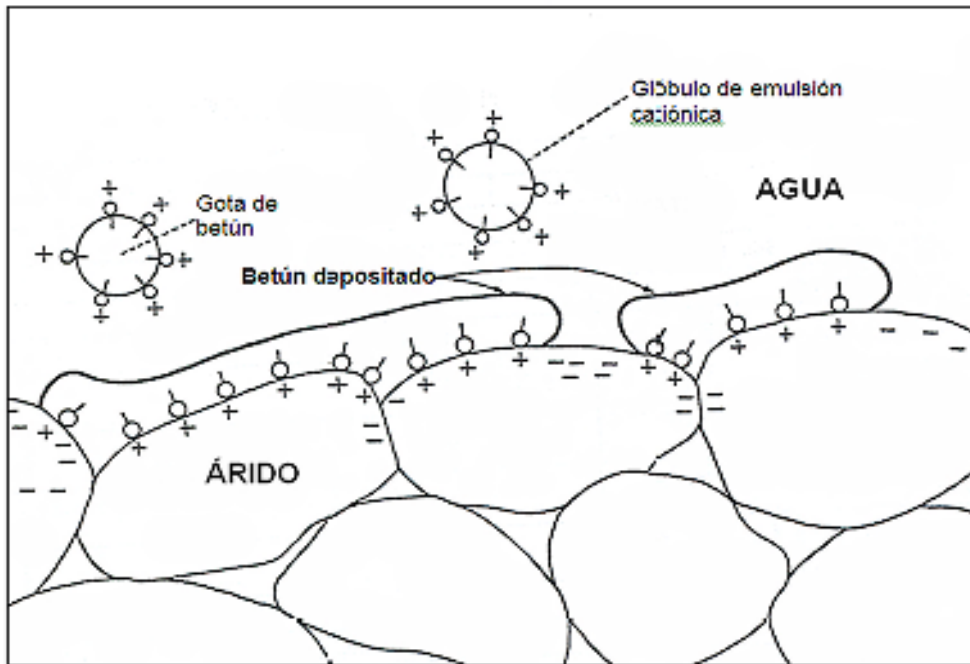
C: indica que es una emulsión catiónica. La ausencia de esta letra indica una emulsión aniónica. Las cifras 1 y 2 indican la viscosidad. Un valor igual a 1 indica una viscosidad baja y para un valor igual a 2 una viscosidad alta. La letra “h” incluida en algunos grados indica que la base asfáltica es 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).

Velocidad de Rotura

En primer lugar, se produce una absorción parcial del agua y emulsionante libre en la emulsión por el árido, lo que origina una mayor concentración de glóbulos en las proximidades del árido y una desestabilización de la emulsión. Este proceso da como resultado la floculación y la aproximación de los glóbulos de betún a la superficie del árido.

Figura N°10

Rotura de emulsión. Ferré Pedro, 2018.



A continuación, comienza la coalescencia produciéndose la formación de coágulos de material betuminoso, lo que entraña ya la separación irreversible de las fases. Al final del proceso de coalescencia se produce la rotura de la emulsión en sentido estricto. Las dos fases, betún y agua, se separan completamente. Paralelamente también se produce un aumento del pH de la emulsión por la neutralización del emulsionante, lo que contribuye a la desestabilización de la misma.

Dependiendo de la naturaleza del árido este cambio de pH es más o menos rápido. A partir de este momento comienza la pérdida de agua del sistema. Ferré Franquet, Pedro. (2018).

Emulsión de Rotura Lenta CSS-1H:

Es una emulsión conformada por cemento asfáltico, agua y agente emulsificante. Su principal aplicación es en Slurry Seal, estabilizaciones, riegos de liga.

Tabla 4
Especificaciones CSS-1H

Prueba de Emulsión	Emulsión de Rotura Lenta CSS-1H	
	Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt a 25°C	20	100

Sedimentación 5 días %	-	5%
Prueba de Tamiz N°20	-	0.1
Carga de partícula	Positivo	Positivo
Residuo Asfáltico	57%	-
Penetración 25°C	40	90
Ductilidad 25°C	40	-

Fuente: Especificaciones Técnicas CORPORC S.A.C.

Emulsión de Rotura Controlada CQS-1H:

Es una emulsión con dispersión coloidal de glóbulos de asfalto dentro de una fase acuosa compuesta, generalmente con agua y un agente emulsionante. Estas emulsiones rompen de manera rápida para la apertura al tráfico; además obtienen una cohesión en cortos periodos de tiempo. Es utilizada en morteros o micro pavimentos.

Tabla 5

Especificaciones CQS-1H

Prueba de Emulsión	Emulsión de Rotura Lenta CQS-1H	
	Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt a 25°C	20	100
Prueba de Tamiz N°20	-	0.1
Carga de partícula	Positivo	Positivo
Residuo Asfáltico	62%	-
Penetración 25°C	40	90
Solubilidad	40	-
Ductilidad 25°C	40	-

Fuente: Especificaciones Técnicas CORPORC S.A.C.

Emulsión de Rotura Rápida CRS-2H

Es un sistema complejo constituido por la dispersión de una fase asfáltica en una fase acuosa, presentando partículas cargadas positivamente. Se suele utilizar en: tratamientos superficiales, capa de sellado, pintura adhesiva o macadán bituminoso. Su aplicación se suele

dar a temperatura ambiente y no excediendo los 70 °C. su composición está basada en cemento asfáltico, agua y agente emulsificante en un medio ácido.

Tabla 6
Especificaciones CRS-2H

Prueba de Emulsión	Emulsión de Rotura Rápida			
	CRS-2		CRS-2H	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt a 25°C	-	-	-	-
Viscosidad Saybolt a 50°C	100	400	100	400
Prueba de Tamiz N°20	-	0.1	-	0.1
Carga de partícula	Positivo		Positivo	
Estabilidad de almacenamiento	-	1	-	1
Destilación	65	-	65	-
Penetración 25°C	100	250	50	150
Ductilidad 25°C	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno	97.5	-	97.5	-

Fuente: *Especificaciones Técnicas CORPORC S.A.C.*

La presente tesis, se delimita exclusivamente a la incorporación del 4% de emulsión asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada en la resistencia mecánica de material de afirmado, así como su influencia.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo influye la incorporación del 4% de emulsión asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada en la resistencia mecánica de un suelo de afirmado?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Determinar y comparar la influencia en la resistencia mecánica de un suelo de afirmado con la incorporación del 4% de emulsión de rotura lenta, rotura rápida y controlada en la ciudad de Cajamarca.

1.3.2 Objetivo Específicos:

1. Determinar las características físicas y mecánicas del material de la cantera “El Guitarrero” para el desarrollo de la presente tesis.
2. Determinar las características físicas y mecánicas del material de afirmado con la incorporación de emulsión asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada.

1.4 Hipótesis

La resistencia mecánica de la muestra con incorporación de emulsión asfáltica de rotura lenta (CSS-1H) es mayor en más del 7% a la resistencia mecánica de la mezcla con emulsión de rotura rápida (CRS-1H) y controlada (CQS-1H).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de Investigación

La presente investigación es del tipo Experimental debido a que, se empleará y hará uso de equipos de laboratorio para realizar las prácticas de diseño, teniendo como elemento central el afirmado y las emulsiones de rotura lenta, rápida y controlada. De esta manera buscar obtener los distintos rangos de resistencia mecánica de la mezcla y sus distintas características en su estabilización. También es de tipo Transversal ya que, la presente manejará información que obedece a un tiempo determinado.

Materiales, Instrumentos y Método

Unidad de Estudio

Material para afirmado. Este material es de uso primordial para la aplicación de emulsión asfáltica, consta de material árido y material pétreo que, en conjunto van a ser utilizados para la sostenibilidad de cargas, por lo general, en infraestructura de carreteras.

Población

El universo planteado en la presente viene siendo las canteras de la región Cajamarca de donde se puede extraer material para afirmado, siendo estas:

- ✓ Cantera “El Gavilán”.
- ✓ Cantera “Río Mashcón”.
- ✓ Cantera “La Colpa”.
- ✓ Cantera “El Guitarrero”.

Muestra

Para la presente investigación la muestra será seleccionada a partir del material extraído de la cantera “El Guitarrero”, la misma que, presenta características que se ajustan a la investigación realizada y que están sujetas al Manual de Carreteras: Suelos, Geología,

Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) para mezclas con emulsiones. Adicionalmente, el material de esta cantera se ajusta a lo descrito en el Manual de ensayos de materiales - muestreo de suelos y rocas – MTC E101 (2016), donde se indica las muestras representativas a emplear del material a utilizar. Por otra parte, también se seleccionó esta cantera por su ubicación y facilidad de obtención del material por parte del investigador.

Tabla 7

Muestreo MTC E 101 (2016)

Ensayo	Cantidad (kg)
Clasificación Visual	0.5
Análisis granulométrico	0.5 – 2.5
Compactación y granulometría	20 – 40
Propiedades de agregados	50 – 200

Fuente: *MTC E 101 (2016)*

Tabla 8

Muestreo – Proctor Modificado

Muestra	Proctor Modificado
Patrón	4 especímenes
CSS-1H	4 especímenes
CRS-2H	4 especímenes
CQS-1H	4 especímenes

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 9

Muestreo – CBR

Muestra	Proctor Modificado
Patrón	3 especímenes
CSS-1H	3 especímenes
CRS-2H	3 especímenes
CQS-1H	3 especímenes

Fuente: *Elaboración Propia*

Técnica de Recolección de Datos

La principal fuente de recolección de datos es la observación experimental, ya que se tiene la posibilidad de manipular las variables. Para esta técnica se usará notas de campo, registro de datos, etc. Por lo que, se tendrá en cuenta, además:

- Determinación de la población.
- Selección de la muestra.
- Operación del estudio.
- Diseño del instrumento.
- Métodos para el procesamiento de información.

De esta manera, la recolección de datos está asegurada y su viabilidad en el desarrollo de la investigación será contrastada según la normativa que los regule. Una vez concluida la fase de recolección de datos, estos serán procesados de forma digital a través de hojas de cálculo Excel, mostrando gráficas estadísticas con la inclusión de histogramas comparativos, mismos que, serán contrastados con las normativas que preceden los ensayos.

Tabla 10

Recolección de Datos material de Afirmado

Variable	Fuente	Técnica	Instrumento
Tamaño de Partícula	Material de Afirmado	Observación Directa	-Tamiz
			-Balanza
			-Horno
Límite Líquido	Material de Afirmado	Observación Directa	-Copa de Casagrande
			-Balanza
			-Acanalador
			-Espátula

Límite Plástico	Material de Afirmado	Observación Directa	-Balanza. -Horno. -Tamiz n°40
Desgaste de los Agregados	Material de Afirmado	Observación Directa	-Balanza. -Tamices. -Máquina de los Ángeles. -Carga Abrasiva.
Resistencia de los Suelos	Material de Afirmado	Observación Directa	-Prensa. -Molde. -Pisón de compactación. -Pistón de Penetración. -Diales.

Fuente: *Elaboración propia.*

Procedimiento

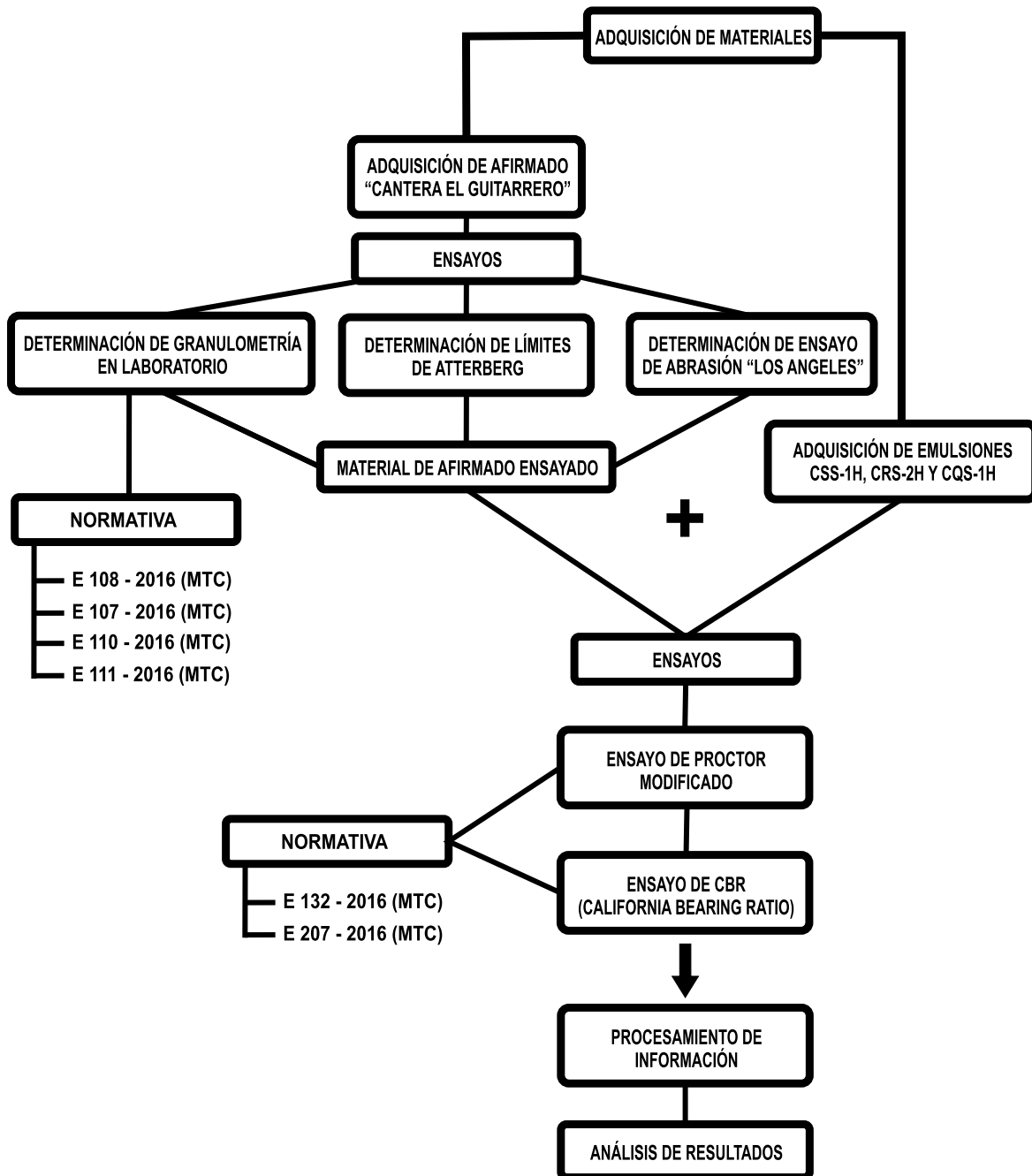
- **Paso 1:** Se ha elegido una de las canteras de la ciudad de Cajamarca, en este caso la seleccionada es la cantera “El Guitarrero” por lo que, se ha optado por una muestra, por conveniencia, debido a la cercanía y facilidad del traslado al laboratorio; además, se tomarán en cuenta las normativas que regulan el procedimiento y aceptación de datos para el desarrollo de la presente investigación.
- **Paso 2:** Se realizará el muestreo en campo, obteniendo la cantidad suficiente del material de la cantera para los ensayos que se requieran.
- **Paso 3:** Una vez obtenidas las muestras, serán llevadas al laboratorio donde se realizarán los ensayos que se precisen, entre ellos se encuentran: Granulometría, Límite Líquido y Límite Plástico, Abrasión, Proctor Modificado, CBR, etc.

- **Paso 4:** Si el material obtenido de la cantera “El Guitarrero” cumple con los requisitos mínimos establecidos en normativa, se procederá a la incorporación del 4% de emulsión asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada.
- **Paso 5:** Se determinará, en laboratorio, todos los ensayos para la determinación de las propiedades físicas del material natural y de aquellas mezclas entre material y emulsiones, con la finalidad de obtener los datos necesarios para su posterior análisis y comparación, este proceso se lleva a cabo tomando en cuenta la normativa respectiva en cuanto a datos aceptables.
- **Paso 6:** Se procederá al cálculo de los distintos ensayos para la obtención de la resistencia mecánica, estos datos serán trasladados a los protocolos de laboratorio.
- **Paso 7:** 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.

Se detalla en líneas siguientes el esquema del procedimiento en detalle:

Figura N°11

Esquema de desarrollo.



Adquisición del Material: Para la presente investigación, el material de afirmado utilizado fue el de la cantera "El Guitarrero", material de fácil adquisición, transporte y, que, por investigaciones realizadas y contraste a la normativa, cumple con las características para ser de afirmad. Por otro lado, la adquisición de emulsiones se hizo a través de la empresa certificada

CORPORC S.A.C., y cuyas características se basan en la normativa que las regula para su aplicación.

Ensayos de Laboratorio: Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos y son los siguientes, que a continuación se describen:

A. Contenido de Humedad, (NTP 339, 127. 1999): Para este ensayo se procedió a determinar la relación existente entre la masa de agua contenida y la masa de sólidos de una masa de suelo, este ensayo es imprescindible para la determinación del comportamiento y resistencia de un material de construcción, para su cálculo se utilizó las siguientes formulas:

$$W(\%) = \frac{M_w}{M_s} * 100$$

Ecuación 1: Contenido de Humedad

$$W(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100$$

Ecuación 2: Determinación de Contenido de Humedad

Donde:

M1: Masa de la muestra de afirmado.

M2: Masa de la muestra del afirmado seca.

M1-M2: Masa del agua contenida en el material de afirmado.

El procedimiento que se llevó fue el siguiente:

- a. Material Utilizado:** El material utilizado fue el material de afirmado de la cantera “El Guitarrero”.
- b. Equipo Utilizado:** Balanza de aproximación 0.01 gr., Estufa, Taras.
- c. Ejecución de Ensayo:**

- Pesar las taras.
- Pesar la muestra húmeda más la tara ($W_h + t$).
- Dejar la tara más la muestra en la estufa por 24 horas a 105°C .
- Retirar la muestra seca y pesar.
- Determinar el peso del agua: $W_w = (W_m + t) - (W_s + t)$.
- Determinar el peso de la muestra seca: $W_s = (W_s + t) - (W_t)$.
- Determinar el contenido de humedad:

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Ecuación 3: Contenido de Humedad.

Donde:

W_w : Peso del agua.

W_s : Peso de la muestra del afirmado seca.

B. Análisis Granulométrico (NTP 339, 128, 1999): Con el material de afirmado en laboratorio, se determinó la granulometría utilizando los tamices de malla para análisis granulométrico (1", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200.), el fin de este ensayo es determinar las proporciones de granos que existen en un suelo. La herramienta principal es el tamiz, que debe tener medidas normalizadas para su uso específico.

a. Material Utilizado: El material utilizado fue el material de afirmado seco, una muestra aproximada de 500 gr.

b. Equipo Utilizado: Juego de tamices, balanza con aproximación 0.01gr, Estufa (horno), taras.

c. Ejecución de Ensayo:

- Secar la muestra y pesar.
- Tamizar la muestra en la malla N°200 con un chorro de agua para separar los finos.
- Secar la porción de muestra retenida en la malla N°200 y dejar en la estufa.
- Con la porción de muestra seca se procede a pasar por las mallas N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100 y N°200.
- Determinar los porcentajes retenidos acumulados en cada malla (%Rp) mediante la ecuación:

$$\%Rp = \frac{PRP}{W_{ms}}$$

Ecuación 4: Porcentaje de peso retenido en cada malla.

Donde:

P.R.P.: Porcentaje Retenido Parcial de material.

Wms: Peso de la muestra del afirmado seca.

- Determinar los porcentajes retenidos acumulados.

$$\%RA_1 = \%RP_1$$

$$\%RA_2 = \%RP_1 + \%RP_2 + \dots + etc.$$

Ecuación 5: Porcentaje retenido acumulado en cada malla.

Donde:

R.A1.: Porcentaje Retenido Acumulado 1.

- Determinar los porcentajes acumulados en cada malla.

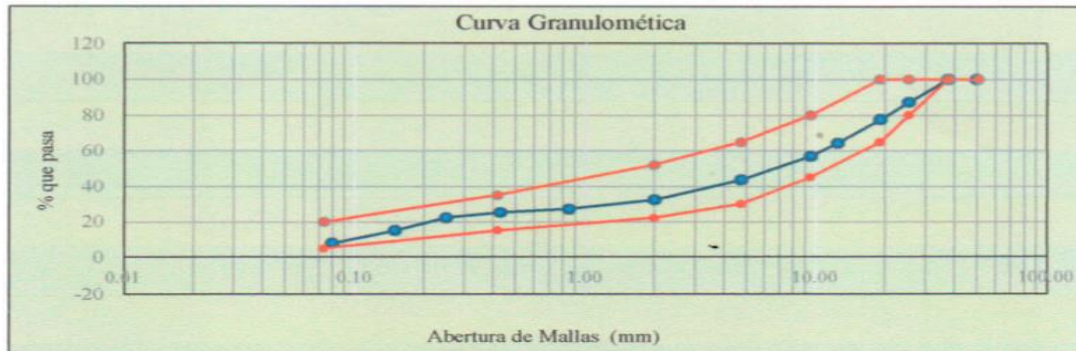
$$\%que\ pasa = 100\% - \% R. A.$$

Ecuación 6: Porcentaje acumulado que pasa en cada malla.

- Dibujar la curva granulométrica en ejes X, Y; donde en el eje de abscisas debe tomarse las aberturas de las mallas en milímetros y en el eje de las ordenadas debe tomarse el porcentaje retenido acumulado en cada malla.

Figura N°12

Márgenes para Granulometría.



C. Límites de Atterberg (NTP 339, 129, 1999): Se define como el contenido de humedad en donde la masa de suelo se encuentra entre el estado plástico y estado líquido.

Límite Líquido (LL)

- Material Utilizado:** Afirmado seco pasante por la malla N°40
- Equipo Utilizado:** Malla N°40, Copa de Casagrande, Ranurador, Balanza con aproximación 0.01 gr, Estufa (Horno), Probeta 100ml, Cápsula de porcelana, Taras.
- Ejecución de Ensayo:**
 - Se procede a tamizar una muestra en la malla N°40, este material es llevado a la capsula de porcelana donde se le agregará agua hasta obtener una pasta uniforme y de buena consistencia.
 - La mezcla es llevada a la copa de Casagrande, donde se nivelará hasta obtener un espesor de 1 cm en aproximado.
 - Se procede a realizar una ranura al centro de la masa con el acanalador, de tal manera que se obtengan dos porciones divididas.

- Se procede a realizar los golpes necesarios para unir las dos partes. Se debe registrar el número de golpes.
- Con una espátula se retira la porción de mezcla que se puso en contacto y colocar en una tara y pesar.
- Realizar el ensayo dos veces más aumentando el agua con el fin de tener tres contenidos de humedad diferentes.
- Dibujar la curva de fluidez en escala logarítmica, donde el eje “x” llevara los datos de número de golpes y en el eje “y” los contenidos de humedad.

Límite Plástico (LP): Se define como el límite entre el estado plástico y semi sólido, con el contenido de humedad más bajo, en donde el suelo empieza a fracturarse.

a. Material Utilizado: Afirmado seco pasante por la malla N°40., previamente mezclado con agua hasta tener una masa consistente.

b. Equipo Utilizado: Balanza con aproximación 0.01 gr, Estufa (Horno), Taras, Placa de Vidrio.

c. Ejecución de Ensayo:

- Se reutilizará el material sobrante del ensayo de límite líquido, al cual se le agrega un poco de material seco con el fin de obtener una mezcla más seca, lo suficiente para permitir hacer rollos.
- Se enrolla el material en la placa de vidrio, hasta obtener bastones de 3mm de diámetro y hasta presentar agrietamientos.
- Se procede a colocar en taras y colocar en la estufa.

Índice Plástico (IP)

Es la diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico.

$$IP = LL - LP.$$

Ecuación 6: Índice Plástico.

D. Clasificación de Suelos SUCS (NTP 339, 134, 1999): Se define la clasificación de suelos por el método SUCS, con los resultados de los ensayos anteriores y con los protocolos establecidos para la clasificación en la NTP 339, 134.

D. Clasificación de Suelos AASHTO (ASTM D 3282, 1993): Se define la clasificación de suelos por el método AASHTO, con los resultados de los ensayos anteriores y mediante los simbolismos según el tamaño del grano y la plasticidad utilizando la ecuación:

$$IG = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$$

Ecuación 7: Índice de Grado.

Donde:

a = % pasante N°200 (35-75).

b = % pasante N°200 (15-55).

c = % LL (40-60).

d = % IP (10-30).

E. Incorporación de Emulsión Asfáltica al 4% (CRS-1H, CQS-1H, CSS-1H): Se incorporó las emulsiones de acuerdo a su porcentaje de residuo asfáltico, teniendo en cuenta que, el otro porcentaje viene siendo agua, ya que el estado de la emulsión es líquido:

Tabla 11

% de Residuo Asfáltico en Emulsión Asfáltica

Emulsión	% DE RESIDUO ASFALTICO
CRS-1H	65%
CQS-1H	62%
CSS-1H	57%

Fuente: Anexos 1,2 y 3

F. Ensayo de Abrasión (NTP 400.019.2014): Este ensayo determina la resistencia al desgaste del agregado grueso de un material definido.

a. Material Utilizado: Afirmado seco retenido en las mallas 1", ¾", ½" y 3/8" (1.250 kg).

b. Equipo Utilizado: Máquina de abrasión "Los Ángeles", Taras.

c. Ejecución de Ensayo:

- Se procede a escoger el método a utilizar, esto según el análisis granulométrico previamente determinado.
- Se procede a tomar la cantidad de muestra requerida para el ensayo según su tamaño exigido.
- Se coloca en la maquina con la cantidad de esferas según método y se programa el número de revoluciones requerido.

Tabla 12

Método Ensayo de Abrasión

Que pasa	Retenido	Masa de tamaño indicado			
		Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 ½")	25.0 mm (1")	1250 ± 25	-	-	-
25.0 mm (1")	19.0 mm (¾")	1250 ± 25	-	-	-
19.0 mm (¾")	19.0 mm (½")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12.5 mm (½")	9.5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (¼")	-	-	2500 ± 10	-
6.3 mm (¼")	4.75 mm (N°4)	-	-	2500 ± 10	-
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	-	-	-	5000
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: *Manual de ensayo de materiales, MTC E207-2016.*

- Calcular los porcentajes de desgaste mediante formula:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Pesofinal}}{\text{Peso inicial}}$$

G. Ensayo de Proctor Modificado (NTP 339.141, 1999): Se define como la relación existente entre la densidad seca de un suelo y su contenido de humedad, es utilizada para medir la compactación de un suelo. Existen dos tipos de Proctor: el Estándar y el Modificado.

Para la determinación de la densidad seca del material se debe tener en cuenta la cantidad de agua en la incorporación, esto determinará la Humedad óptima. Por lo dicho anteriormente la compactación del suelo es importante para aumentar la resistencia al corte de un suelo, aminorar la compresibilidad y reducir asentamientos, reducir la permeabilidad o reducir la expansión por congelamiento entre otros factores.

a. Material Utilizado: Material de afirmado en aproximadamente 25 kg.

b. Equipo Utilizado: Equipo de Proctor Modificado, pisón, balanza, estufa, Taras.

c. Ejecución de Ensayo:

- Se reunirá los datos de análisis granulométrico para utilizar el método adecuado, esto ya que según el tipo de material se debe usar un determinado molde para el ensayo de Proctor; en este caso se usó el Método “C”.
- Se prepara 4 muestras de aproximadamente 6kg cada una con una adición de agua (contenido de humedad) que varía 2% entre cada una.
- Se ensambla el equipo de Proctor modificado (base y molde) y se determina el peso.
- Se coloca el collarín, el papel filtro y el material dentro del molde.
- Se compacta el material en 5 capas y con el número de golpes necesario (25 o 56 dependiendo del método).

- Por último, enrasar y pesar, posteriormente tomar muestras para determinar su peso húmedo y seco.
- Determinar la densidad seca del material:

$$D_s = \frac{D_h}{\frac{1 + W\%}{100}}$$

Ecuación 9: Densidad Seca.

Donde:

Dh = Densidad Húmeda.

Ds = Densidad Seca.

- Dibujar la curva de compactación contenido de humedad versus densidad seca.
- Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

H. Ensayo de California Bearing Ratio CBR (NTP 339.145, 1999): Es el ensayo más utilizado para medir la resistencia al corte de un tipo de suelo según sus condiciones de humedad y densidad.

$$C. B. R. = 100 * \frac{Carga\ unitaria\ del\ ensayo}{Carga\ unitaria\ patrón}$$

Ecuación 10: Capacidad de soporte.

Este ensayo permite obtener y determinar la capacidad de soporte de un suelo o agregado que cuentan con una humedad óptima y un nivel de compactación variado; además también podemos determinar la capacidad de resistencia al corte del suelo; por lo que, el C.B.R. se define como la fuerza que se requiere para que un pistón normalizado penetre una profundidad determinada de suelo o agregado con una humedad óptima y densidad

dada, en relación a la fuerza necesaria para realizar esa misma penetración pero en una probeta con material estándar.

d. Material Utilizado: Material de afirmado seco, papel filtro.

e. Equipo Utilizado: Equipo de CBR (molde cilíndrico, collarín, disco espaciador), pisón, balanza, estufa, diales de expansión, espátula, Taras.

f. Ejecución de Ensayo:

- Se prepara el material con el contenido de humedad óptimo, si corresponde añadir la emulsión de cada tipo.
- Se compacta la muestra en 5 capas en cada molde, el primero con 13 golpes, el segundo con 27 golpes y el tercero con 56 golpes.
- Se toma muestras del ensayo y se determina la densidad húmeda y su contenido de humedad, posteriormente se determina la densidad seca de la muestra.
- Se invierten los moldes con el fin de que la parte libre quede en la parte superior.
- Se ensambla el molde con el disco de expansión, el papel filtro y el dial.
- Se sumerge en un tanque con agua, de tal manera que cubra el molde sin afectar el dial para su posterior lectura.
- Tomar las lecturas de dial en 4 días, cada 24 horas.
- Una vez realizadas las lecturas, retirar los diales y retirar los moldes del tanque para drenar el agua naturalmente durante 15 minutos.
- Se coloca la sobrecarga en cada molde y se lleva a la prensa hidráulica, aplicando un pisón a velocidad de 0.05 pulg/min.
- Se toman muestra y se determina la densidad húmeda, contenido de humedad y densidad seca de cada muestra.
- Se calcula el esfuerzo que se aplica a cada carga del ensayo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Ecuación 11: Esfuerzo.

Donde:

σ = Esfuerzo.

P = Carga aplicada.

A = Área del pisón.

- Dibujar la curva esfuerzo-deformación de cada muestra; en donde, el eje “x” llevara los datos de las deformaciones y el eje “y” los datos de los esfuerzos.
- Se determina los valores de C.B.R de cada muestra:

$$C. B. R. = 100 * \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}}$$

Ecuación 12: Capacidad de soporte.

- Se dibuja la curva Densidad Seca – CBR, según el caso a 0.1”.

I. Procesamiento de datos: en esta etapa se procede a recopilar la información y procesarla en gabinete con ayuda de formatos, protocolos, programas y asesoramiento con el fin de elaborar las hojas de cálculo, tablas gráficos y esquemas que faciliten la interpretación de resultados.

a. Herramientas: Software Microsoft Excel, Protocolos de Laboratorio.

Ubicación de la Cantera

Ubicada en la ciudad de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de Cajamarca.

Tabla 13

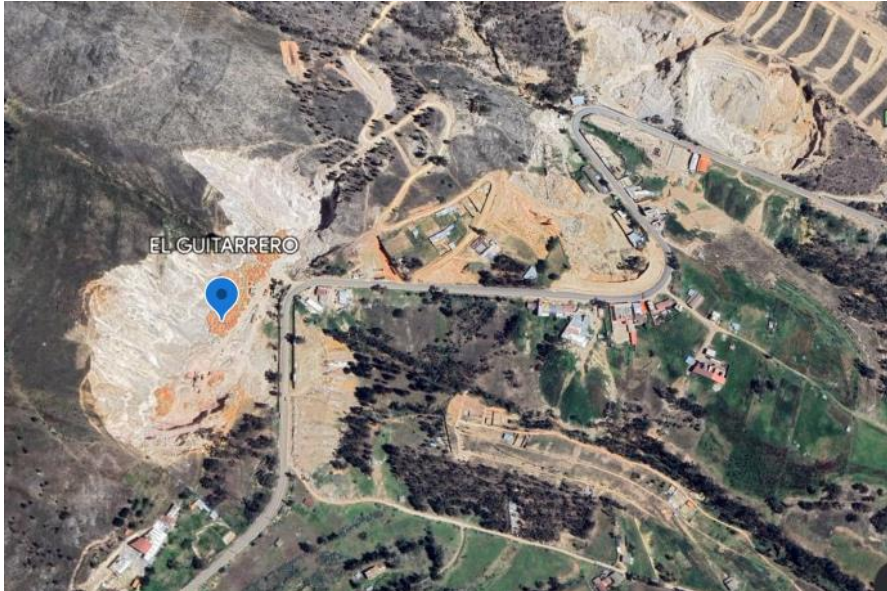
Coordenadas de la Cantera “El Guitarrero”

Coordenadas UTM	Coordenadas Geográficas
Este: 775022	Latitud: 7°12’10” S
Norte: 9203650	Longitud: 78°30’31” W

Fuente: Gps.

Figura N°13

Georreferenciación de cantera en “El Guitarrero”.



Adquisición de Materiales

El material granular a utilizar en laboratorio deberá ser extraído de la cantera El Guitarrero, cuya información se encuentra líneas arriba, procurando que el material extraído sea el adecuado (material de afirmado) para el procedimiento de la investigación al momento de realizar los ensayos.

En referencia a las emulsiones a utilizar, estas serán adquiridas de una empresa certificada en la elaboración de emulsiones. Por ello, la adquisición de estos materiales debe ser lo más confiable y segura posible para un desarrollo correcto. Por otro lado, estas también deben cumplir con los estándares de la norma ASTM D2397, es así que, se utilizará emulsión de rotura lenta (CSS-1H), rápida (CRS-1H) y controlada (CQS-1H).

Ensayos de Laboratorio

El proceso y desarrollo de la presente investigación será llevado a cabo en las instalaciones destinadas en la Universidad Privada del Norte, para ser precisos en los Laboratorios de Mecánica de Suelos, bajo la supervisión del Técnico encargado. Dentro de los ensayos a elaborar a nuestra muestra de material granular y emulsión asfáltica serán esenciales los siguientes:

- ✓ Análisis Granulométrico.
- ✓ Límites de Atterberg.
- ✓ Abrasión.
- ✓ Proctor Modificado.
- ✓ Análisis CBR.

Validez y confiabilidad

En referencia a la confiabilidad de la investigación, se puede decir que, está elaborada tomando en cuenta la Guía para Muestreo de Suelos y Rocas del MTC E 101-2016 y el Manual de Ensayo de Materiales 2016, los que a su vez forman parte de los manuales de carreteras establecidos en el Perú que, tienen su base en la norma internacional ASTM D 420-98. Por otro lado, se hizo uso de los formatos de laboratorio, propios de nuestra universidad, por lo que, se avala que los procedimientos para la determinación y justificación de la hipótesis planteada fueron siguiendo la normativa peruana y con el debido acompañamiento y seguimiento en laboratorio UPN. Los protocolos emitidos por laboratorio serán anexados al documento presente.

Análisis de Datos

Para llegar a este punto se menciona que, el proceso de desarrollo fue en secuencia según el esquema de procedimiento teniendo en cuenta las normas técnicas MTC, ASTM y

AASHTO. Estos ensayos fueron desarrollados en el laboratorio UPN, documentos presentados en la sección de anexos.

Los ensayos fueron los siguientes:

a) Contenido de Humedad:

Para el análisis de datos del presente ensayo se utilizó el procedimiento descrito en el acápite referido a metodología, además que los cálculos para el procesamiento de resultados fueron acorde a las fórmulas, también descritas, en la misma sección; por lo que, los datos obtenidos fueron contrastados y posteriormente procesados mediante hojas Excel, con el fin de obtener una representación en la que se pueda apreciar dichos resultados, lo que se aprecia en el anexo N°1 de la presente.

Tabla 14

Análisis de Datos-Contenido de Humedad

Muestra	Instrumentos Para el ensayo	Parámetros de Evaluación	Normativa	Procesamiento de Información
Material de afirmado	-Estufa -Taras - Balanza	- % de agua contenida en la muestra - Peso de la muestra	MTC E-108 -2016	- Protocolo de laboratorio. - Formato Excel.

Fuente: *Elaboración propia*

b) Límites de Atterberg:

Para el análisis de datos del presente ensayo se utilizó el procedimiento descrito en el acápite referido a metodología; además que, los cálculos para el procesamiento de resultados fueron acorde a las fórmulas, también descritas, en la misma sección.

En cuanto a los datos obtenidos, estos fueron comparados entre sí y con los datos

estadísticos de investigaciones similares, con el fin de encontrar aproximar un promedio que cumpla con los parámetros límites de normativa. Anexo N°2.

Tabla 15

Análisis de Datos-Límites de Atterberg

Muestra	Instrumentos Para el ensayo	Parámetros de Evaluación	Normativa	Procesamiento de Información
Material de afirmado Seco (200 gr) Pasante malla N° 40	-Estufa -Taras - Balanza	- % de agua contenida en la muestra tratada. - Peso de la muestra tratada. - Número de golpes para consolidar la prueba. - Contenido de humedad	MTC E-110 -2016 E-111-2016	- Protocolo de laboratorio. - Formato Excel.

Fuente: *Elaboración propia*

c) Análisis Granulométrico:

Para el análisis de datos del presente ensayo se utilizó el procedimiento descrito en el acápite referido a metodología; además que, los cálculos para el procesamiento de resultados fueron acorde a las fórmulas, también descritas, en la misma sección. En cuanto a los datos obtenidos, estos fueron puestos en contraste a investigaciones similares, y, en contraste con la normativa vigente y de esta manera determinar su viabilidad o descarte para luego expresarlos gráficamente. Entre los datos de análisis tenemos la curva granulométrica y los límites establecidos en normativa.

Tabla 16

Análisis de Datos-Análisis Granulométrico

Muestra	Instrumentos Para el ensayo	Parámetros de Evaluación	Normativa	Procesamiento de Información
---------	-----------------------------	--------------------------	-----------	------------------------------

Material de afirmado Seco (10 kgr)	- Estufa - Taras - Balanza - Mallas: 1/1/2", 1", 3/4", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200.	- Peso de la muestra retenida en las mallas. - % retenido acumulado en las mallas.	MTC E-107 -2016	- Protocolo de laboratorio. - Formato Excel.
------------------------------------	--	---	--------------------	---

Fuente: *Elaboración propia.*

d) Abrasión “Los Ángeles”:

Para el análisis de datos del presente ensayo se utilizó el procedimiento descrito en el acápite referido a metodología; además que, los cálculos para el procesamiento de resultados fueron acorde a las fórmulas, también descritas, en la misma sección. En cuanto a los datos obtenidos, estos fueron puestos en contraste a la normativa y sus límites para la viabilidad o descarte del material de afirmado.

Tabla 17

Análisis de Datos-Abrasión “Los Ángeles”

Muestra	Instrumentos Para el ensayo	Parámetros de Evaluación	Normativa	Procesamiento de Información
Material de afirmado Seco (5 kg)	- Taras - Balanza - Mallas: 1/1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°12. - Máquina de Los Ángeles.	- Coeficiente de desgaste por abrasión. - Peso de la muestra previo y posterior al ensayo.	MTC E-207 -2016	- Protocolo de laboratorio. - Formato Excel.

Fuente: *Elaboración propia.*

e) Proctor Modificado:

Para el análisis de datos del presente ensayo se utilizó el procedimiento descrito en el acápite referido a metodología; además que, los cálculos para el procesamiento de resultados fueron acorde a las fórmulas, también descritas, en la misma sección; cabe mencionar que se realizaron 4 especímenes por cada tipo de emulsión incluida, los porcentajes adicionados de agua para los ensayos fueron al 2%, 4%, 6% y 8%.

En cuanto a los datos encontrados, estos fueron comparados con investigaciones similares y luego contrastados entre sí para verificar lo afirmado con la hipótesis, posteriormente estos fueron expresados gráficamente para una mejor apreciación. Entre los datos a analizar tenemos el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca.

Tabla 18

Análisis de Datos-Proctor Modificado

Muestra	Instrumentos Para el ensayo	Parámetros de Evaluación	Normativa	Procesamiento de Información
- Material de afirmado Seco (24 kg). - Emulsiones Asfálticas.	- Taras - Balanza - Equipo de Proctor modificado.	- Máxima densidad seca. - Óptimo contenido de humedad.	MTC E-115 -2016	- Protocolo de laboratorio. - Formato Excel. - Curva óptimo contenido de humedad vs. Máx. densidad seca.

Fuente: *Elaboración propia*

f) California Bearing Ratio:

Para el análisis de datos del presente ensayo se utilizó el procedimiento descrito en el acápite referido a metodología; además que, los cálculos para el procesamiento de resultados fueron acorde a las fórmulas, también descritas, en la misma sección.

Cabe mencionar que para el desarrollo de la presente se elaboraron 3 ensayos por cada tipo de emulsión además de la muestra patrón. En cuanto a los datos obtenidos, estos fueron comparados entre sí y posteriormente graficados para una mejor interpretación. Los datos más relevantes en el análisis fueron las la curva esfuerzo - deformación y CBR – densidad al 01” y 0.2” de penetración, los datos fuero representados de forma gráfica.

Tabla 19

Análisis de Datos-CBR

Muestra	Instrumentos Para el ensayo	Parámetros de Evaluación	Normativa	Procesamiento de Información
-Material de afirmado Seco (24 kg). - Emulsiones Asfálticas	-Taras - Balanza - Equipo de Proctor modificado. - Diales. - Prensa. - Pisón.	- Máxima densidad seca. - Óptimo contenido de humedad. -Lectura de esfuerzo penetración. -Lectura de diales (deformaciones). -	MTC E-132 -2016	- Protocolo de laboratorio. - Formato Excel. - Curva Esfuerzo vs. Penetración. - Curva densidad seca vs. CBR.

Fuente: *Elaboración propia.*

Aspectos Éticos

Dentro de lo principal y que respalda una correcta elaboración en la investigación presente, se detalla que las investigaciones consultadas para el presente desarrollo provienen de fuentes con respaldo científico, como lo son: el repositorio de UPN, biblioteca Scielo; además de la normativa vigente para el desarrollo de ensayos como lo son: Manual de Carreteras 2013 y manuales MTC. Además, cabe resaltar que se hizo énfasis en la veracidad

de resultados obtenidos en laboratorio, contrastándolos con otras investigaciones y con la supervisión constante del encargado de laboratorio. Por ello es imprescindible presentar y contrastar la evidencia fotográfica y la documentación de protocolos de laboratorio (documentos firmados y aprobados) que se encuentran en el acápite Anexos.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Entre los resultados obtenidos, luego del procedimiento protocolar de ensayos de laboratorio se tiene lo siguiente:

Tabla 20

Contenido de Humedad

Muestra	Resultado
M1	2.47
M2	3.02
M3	2.61

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 21

Propiedades Físicas de Material Natural para Afirmado

Ensayo	Resultado
Análisis Granulométrico	A-1
Límite Líquido	14.7%
Límite Plástico	N.P.
Abrasión	48.5%

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 22

Residuo Asfáltico Emulsiones

Emulsión	Residuo Asfáltico
CSS-1H	57%
CRS-2H	65%
CQS-1H	62%

Fuente: *Elaboración Propia.*

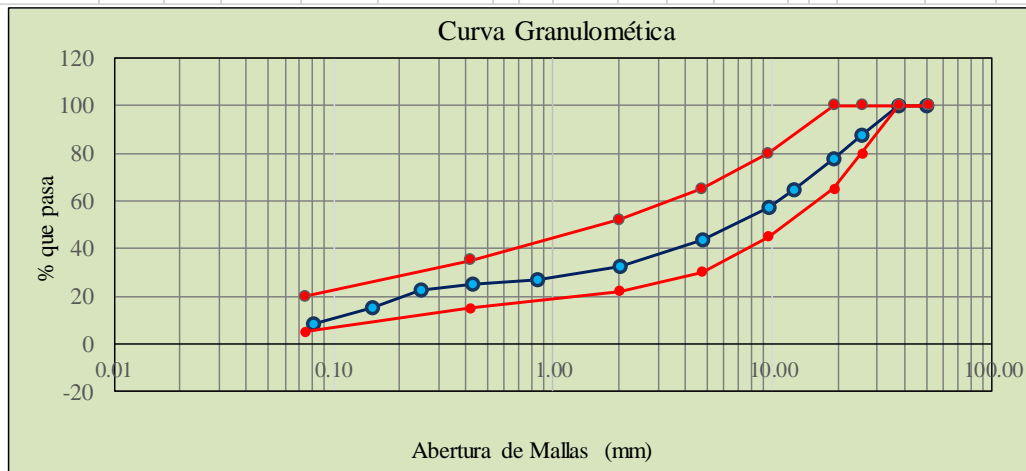
La tabla anterior muestra los resultados obtenidos luego de realizar los ensayos, según protocolo, en laboratorio y acorde con los parámetros del Manual de Carreteras sección 301.E.02 Suelos. Concluyendo así que, en cuanto al análisis granulométrico, el material corresponde a la clasificación del tipo A-1 según clasificación AASHTO. Además, el material presenta un límite líquido del 17%, así también, este material no presenta límite plástico. Por

otro lado, en el ensayo de abrasión “Los Ángeles”, el material presentó un desgaste a la abrasión del 48.5%.

Figura N°14

Análisis Granulométrico Material de Afirmado.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
1	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.40	1386.80	12.58	12.58	87.42
3/4	19.00	1074.20	9.75	22.33	77.67
1/2	12.50	1450.80	13.17	35.50	64.50
3/8	9.50	823.80	7.48	42.98	57.02
N4	4.75	1473.20	13.37	56.35	43.65
N°10	2.00	130.20	11.37	67.72	32.28
N°20	0.85	59.60	5.20	72.92	27.08
N°40	0.43	20.90	1.82	74.75	25.25
N°60	0.25	34.40	3.00	77.75	22.25
N°100	0.15	82.60	7.21	84.96	15.04
N°200	0.08	80.50	7.03	91.99	8.01
Cazoleta		91.80	8.02	100.0	0.0
Total					



C. AASHTO:	A-1a	S.U.C.S:	GW-GM
------------	------	----------	-------

Tabla 23

Resultados Proctor Modificado

Ensayo	Parámetro	M. Afirmado				M. Afirmado + 4% CSS-1H				M. Afirmado + 4% CRS-1H				M. Afirmado + 4% CQS-1H			
		M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
Proctor	Densidad seca	2.177	2.211	2.223	2.174	2.145	2.195	2.214	2.203	2.165	2.202	2.233	2.230	2.159	2.182	2.201	2.177
	Humedad Óptima	1.75	4.5	6.9	9.0	2.0	4.1	6.1	7.8	2.4	3.7	5.7	7.5	2.3	3.7	6.1	7.1

Fuente: *Elaboración Propia.*

En la tabla anterior se muestra los resultados del ensayo de Proctor modificado de la muestra patrón, así como de los demás especímenes con adición de emulsión asfáltica. Se aprecia los resultados de densidad seca y humedad óptima. Para el desarrollo del ensayo de Proctor modificado se tomó como base el método “C”, material que pasa por el tamiz N°20mm, posteriormente se realiza los pasos según protocolo de laboratorio empleando las condiciones siguientes:

Tabla 24

Resultados Proctor Modificado

Ensayo	Parámetro	M. Afirmado				M. Afirmado + 4% CSS-1H				M. Afirmado + 4% CRS-1H				M. Afirmado + 4% CQS-1H			
		M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
Proctor	Adición de % agua	2%	4%	6%	8%	2%	4%	6%	8%	2%	4%	6%	8%	2%	4%	6%	8%
	Material de afirmado	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg
	Emulsión %	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

Fuente: *Elaboración Propia.*

Por otro lado, entre los resultados de CBR obtenidos de la evaluación de los 12 especímenes se muestra lo siguiente:

Tabla 25

Resultados CBR-Especímenes

Ensayo	Parámetro	M. Afirmado			M. Afirmado + 4% CSS-1H			M. Afirmado + 4% CRS-1H			M. Afirmado + 4% CQS-1H		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
CBR	Densidad seca	2.087	2.261	2.239	2.003	2.146	2.188	2.055	2.126	2.38	1.999	2.123	2.253
	Cont. Humedad	6.5	6.8	6.7	6.0	5.0	5.8	6.7	6.0	6.9	6.3	6.1	5.9
	CBR 0.1”	25.3	37.6	49.2	36.5	50.2	69.1	24.8	32.9	45.7	38.2	40.0	45.2
	CBR 0.2”	33.8	47.0	57.1	42.8	59.6	89.5	34.8	48.1	64.7	43.6	45.9	53.6

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 26

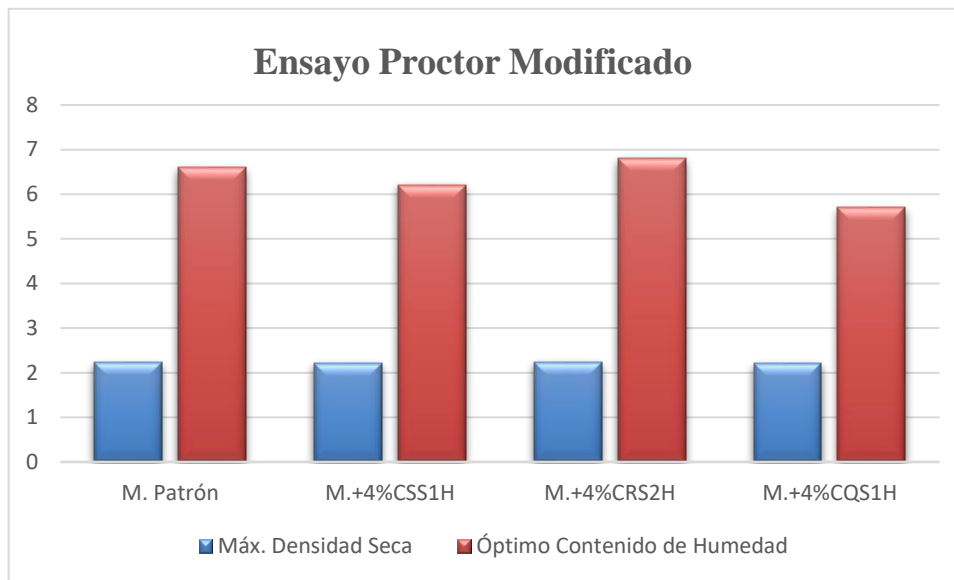
Proctor Resumen

Ensayo	M. Patrón	M.+4%CSS1H	M.+4%CRS2H	M.+4%CQS1H
Máx. Densidad Seca	2.224	2.214	2.244	2.204
Óptimo Contenido de Humedad	6.6%	6.2%	6.8%	5.7%

Fuente: *Elaboración Propia.*

Figura N°15

Análisis Proctor Modificado.



En la tabla anterior se presenta los resultados resumen obtenidos del ensayo de Proctor modificado.

Tabla 27

Cantidad de materiales CBR

Ensayo	Espécimen Solo afirmado	Emulsión 4%CSS1H	Agua (ml) 2%	Agua (ml) 2%
Afirmado	6 kg.	6 kg.	6 kg.	6 kg.
4% E. CSS-1H	-	240 (ml)	-	-
4% E. CRS-2H	-	-	240 (ml)	-
4% E. CQS-1H	-	-	-	240 (ml)
Agua efectiva	382.74 gr	268.8 (ml)	316.8 (ml)	258.0(ml)

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 28

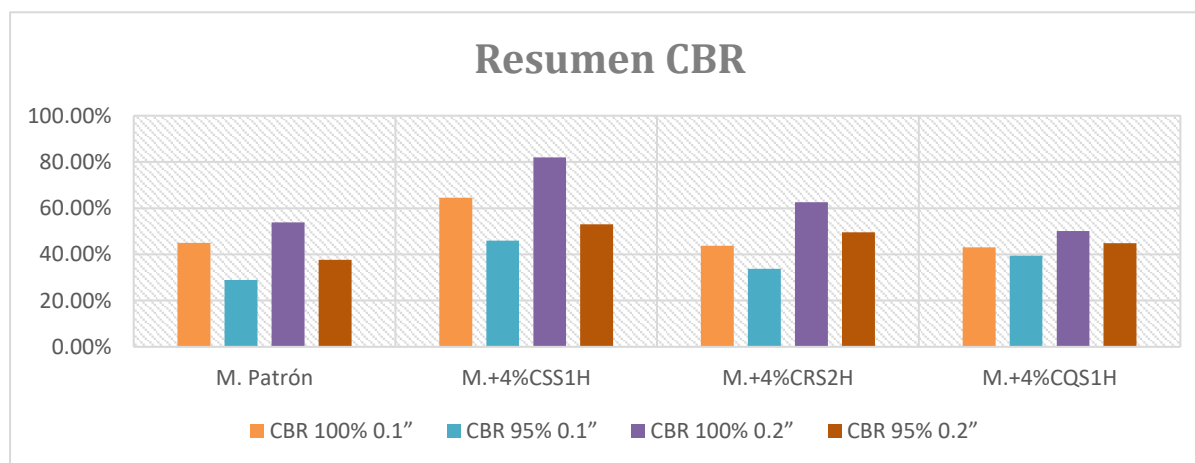
CBR Resumen

Ensayo	M. Patrón	M.+4%CSS1H	M.+4%CRS2H	M.+4%CQS1H
CBR 100% 0.1"	45.0%	64.5%	43.8%	43.0%
CBR 95% 0.1"	28.9%	46.0%	33.8%	39.5%
CBR 100% 0.2"	53.8%	82.0%	62.5%	50.1%
CBR 95% 0.2"	37.6%	53.0%	49.5%	44.9%

Fuente: *Elaboración Propia.*

Figura N°16

Resultados de CBR.

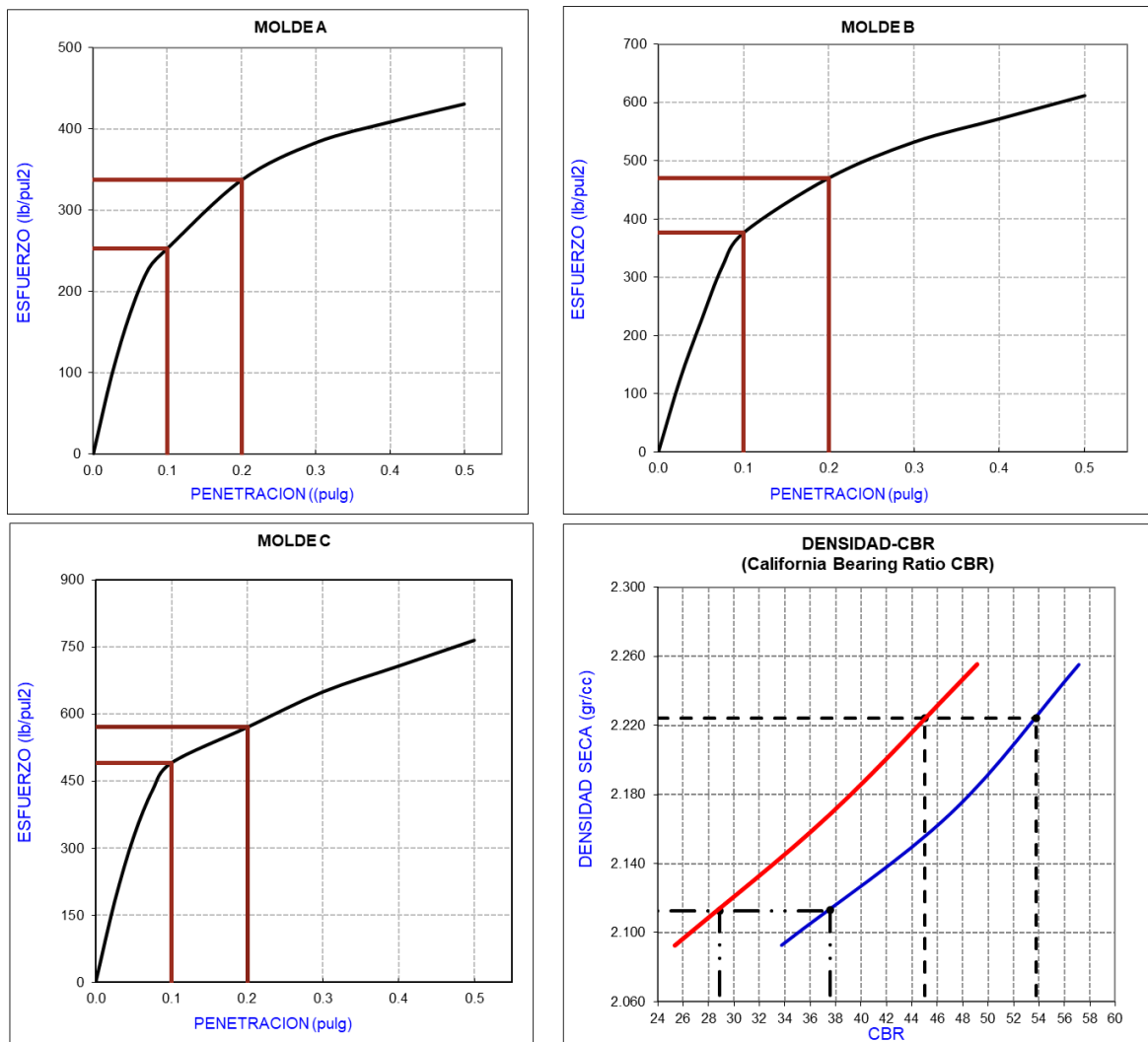


De la figura anterior podemos ver que la resistencia mecánica del afirmado mejora según la incorporación de emulsión asfáltica; siendo así que, la aplicación de distintos tipos de

emulsión otorga propiedades físicas distintas en cuanto a la resistencia mecánica final; por lo que, los resultados serán variados, mostrando en algunos casos, un comportamiento favorable; sin embargo, aún sujetos a otros tipos de características.

Figura N°17

Curva Esfuerzo – Deformación y Densidad – CBR – Muestra Patrón.

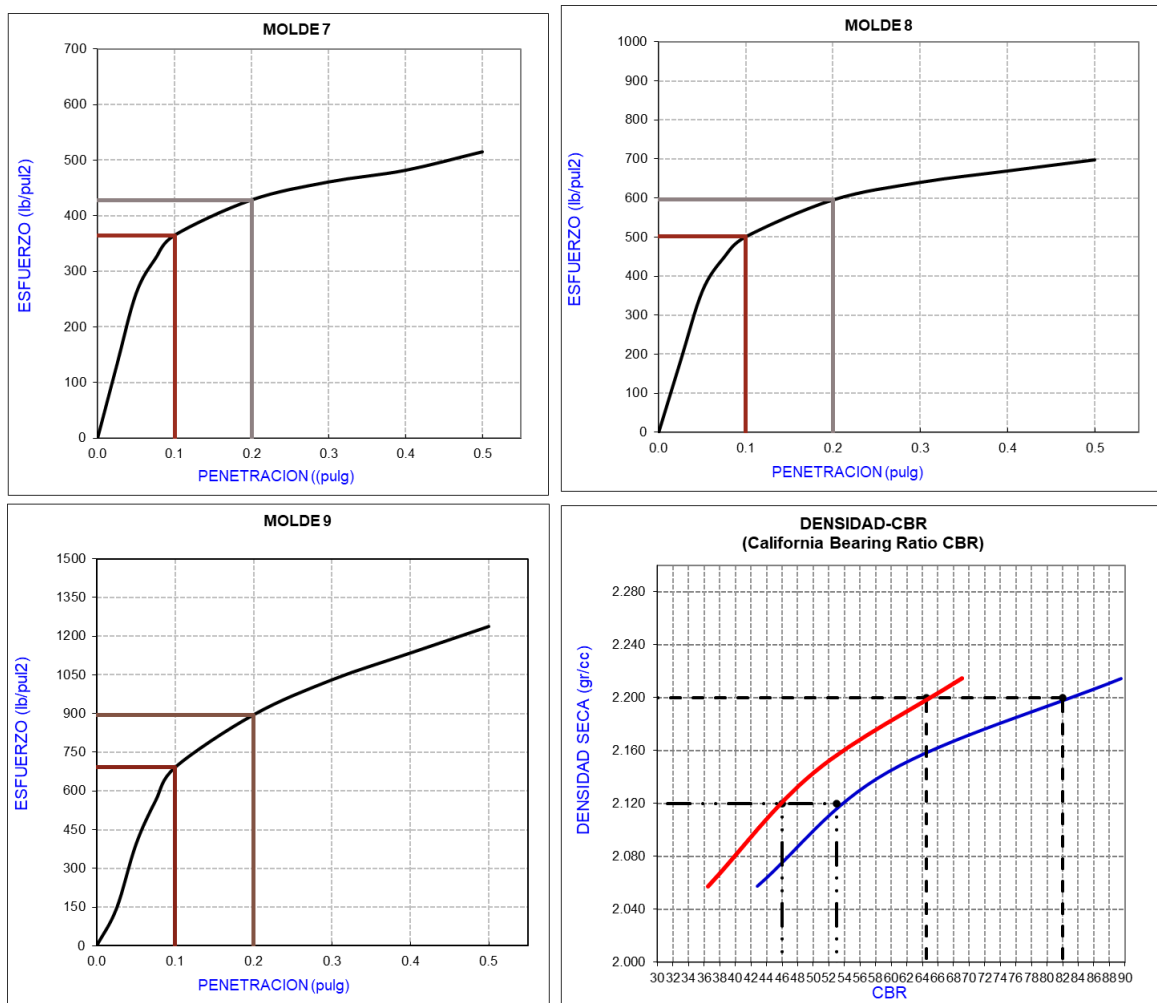


De la figura anterior podemos decir que la resistencia mecánica del afirmado mejora y se evidencia en el trazado de la curva Esfuerzo vs Deformación siendo que, la resistencia

mecánica aumenta según la variación de esfuerzos aplicada esto dependiendo de la elaboración del espécimen debido al número de golpes aplicado.

Figura N°18

Curvas Esfuerzo vs. Deformación y Curva Densidad Seca vs. CBR – Mat. Afirmado + 4% CSS-1H.

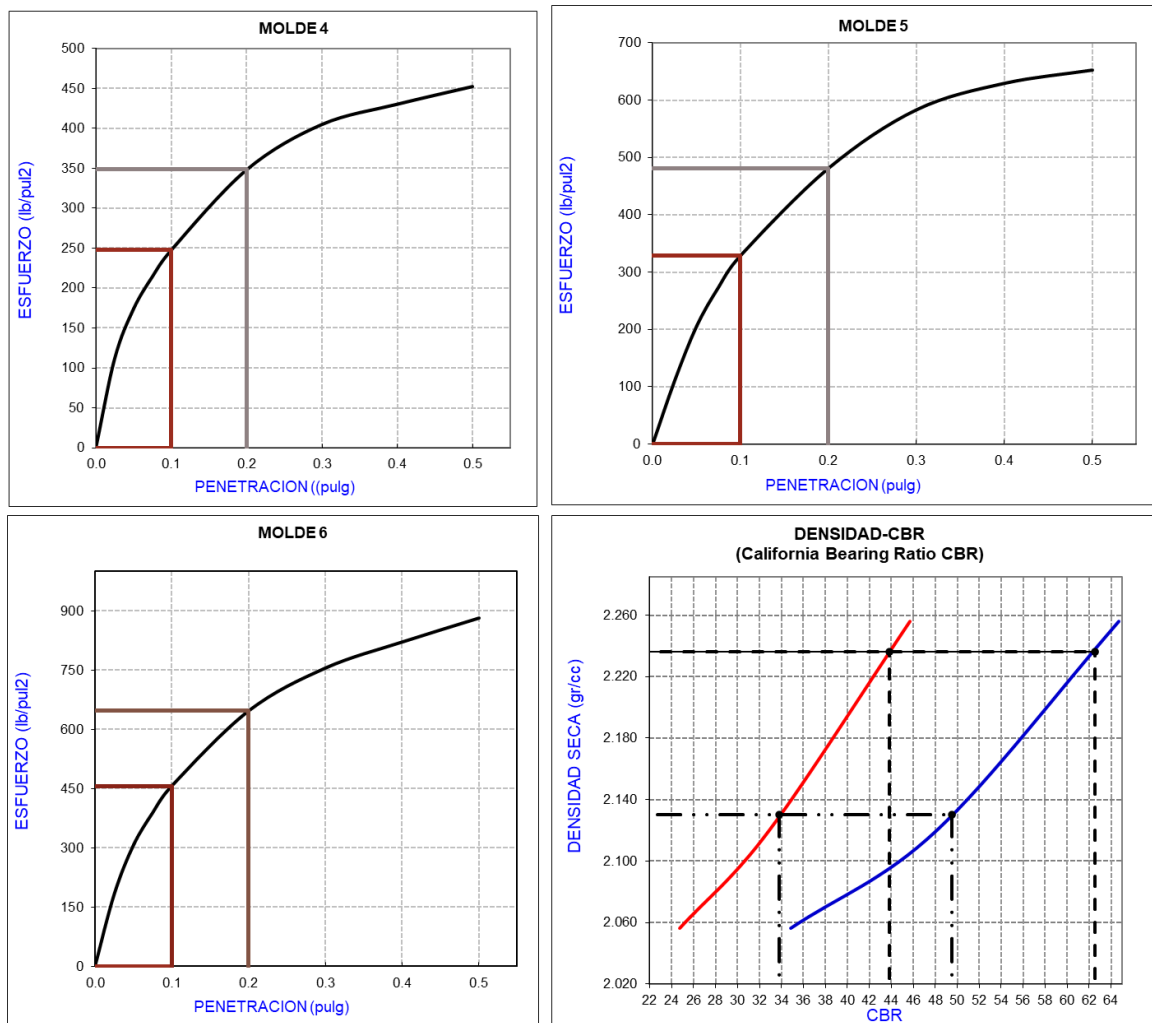


De la figura anterior podemos decir que la resistencia mecánica del afirmado mejora y se evidencia en el trazado de la curva Esfuerzo vs Deformación siendo que, la resistencia mecánica aumenta según la variación de esfuerzos aplicada y la incorporación de emulsión asfáltica de rotura lenta al 4% (CSS-1H) esto dependiendo de la elaboración del espécimen

debido al número de golpes aplicado, denotado así en el trazado de las curvas de CBR y Densidad al 01” y 0.2” de penetración.

Figura N°19

Curvas Esfuerzo vs. Deformación y Curva Densidad Seca vs. CBR – Mat. Afirmado + 4% CRS-2H.

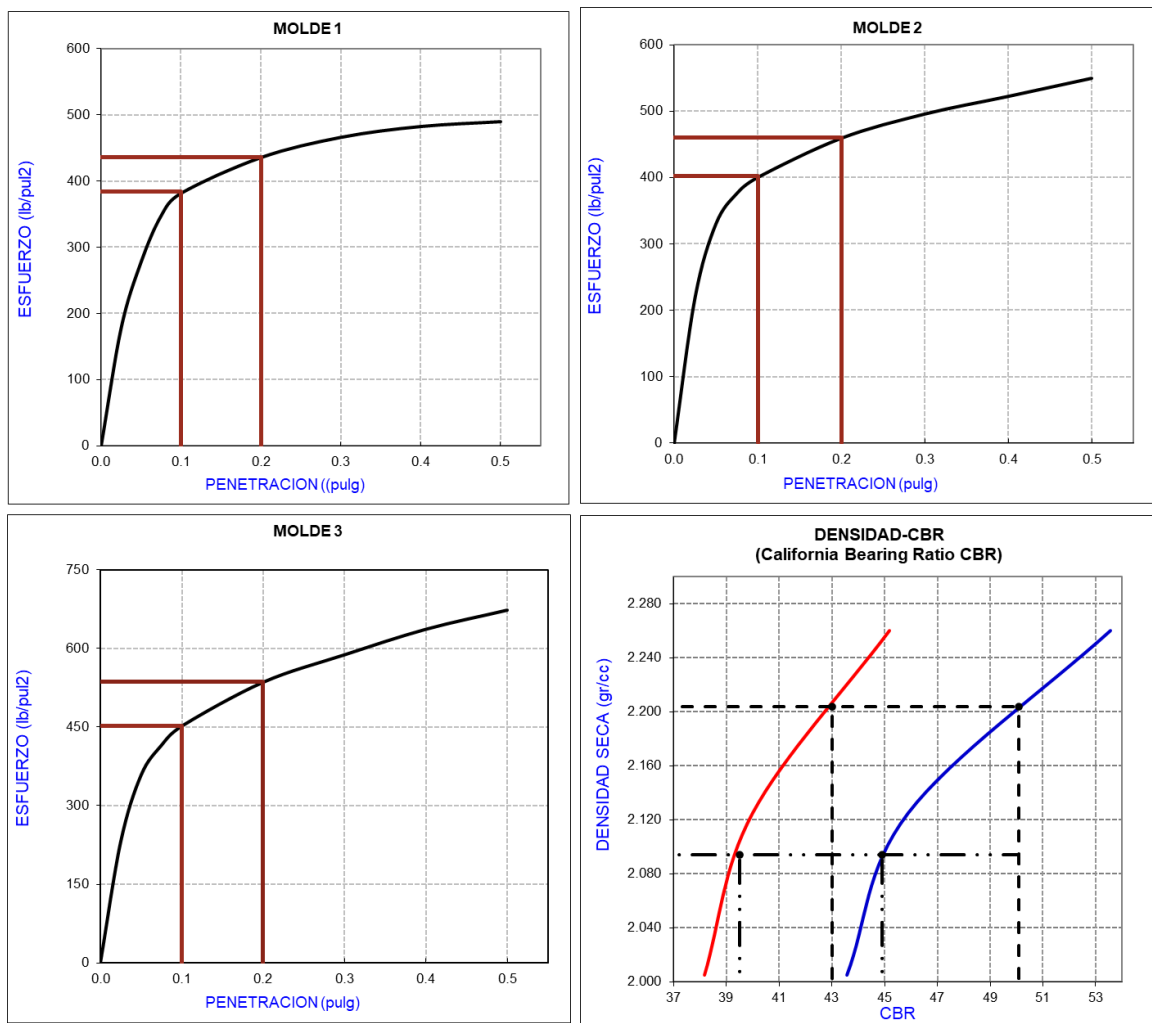


De la figura anterior podemos decir que la resistencia mecánica del afirmado mejora y se evidencia en el trazado de la curva Esfuerzo vs Deformación siendo que, la resistencia mecánica aumenta según la variación de esfuerzos aplicada y la incorporación de emulsión asfáltica de rotura lenta al 4% (CRS-2H) esto dependiendo de la elaboración del espécimen

debido al número de golpes aplicado, denotado así en el trazado de las curvas de CBR y Densidad al 01” y 0.2” de penetración

Figura N°20

Curvas Esfuerzo vs. Deformación y Curva Densidad Seca vs. CBR – Mat. Afirmado + 4% CQS-1H.



De la figura anterior podemos decir que la resistencia mecánica del afirmado mejora y se evidencia en el trazado de la curva Esfuerzo vs Deformación siendo que, la resistencia mecánica aumenta según la variación de esfuerzos aplicada y la incorporación de emulsión asfáltica de rotura lenta al 4% (CQS-1H) esto dependiendo de la elaboración del espécimen

debido al número de golpes aplicado, denotado así en el trazado de las curvas de CBR y Densidad al 01” y 0.2” de penetración.

Los resultados obtenidos fueron contrastados con las especificaciones del Manual de Carreteras 2013 en la sección 301.E.02 Suelos, con lo que se verifica la confiabilidad y validez de la muestra ensayada y utilizada para la presente investigación.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Limitaciones

Las limitaciones principales que se presentaron en el desarrollo de la presente investigación están relacionadas en la adquisición del material emulsionante, esto debido a que su elaboración obedece a un diseño previo y que no se distribuye de forma comercial en pocas cantidades; por lo general son elaboradas bajo pedido en proyectos viales, lo que dificultó su acceso y derivó en un retraso en la elaboración de ensayos de Proctor modificado y CBR.

Por otro lado, la información en cuanto al contraste en el uso de emulsiones de rotura rápida y controlada con material de afirmado, es escasa puesto que, su uso en general va más enfocado en la aplicación de pavimentos asfálticos o Slurry seal y no en base, sub base o afirmados.

Una limitante también considerada es el porcentaje de residuo asfáltico de cada una de las emulsiones, esto debido a que no se puede controlar al ser una característica de fábrica y diseño de la emulsión. Este dato podría mejorar o empeorar el comportamiento de la emulsión en la aplicación al afirmado; por lo que se plantea para una investigación posterior el diseño de emulsión asfáltica de rotura rápida, lenta o controlada con porcentajes de residuo asfáltico en mayor o menor cantidad, buscando su mejor eficiencia.

Discusión

Posterior a la determinación de resultados de laboratorio, se analizó y se comparó la resistencia mecánica del material patrón, y también, del material con incorporación de emulsiones, en este caso, la emulsión de rotura lenta (CSS-1H), rotura rápida (CRS-2H) y rotura controlada (CQS-1H), todas al 4% incorporado.

En la tabla N°21 podemos observar que las propiedades físicas del material de afirmado de la cantera “el Guitarrero” concuerdan con las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras

(2013). Es así que la granulometría no contiene más del 10% de material pasante por el tamiz N°200, además que el índice de plasticidad del material fue menor al 9% solicitado en el Manual y que el desgaste por abrasión fue menor al 50%; con lo que el material utilizado para los ensayos fue el óptimo y adquieren solides en su confiabilidad.

En referencia a la tabla N°26 se observa que las densidades máximas de los materiales con la incorporación de emulsión asfáltica varían, esto repercute en consideración en cuanto a los resultados de CBR mostrados en la tabla N°27, debido a que reduce su asentamiento y su cambio en volumen, esto último conlleva la variación en su resistencia, posiblemente estos cambios tienen que ver con las propiedades químicas que presenten las emulsiones asfálticas.

Resistencia Mecánica

En cuanto a la incorporación de 4% de emulsión de rotura lenta (CSS-1H), 4% de emulsión de rotura rápida (CRS-1H) y 4% rotura controlada (CQS-1H) se realizó las comparaciones posteriores y se pudo obtener que, es la emulsión de rotura lenta (CSS-1H) la que le otorga mayor resistencia al afirmado dando como resultado una diferencia de 11% más que en la incorporación de emulsión de rotura rápida y controlada. Resultados que, en contraste con la tesis realizada por Mayra Ugaz Garay, que lleva por título “Influencia de la Incorporación de Tres Niveles (4%, 5% y 6%) de Emulsión Asfáltica en la Resistencia Mecánica de un Material de Afirmado”, tienen una semejanza en cuanto al incremento de resistencia en cuanto a la incorporación del aditivo. Además, coincide en el porcentaje de inclusión siendo el más adecuado y óptimo el 4%. Es así que, en la tesis mencionada, la incorporación de emulsión asfáltica al 4% incrementa la máxima densidad seca desde 2.274 gr/cm³ al 2.296 gr/cm³, con un óptimo contenido de humedad del 5.79%.

En la tesis presente se observa que, la incorporación del 4% de emulsión de rotura lenta (CSS-1H) presenta una reducción, en cuanto a la máxima densidad seca, de 2.224gr/cm³ al 2.214 gr/cm³; mientras que, en la incorporación de emulsión de rotura rápida (CRS-1H) y rotura controlada (CQS-1H), presentan un cambio al 2.244 gr/cm³ y 2.204 gr/cm³ respectivamente.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos en cuanto a las máximas densidad pueden estar implicados por otras variantes propias de la misma emulsión asfáltica como lo pueden ser el tiempo de rotura, residuo de destilación, ductilidad o solubilidad del material.

California Bearing Ratio (CBR)

En la investigación realizada por Yeleny Surco Bocanegra que lleva por nombre “Estabilización de Suelos con Emulsión Asfáltica y Tereftalato de Polietileno con Fines en Carretera no Pavimentada”, se concluye que, en la incorporación de emulsión asfáltica en proporción del 4%, aumenta el CBR del material en estudio en un 17.4%, demostrando así que la incorporación de emulsión asfáltica mejora la resistencia mecánica del suelo.

Por otro lado, en la tesis elaborada por Jaime Rojas Rosales, que lleva por nombre “Aplicación de Emulsión Asfáltica en la Estabilización de la Sub Rasante de la Carretera Afirmada de Tercera Clase, Emp. PE 18 Quilca – Cochabamba” en donde se obtuvo una mejora en CBR, aumentando en 5.2% al 2%, 5.9% al 4% y 7.2% al 6% el CBR base, demostrando así que, la incorporación de emulsión asfáltica mejora las características físicas y mecánicas del suelo en estudio.

En la presente, contrastando con las investigaciones anteriores también se obtuvo que la incorporación de emulsión asfáltica en un material de afirmado, mejora su resistencia mecánica, dependiendo del tipo de emulsión. En la presente investigación el valor de CBR al 0.1” encontrado para la muestra patrón fue de 45%, mientras que con la adición de emulsiones

al 4% de rotura lenta (CSS-1H) la mejoró hasta el 63%; mientras que, en la incorporación de emulsión rotura rápida (CRS-1H) y rotura controlada (CQS-1H) disminuyó ligeramente hasta 44.1% y 43%; mientras que los resultados para un CBR al 0.2” mostrados en la tabla N°27 confirman un aumento de resistencia. Esta situación está sujeta a las características de la emulsión de rotura lenta, rápida y controlada, una de las causas vendría siendo la viscosidad, ductilidad o solubilidad del material, algo que posiblemente cambie las características de la mezcla.

Implicaciones:

Es necesario mencionar que entre las principales canteras de Cajamarca el material de afirmado empleado para afirmado, base, sub base o terraplenes cuenta con baja resistencia, en comparación a otros suelos encontrados en otras zonas del país, esto debido a su contenido de arcillas. Por lo que, dependiendo de las condiciones climáticas y de ubicación la incorporación de emulsiones asfálticas para su estabilización viene siendo una alternativa viable; por ello la aplicación de este producto derivado del petróleo deberá estar en 4% o por encima, con lo que mejoraremos la capacidad portante de la estructura, pero aún seguirá sujeto a condiciones de mantenimiento por erosión o intemperismo, una situación común en toda la región. Por ese motivo, deben evaluarse otros métodos de evaluación para reunir más información con respecto al mejoramiento y/o mantenimiento de una vía o camino sujeto a condiciones externas que puedan afectar su durabilidad. Por otro lado, las características del material emulsificante de rotura rápida o controlada se ajustaron al manual de carreteras, por lo que su evaluación promete un acercamiento de la realidad; sin embargo, se necesita más estudios en referencia.

Conclusiones

1. En conclusión, la hipótesis planteada en la presente, se cumple de manera integral ya que, la incorporación de emulsión de rotura lenta (CSS-1H) mejora la resistencia

mecánica del material de afirmado en más del 7% en relación a la emulsión de rotura rápida (CRS-2H) y de rotura controlada (CQS-1H).

2. En cuanto al material utilizado para la investigación (“El Guitarrero), cumple con los requisitos mínimos para su empleabilidad con emulsiones; así mismo este presenta un límite líquido de 14.76%, desgaste a la abrasión de 48.52% y CBR a 1” de 45%, datos que se contrastan con las características de material de afirma del Manual de carreteras sección 301.E.02. Suelos.
3. La máxima densidad seca determinada aumenta al incorporar 4% de emulsiones; siendo estas de 2.214, 2.244 y 2.204 referente a cada tipo de emulsión antes mencionadas, otorgando así al material ventajas en la compactación y mayor transmisión de cargas.
4. La incorporación de 4% de emulsión de rotura lenta (CSS-1H), rápida (CRS-2H) y controlada (CQS-1H), influye directamente en los resultados de CBR del afirmado, siendo estos 64%, 44.1% y 43% para una penetración de 0.1”; por otro lado, la muestra patrón denota un CBR del 45%. Lo que la mejora, pero está sujeta a variaciones según las características de las emulsiones como lo son: tiempo de rotura, residuo de destilación, ductilidad o solubilidad del material.
5. La incorporación de 4% de emulsión de rotura lenta (CSS-1H), rápida (CRS-2H) y controlada (CQS-1H), influye directamente en los resultados de CBR del afirmado, siendo estos 82%, 62.5% y 50.1% para una penetración de 0.2”; por otro lado, la muestra patrón denota un CBR del 53.8%. Lo que la mejora, pero está sujeta a variaciones según las características de las emulsiones como lo son: tiempo de rotura, residuo de destilación, ductilidad o solubilidad del material.

6. La aplicación de emulsión de rotura lenta es la más eficiente para su uso en carreteras de afirmado o trochas carrozables, proporcionando mayores resistencias en su estructura además de ventajas en su mantenimiento y durabilidad.

REFERENCIAS

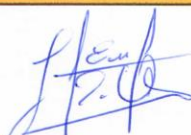

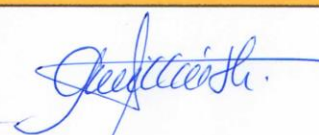
- Azanza, Agustín (2020). “Caracterización Dinámica de Estabilización Suelo-Arena-Emulsión” Brasil 2022.
- Bracho, C. L. (2005). Emulsiones Asfálticas. Mérida: Universidad de los Andes.
- Chávarro Acuña, W., & Molina Pinzón, C. (2015). Evaluación de Alternativas de Pavimentación para Vías de Bajos Volúmenes de Tránsito. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Dantas, Silvano Adonias, Pereira, Carlos Gutiérrez Farias and Abreu, Amanda Aragão (2020). Estabilización de suelos arenosos con alto contenido de emulsión asfáltica. REM - Revista Internacional de Ingeniería.
- Duque Escobar, Gonzalo (2016). Geomecánica para Ingenieros – Universidad Nacional de Colombia.
- Fernández Gálvez, Hernán Wilbert. (2017). “Efecto del Aditivo Terrazyme en la Estabilización de Suelos Arcillosos de Subrasantes en la Zona de Expansión de la Ciudad de Cajamarca”.
- Ferré Franquet, P. (2018). Las Emulsiones de Betún, su Química y su Física. Madrid: Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas. Madrid – España.
- 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.
- Guevara Castillo, J & Salazar Paredes, L. (2021). “Comparación Técnica y Económica de Base Granular Estabilizada con Cemento Portland Tipo I y Emulsión Asfáltica para el Camino de Bajo Volumen de Tránsito de la Ruta LI-113, Distrito de Charat, Usquil, Huaranchal, Otuzco, La Libertad”.

- Maharaj, R., & Maharaj, C. (2014). Physical properties of Low Density Polyethylene, Polyvinylchloride and Used Engine Oil Modified Asphalt. Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, Vol. 31, 16, California-EE.UU.
- Mendoza, H. M. (2021). Caracterización de los tipos de estabilización de suelos utilizados para el mejoramiento de las propiedades físicas en subrasantes, Cajamarca 2020.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción”. Lima, Perú: MTC.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2015). “Documento Técnico Soluciones Básicas En Carreteras No Pavimentadas”. Lima, Perú: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). “Manual de Ensayo de Materiales”. Lima, Perú: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima: Editora Perú.
- Mukhtar Abukhattala & Mamadou Fall (2020). Geotechnical characterization of plastic waste materials in pavement subgrade applications, Transportation Geotechnics, Canadá.
- Nesterenko, D. (2018). Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú (Tesis de Máster en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.
- Ovalle Cárdenas, Eladio F. 2014. Tesis: estabilización química de los bordes de un terraplén erosionados por escorrentías. Valdivia. Chile. Universidad Austral de Chile.

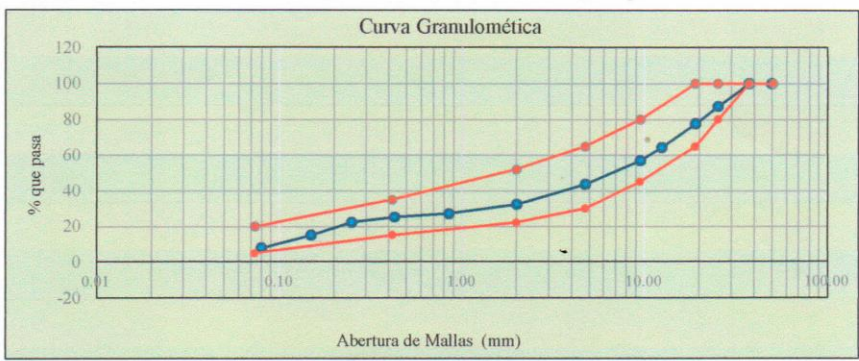

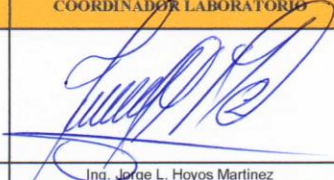
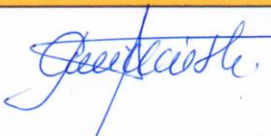
- Quiroz Vargas, Washington (2017). Comparación entre la Estabilización de Suelos con Emulsión Asfáltica, Y la Estabilización de Suelos con Asfalto Diesel para Determinar cuál Estabilización Proporciona Mayor Densidad Aparente y Relación de Soporte CBR.
- Rojas, J. R. (2020). Propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida con la adición de emulsión asfáltica, Cajamarca 2018 (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/25573>
- Rojas Rosales, Jaime (2017). Aplicación de la Emulsión Asfáltica en la Estabilización de la sub rasante de la Carretera Afirmada de Tercera Clase, Emp PE 18 Quilca – Cochamarca, año 2017.
- Sánchez, B. & Arquímedes, J. (2015). Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio, cloruro de calcio y cemento en la región de Lambayeque. (tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán. Pimentel – Perú.
- Sistema Nacional de Carreteras. 2018, Infraestructura Vial: Gobiernos Estancados. Lima-Perú.
- Surco Bocanegra, Yeleny (2022). “Estabilización de Suelos con Emulsión Asfáltica y Tereftalato de Polietileno con Fines en Carretera no Pavimentada”.
- Ugaz Garay, Mayra (2017). Influencia en la Incorporación de Tres Niveles (4%,5% y 6%) de Emulsión Asfáltica en la Resistencia Mecánica de un Material para Afirmado.
- Urcia Díaz, P. 2013. Tesis: Análisis de mezclas de materiales de la cantera de Pinos y Tajo La Quinoa para su uso en las vías de Minera Yanacocha. Cajamarca. Perú. EAPIC-UNC.

Anexos

ANEXO N°1: ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
PROTOCOLO					
ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD	CANTERA	"El Guitarrero"		
NORMA:	NTP 339.127	MATERIAL	Afirmado		
TESIS:	Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023.				
FECHAS DEL ENSAYO:	09/08/2023	INVESTIGADOR:	Jerson Eduardo Palomino Quiroz		
	10/08/2023	REVISADO POR:	Ing. Jorge L. Hoyos Martínez		
<u>Temperatura de Secado</u> 110 °C		<u>Método Horno</u> 110 ± 5 °C			
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	-	CH-01	CH-02	CH-03
B	Peso del Recipiente	gr	70.89	69.70	67.02
C	Recipiente + Material Natural	gr	381.29	435.10	512.32
D	Recipiente + Material Seco	gr	373.80	424.40	501.00
E	Peso del material húmedo	gr	310.40	365.40	445.30
F	Peso del material Seco (Ws) = D - B	gr	302.91	354.70	433.98
W%	Porcentaje de humedad (E - F / F) * 100	%	2.47	3.02	2.61
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	2.70		
$(W\%) = \frac{W_{mh} - W_s}{W_s} * 100$					
OBSERVACIONES:					
RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR LABORATORIO		ASESOR	
					
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz		Ing. Jorge L. Hoyos Martínez		Ing. Tulio E. Guillén Sheen	

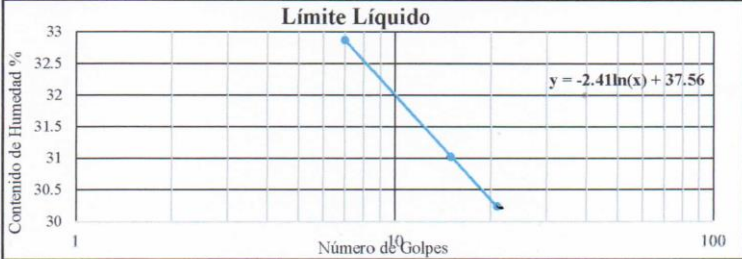
ANEXO N°2: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
PROTOCOLO					
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			CANTERA:	"El Guitarrero"
NORMA:	MTC E 107 / ASTM D421			MATERIAL:	Afirmado
TESIS:	Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023.				
FECHAS DEL ENSAYO:	09/08/2023	INVESTIGADOR:	Jerson Eduardo Palomino Quiroz		
	10/08/2023	REVISADO POR:	Ing. Jorge L. Hoyos Martinez		
Peso de muestra seca (Ws):	11020	gr	Peso de Tara:	232	gr
Peso finos seca (Wf):	500	gr	Fracción de Finos:	0.096	gr
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
1	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.40	1386.80	12.58	12.58	87.42
3/4	19.00	1074.20	9.75	22.33	77.67
1/2	12.50	1450.80	13.17	35.50	64.50
3/8	9.50	823.80	7.48	42.98	57.02
N4	4.75	1473.20	13.37	56.35	43.65
N°10	2.00	130.20	11.37	67.72	32.28
N°20	0.85	59.60	5.20	72.92	27.08
N°40	0.43	20.90	1.82	74.75	25.25
N°60	0.25	34.40	3.00	77.75	22.25
N°100	0.15	82.60	7.21	84.96	15.04
N°200	0.08	80.50	7.03	91.99	8.01
Cazoleta		91.80	8.02	100.0	0.0
Total					
 <p>Curva Granulométrica</p>					
C. AASHTO:	A-1a	S.U.C.S:	GW-GM		
OBSERVACIONES:					
RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR LABORATORIO		ASESOR DE TESIS	
					
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz		Ing. Jorge L. Hoyos Martinez		Ing. Tullio E. Guillén Sheen	

ANEXO N°3: ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
PROTOCOLO					
ENSAYO:	LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO			CANTERA	"El Guitarrero"
NORMA:	NTP E339.129 / NTP 339.134			MATERIAL	Afirmado
TESIS:	Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023.				
FECHA DEL ENSAYO:	26/07/2023	INVESTIGADOR:	Jerson Eduardo Palomino Quiroz		
		REVISADO POR:	Ing. Jorge L. Hoyos Martínez		
Peso de muestra seca (Ws):	500 gr				
DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
Identificación	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Código del Recipiente	Nº	T-1	T-2	T-3
B	Suelo húmedo + Recipiente	gr	35.70	36.81	37.07
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	33.30	34.25	34.50
D	Peso del Recipiente	gr	26.00	26.00	26.00
E	Peso del Agua	gr	2.40	2.56	2.57
F	Peso Suelo Seco	gr	7.30	8.25	8.50
G	Número de Golpes	N	7.00	15.00	21.00
H	Contenido de Humedad %	%	32.88	31.03	30.24
DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
Identificación	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Suelo húmedo + Recipiente	gr			
B	Suelo Seco + Recipiente	gr			
C	Peso del Recipiente	gr			
D	Peso del Agua	gr			
E	Peso Suelo Seco	gr			
F	Contenido de Humedad %	gr			
G	Promedio de Límite Plástico	%			N.P.

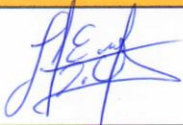
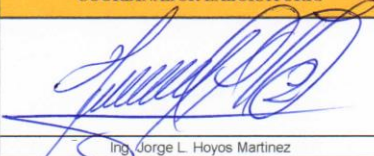
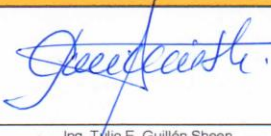
Límite Líquido



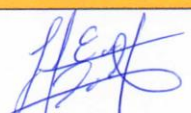
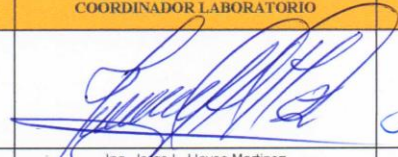

$y = -2.41\ln(x) + 37.56$

L.L.
14.76 %

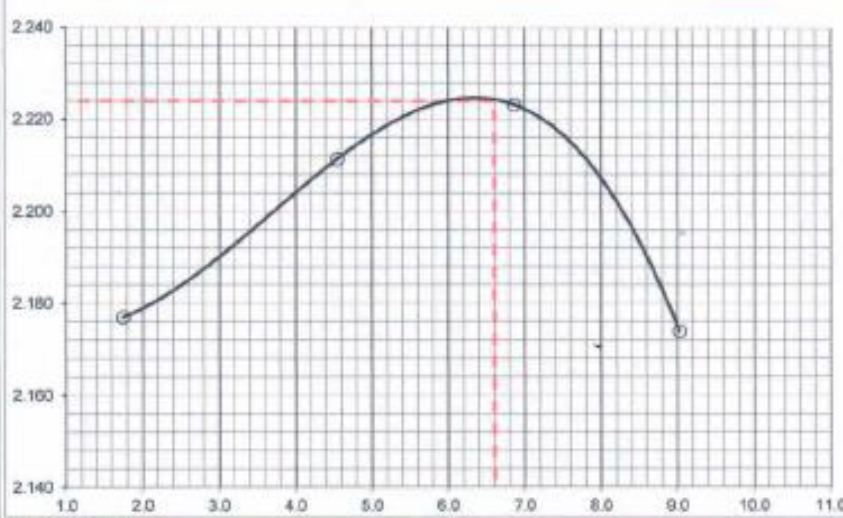


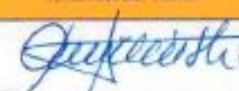
OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR LABORATORIO	ASESOR DE TESIS
		
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz	Ing. Jorge L. Hoyos Martínez	Ing. Julio E. Guillén Sheen



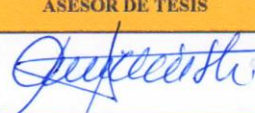
ANEXO N°4: ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ANGELES

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
PROTOCOLO					
ENSAYO:	ABRASIÓN LOS ANGELES			CANTERA:	"El Guitarrero"
NORMA:	NTP-400 019			MATERIAL:	Afirmado
TESIS:	Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023.				
FECHA DEL ENSAYO:	26/07/2023	INVESTIGADOR:	Jerson Eduardo Palomino Quiroz		
		REVISADO POR:	Ing. Jorge L. Hoyos Martinez		
Peso de muestra seca (Ws):		5003.6 gr			
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"	150 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	25000 ± 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"	1251.20			
1"	3/4"	1250.90			
3/4"	1/2"	1250.60			
1/2"	3/8"	1250.90			
3/8"	1/4"				
1/4"	N°4				
N°4	N°8				
TOTALES		5003.60			
Peso Retenido en el tamiz N°12			2576.00		
Coeficiente de desgaste a los ángeles			48.52%		
OBSERVACIONES:					
RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR LABORATORIO		ASESOR DE TESIS	
					
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz		Ing. Jorge L. Hoyos Martinez		Ing. Tulio E. Guillén Sheen	

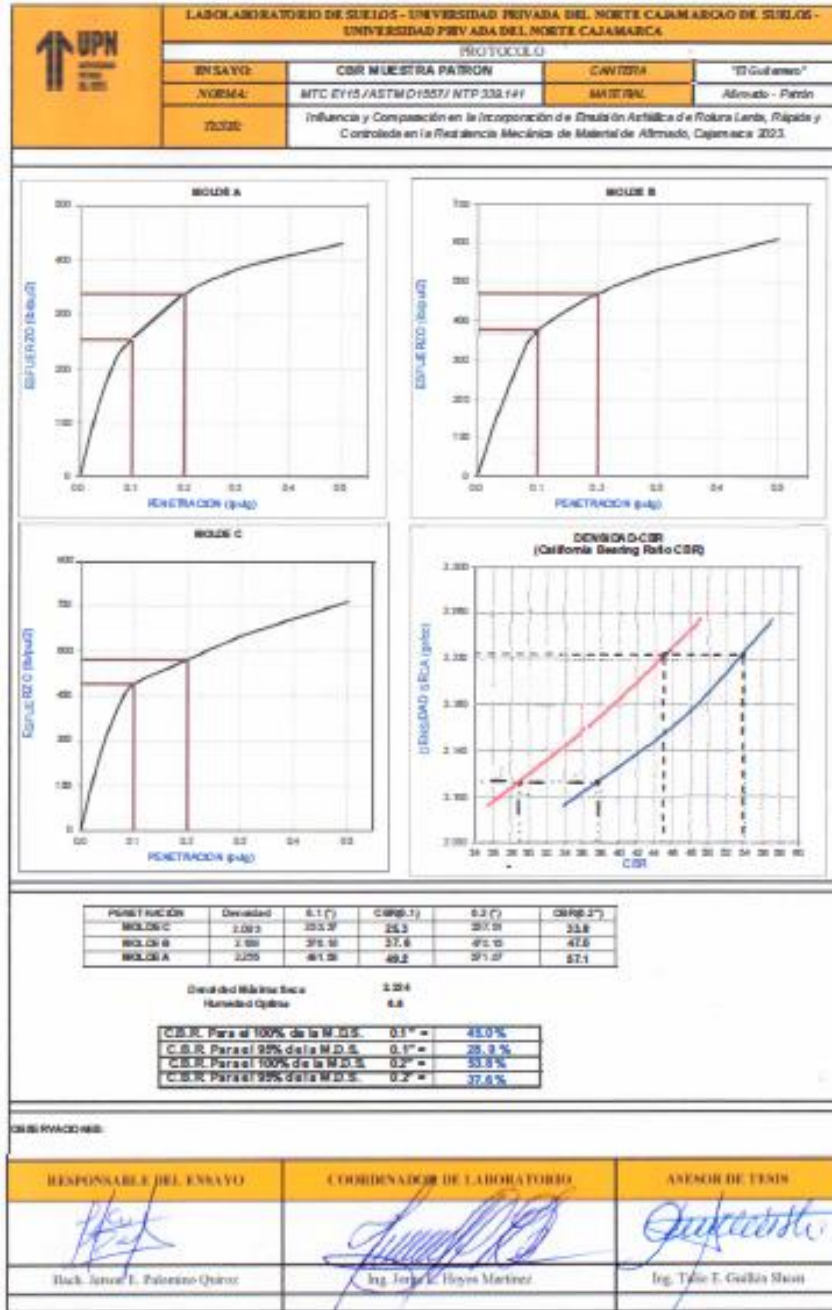
ANEXO N°5: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE MATERIAL DE AFIRMADO

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE - CAJAMARCA																			
PROTOCOLO																			
ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			CANTERA:		"El Guitarero"												
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.1			MATERIAL:		Afirmado - Patrón												
TESIS:		Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023																	
FECHAS DE ENSAYO:		15/08/2023		INVESTIGADOR:		Bach. Jerson Eduardo Palomino Quiroz													
		16/08/2023		REVISADO POR:		Ing. Jorge L. Hoyos Martínez													
DETERMINACIÓN		1		2		3		4											
Peso Molde + material húmedo		11080.0		11270.0		11400.0		11600.0											
Peso del molde (g)		6560.00		6560.00		6560.00		6560.00											
Peso de material húmedo (g)		4520.0		4710.0		4840.0		5039.0											
Volumen del molde (cm ³)		2037.31		2037.31		2037.31		2037.31											
Densidad húmeda (g/cm ³)		2.2190		2.312		2.376		2.376											
Recipiente:		M1	M2	M4	M3	M6	M5	M8	M7										
Tara + material húmedo (g)		219.9	253.6	232.2	231.3	240.2	238.7	222.0	227.7										
Tara + material seco (g)		216.8	230.1	223.2	222.5	226.8	225.1	205.9	211.2										
Peso de agua (g)		3.3	3.5	9.0	8.8	13.6	13.6	16.1	16.6										
Peso de la tara (g)		27.7	27.0	27.1	27.5	27.0	27.6	28.0	27.2										
Peso de muestra seco (g)		188.3	203.1	196.1	195.0	199.6	197.5	177.9	184.0										
Contenido de agua (%)		1.75		4.5		6.9		9.0											
Densidad seca (g/cm ³)		2.177		2.211		2.223		2.174											
Tipo molde		4" x 6" diámetro		Volumen Molde		1" Secado		Peso molde											
Moldeo		A	B	X	C	3037.31	CC	60°C/110°C	6560.0 g										
Clasificación SUCS:		SC						ASTM 698/1557											
 <table border="1"> <caption>Graph Data Points (Approximate)</caption> <thead> <tr> <th>Moisture (%)</th> <th>Density (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.75</td><td>2.177</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>2.211</td></tr> <tr><td>6.6</td><td>2.224</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>2.174</td></tr> </tbody> </table>										Moisture (%)	Density (g/cm ³)	1.75	2.177	4.5	2.211	6.6	2.224	9.0	2.174
Moisture (%)	Density (g/cm ³)																		
1.75	2.177																		
4.5	2.211																		
6.6	2.224																		
9.0	2.174																		
OBSERVACIONES:																			
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO			ASESOR DE TESIS													
																			
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz			Ing. Jorge L. Hoyos Martínez			Ing. Ylino E. Guillén Sheen													

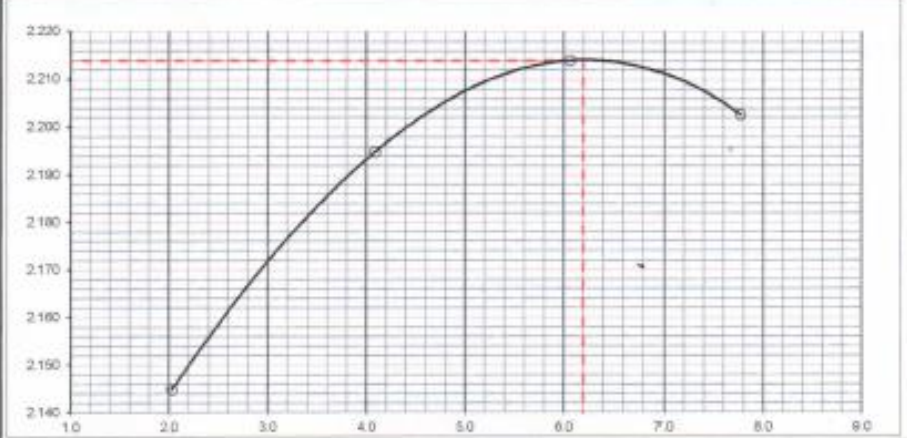



ANEXO N°6: ENSAYO 1 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE - CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
ENSAYO:		CBR MUESTRA PATRON				CANTERA		"El Guitarrero"		
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141				MATERIAL		Afirmado - Patrón		
TESIS:		Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023.								
FECHAS DE ENSAYO:		15/08/2023		INVESTIGADOR:			Bach. Jerson Eduardo Palomino Quiroz			
		16/08/2023		REVISADO POR:			Ing. Jorge L. Hoyos Martinez			
COMPACTACION C B R										
MOLDE	A			B			C			
Altura Molde mm.	117			117			117			
N° Capas	5			5			5			
N°Golp x Capa	13			27			56			
Cond. Muestra	SIN SUMERGIR			SUMERGIDO			SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	
P. Hum. + Molde	12731			12881			12342		12490	
Peso Molde (gr)	8030			8030			7461		7461	
Peso Húmedo (gr)	4701			4851			4881		5029	
Vol. Molde (cc)	2116			2116			2116		2116	
Densidad H.(gr/cc)	2.222			2.29			2.307		2.38	
Número de Tara	A-1	A-2	A-4	A-5	A-3	A-6	A-7	A-9	A-8	
P. Húmedo + Tara	246.3	234.20	259.60	179.0	217.7	260.77	210.0	205.6	255.54	
Peso Seco + Tara	233.0	221.6	239.31	169.3	205.7	240.40	198.5	194.4	241.00	
Peso Agua (gr)	13.3	12.6	20.29	9.7	12.0	20.37	11.5	11.2	14.54	
Peso Tara (gr)	27.7	27.00	27.20	26.0	27.7	28.00	27.7	28.6	27.70	
P. Muestra Seca	205.3	194.6	212.11	143.3	178.0	212.40	170.8	165.8	213.30	
Cont. Humedad	6.5%	6.47%	9.57%	6.769%	6.742%	9.59%	6.73%	6.7%	6.82%	
Cont. Hum. Prom.	6.5%		9.6%	6.8%		9.59%	6.7%		6.82%	
DENSIDAD SECA	2.087		2.093	2.161		2.169	2.239		2.255	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE			NUMERO DE MOLDE			NUMERO DE MOLDE		
(Hs)	(Días)	LECTURA		HINCHAMIENTO	LECTURA		HINCHAMIENTO	LECTURA		HINCHAMIENTO
		DEFORM.	(mm)		(%)	DEFORM.		(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
72	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
96	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENSAYO CARGA - PENETRACION										
PENETRACION		MOLDE N° C			MOLDE N° B			MOLDE N° A		
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm2	lb/pul2		kg/cm2	lb/pul2		kg/cm2	lb/pul2
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	135.0	6.88	97.59	170.4	6.88	123.18	250.0	12.73	180.72
1.27	0.050	240.8	12.26	174.07	310.5	15.81	224.45	450.0	22.92	325.29
1.91	0.075	316.8	16.13	229.01	440.6	22.44	318.50	595.0	30.30	430.11
2.54	0.100	350.5	17.85	253.37	520.4	26.50	376.18	680.0	34.63	491.55
5.08	0.200	466.9	23.78	337.51	650.4	33.12	470.15	790.0	40.23	571.07
7.62	0.300	530.5	27.02	383.48	735.6	37.46	531.74	900.0	45.84	650.58
10.16	0.400	565.7	28.81	408.93	790.6	40.26	571.50	980.0	49.91	708.41
12.70	0.500	596.3	30.37	431.05	845.6	43.07	611.26	1060.0	53.99	766.24
OBSERVACIONES:										
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO				ASESOR DE TESIS			
										
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz			Ing. Jorge L. Hoyos Martinez				Ing. Tulio E. Guillén Sheen			

ANEXO N°7: ENSAYO 2 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO






ANEXO N°8: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CSS-1H

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE - CAJAMARCA													
PROTOCOLO													
ENSAYO:	COMPARACION PROCTOR MODIFICADO				CANTERA:	"El Guáñano"							
NORMA:	MTC # 115 / ASTM D1557 / NTP 339 1				MATERIAL:	Afirmado + 4% CSS-1H							
TEMAS:	Influencia y Comparación en la incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023.												
FECHAS DE ENSAYO:	15 de agosto de 2023	INVESTIGADOR:			Bach. Jerson Eduardo Palomino Quiroz								
	16 de agosto de 2023	REVISADO POR:			Ing. Jorge L. Noyes Martínez								
DETERMINACIÓN	1		2		3		4						
Peso Molde + material húmedo	10996.0		11182.0		11322.0		11374.0						
Peso del molde (g)	6536.00		6536.00		6536.00		6536.00						
Peso de material húmedo (g)	4458.0		4646.0		4784.0		4838.0						
Volumen del molde (cm ³)	2037.31		2037.31		2037.31		2037.31						
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.186		2.284		2.348		2.374						
Recipiente	C1	C2	C4	C3	C6	C5	C7	C8					
Tara + material húmedo (g)	217.4	221.6	225.6	227.8	244.0	246.9	234.5	221.4					
Tara + material seco (g)	213.6	217.6	217.6	220.1	231.6	233.5	210.4	207.3					
Peso del agua (g)	3.8	3.8	7.9	7.7	12.4	12.4	14.1	14.1					
Peso de la tara (g)	27.0	27.0	28.0	28.0	28.2	28.2	26.9	27.5					
Peso de muestra seco (g)	186.6	180.6	189.9	192.1	203.4	205.3	183.5	179.8					
Contenido de agua (%)	2.0		4.1		6.1		7.8						
Densidad seca (g/cm ³)	2.145		2.195		2.214		2.203						
Tipo molde	Volumen Molde				T° Secado		Peso molde						
Metodo	A	B	<input checked="" type="checkbox"/> C	CC		60°C/110°C		6536.0 g					
Clasificación SUCT	236				ASTM				006/1557				
 <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <tr> <td>DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)</td> <td>2.214</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD ÓPTIMA %</td> <td>6.2</td> </tr> </table>										DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	2.214	HUMEDAD ÓPTIMA %	6.2
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	2.214												
HUMEDAD ÓPTIMA %	6.2												
OBSERVACIONES													
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO			ASESOR							
													
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz			Ing. Jorge L. Noyes Martínez			Ing. Tuto E. Guáñano Sheen							

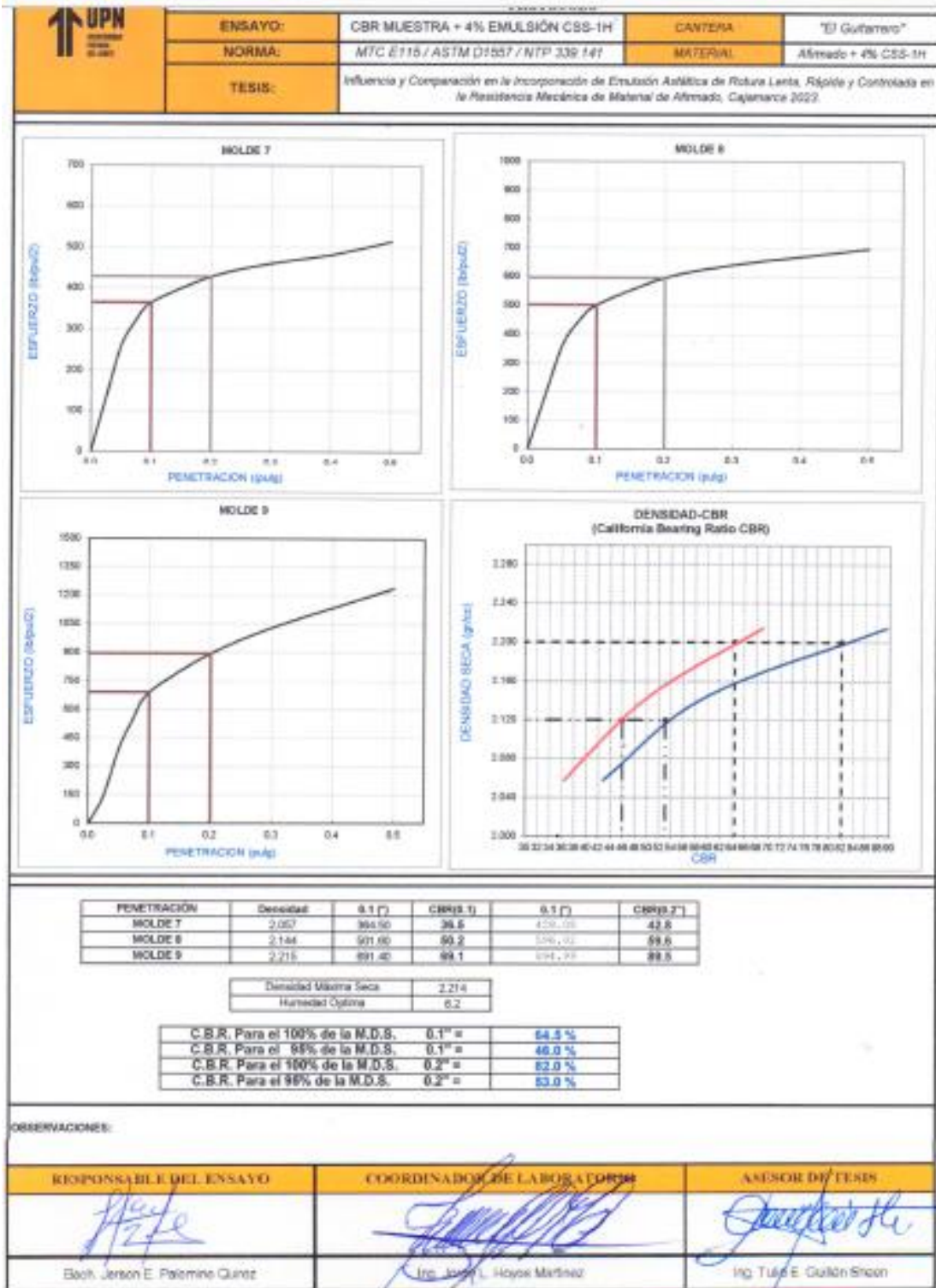
ANEXO N°9: ENSAYO 1 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CSS-

1H





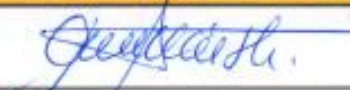
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA																			
PROTOCOLO																			
ENSAYO:		CBR MUESTRA + 4% EMULSIÓN CSS 1H			CANTERA		"El Guitarero"												
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141			MATERIAL		Afirmando + 4% CSS-1H												
TESIS:		Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmando, Cajamarca 2023.																	
FECHAS DE ENSAYO:		"15 de agosto de 2023"			INVESTIGADOR:						Bach. Jerson Eduardo Palomino Quiroz								
		"16 de agosto de 2023"			REVISADO POR:						Ing. Jorge L. Hoyos Martínez								
COMPACTACIÓN CBR																			
MOLDE		7			8			9											
Altura Molde mm.		117			117			117											
N° Capas		5			5			5											
N°Golo x Capa		13			27			56											
Cond. Muestra		ANTES DE EMPAPAR			ANTES DE EMPAPAR			ANTES DE EMPAPAR											
P. Hum. + Molde		12450			12630			12601			12682		13110		13210				
Peso Molde (gr)		7946			7946			7815			7815		8188		8188				
Peso Húmedo (gr)		4514			4684			4786			4867		4922		5022				
Vol. Molde (cc)		2125			2126			2124			2124		2126		2126				
Densidad H.(gr/cc)		2.123			2.20			2.253			2.29		2.315		2.36				
Número de Tara		Q1		Q2		Q3		Q4		Q5		Q6		Q7		Q8		Q9	
P. Húmedo + Tara		210.5		213.0		212.70		207.4		205.6		215.10		215.6		210.1		218.40	
Peso Seco + Tara		200.1		202.5		200.40		198.8		197.1		203.06		206.3		200.1		206.50	
Peso Agua (gr)		10.4		10.5		12.30		8.6		8.5		12.04		10.3		10.0		11.90	
Peso Tara (gr)		27.0		27.1		27.10		27.2		28.0		28.20		27.0		28.0		28.00	
P. Muestra Seca		173.1		175.4		173.30		171.6		169.1		174.86		178.3		172.1		178.50	
Cont. Hum. Prom.		0.0%		0.0%		7.10%		3.01%		0.02%		8.88%		0.8%		5.6%		5.81%	
DENSIDAD SECA		2.003		2.057		2.146		2.144		2.188		2.215		2.215		2.215		2.215	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO																			
TIEMPO ACUMULADO		LECTURA DEFORM.			HINCHAMIENTO			LECTURA DEFORM.			HINCHAMIENTO			LECTURA DEFORM.			HINCHAMIENTO		
(Hs)	(Días)	DEFORM.			HINCHAMIENTO			DEFORM.			HINCHAMIENTO			DEFORM.			HINCHAMIENTO		
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.102	0.102	0.09	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
48	2	0.102	0.102	0.09	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
72	3	0.102	0.102	0.09	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
96	4	0.102	0.102	0.09	0.009	0.009	0.01	0.010	0.010	0.01	0.010	0.010	0.01	0.010	0.010	0.01	0.010	0.010	0.01
ENSAYO CARGA - PENETRACION																			
PENETRACION		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 01											
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO										
0.00	0.000	0	kg/cm2	lb/pul2	0	kg/cm2	lb/pul2	0	kg/cm2	lb/pul2									
0.64	0.025	182.0	9.27	131.56	253.4	12.91	183.17	198.0	10.08	143.13									
1.27	0.050	359.7	18.32	260.02	500.8	25.51	362.02	544.2	27.72	393.30									
1.91	0.075	446.1	22.72	322.47	621.1	31.63	448.98	777.7	39.61	562.18									
2.54	0.100	504.3	25.66	364.54	693.9	35.34	501.63	956.4	48.71	691.35									
5.08	0.200	592.2	30.16	428.08	824.5	41.99	596.02	1238.1	63.06	894.99									
7.62	0.300	636.7	32.43	460.25	886.5	45.15	640.81	1425.8	72.82	1030.67									
10.16	0.400	665.8	33.91	481.29	927.0	47.21	670.10	1569.4	79.93	1134.47									
12.70	0.500	711.7	36.25	514.47	966.3	49.21	698.53	1711.7	87.18	1237.34									
OBSERVACIONES:																			
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO				ASESOR												
																			
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz			Ing. Jorge L. Hoyos Martínez				Ing. Yulio E. Guillén Sheen												

ANEXO N°10: ENSAYO 2 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CSS-1H

1H



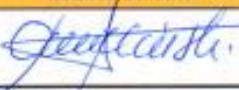


ANEXO N°11: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CRS-2H

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
	ENSAYO	COMPATACIÓN PROCTOR MODIFICADO				CANTERA	"El Guábaro"			
	NORMA	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141				MATERIAL	en EMULSIÓN CRS-2H			
	TESTE	Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023.								
FECHAS DE ENSAYO:		15 de agosto de 2023			INVESTIGADOR:		Jerson Eduardo Palomino Quiroz			
		18 de agosto de 2023			REVISADO POR		Ing. Jorge L. Hoyos Martínez			
DETERMINACIÓN		1		2		3		4		
Peso Molde + material húmedo		11080.0		11235.0		11362.0		11457.0		
Peso del molde (g)		6560.00		6560.00		6560.00		6560.00		
Peso de material húmedo (g)		4520.0		4675.0		4802.0		4897.0		
Volumen del molde (cm ³)		2037.31		2037.31		2037.31		2037.31		
Densidad húmeda (g/cm ³)		2.219		2.286		2.357		2.404		
Recipiente		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	
Tara + material húmedo (g)		237.7	220.4	295.0	245.0	233.9	249.9	254.6	243.2	
Tara + material seco (g)		232.8	215.8	244.8	238.5	223.0	223.0	238.2	238.2	
Peso del agua (g)		5.1	4.6	9.2	6.5	10.9	26.9	16.4	5.0	
Peso de la tara (g)		27.0	27.0	27.8	27.8	27.9	27.9	27.7	27.7	
Peso de muestra seco (g)		205.6	188.9	218.0	210.7	195.1	195.1	210.5	210.5	
Contenido de agua (%)		2.5	2.4	4.2	3.1	5.6	13.8	7.8	2.4	
Densidad seca (g/cm ³)		2.165		2.202		2.233		2.230		
Tipo molde		<input checked="" type="checkbox"/> 4"	<input type="checkbox"/> 6" diámetro	Volumen Molde		T° Secado		Peso molde		
Método		<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input checked="" type="checkbox"/> C	2037.31	CC	60°C/110°C	6560.0 g		
Clasificación SUCS-588									ASTM	699/1007
										
								DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)		
								2.244		
								HUMEDAD ÓPTIMA %		
								6.8		
OBSERVACIONES:										
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO			ASESOR				
										

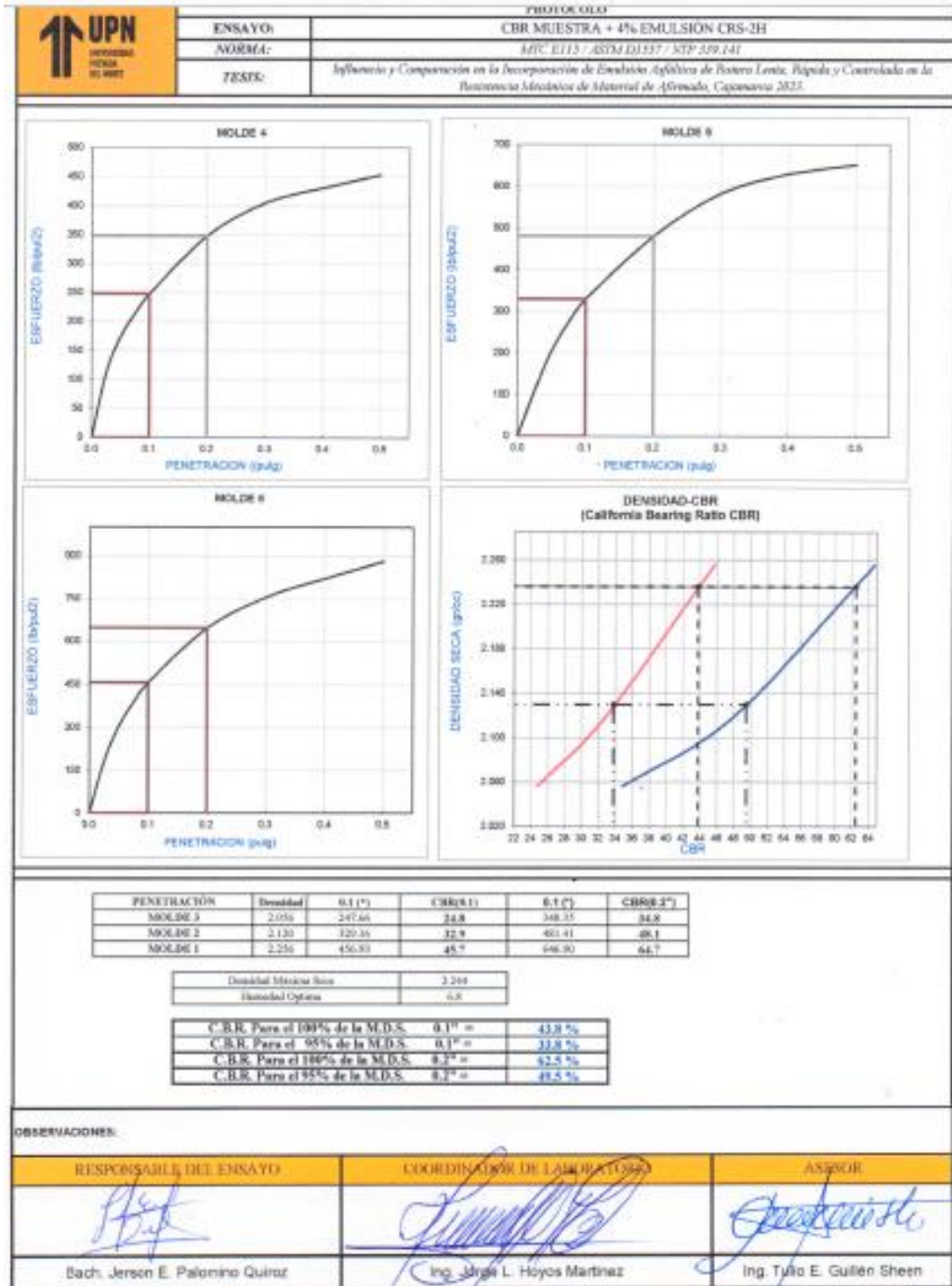
ANEXO N12: ENSAYO 1 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CRS-

2H

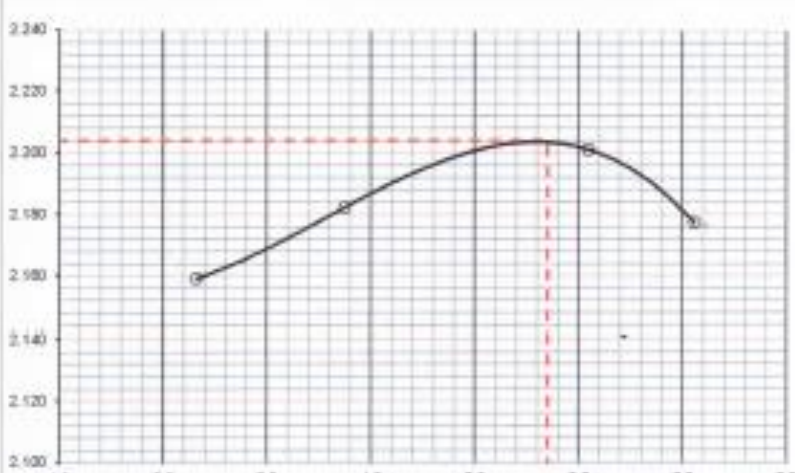



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA													
PROTOCOLO													
ENSAYO:		CBR MUESTRA + 4% EMULSIÓN CRS-1H			CANTERA		"El Guifamaro"						
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141			MATERIAL		4% EMULSIÓN CRS-1H						
TESIS:		Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023.											
FECHAS DE ENSAYO:		18 de agosto de 2023		INVESTIGADOR:			Bach. Jerson Eduardo Palomino Quiroz						
		19 de agosto de 2023		REVISADO POR:			Ing. Jorge L. Hoyos Martínez						
COMPACTACION CBR													
MOLDE	4			5			6						
Altura Molde mm.	117			117			117						
N° Capas	5			5			5						
N°Golp x Capa	15			27			56						
Cona. Muestra	ANTES DE EMPAQUAR		DESPUES		ANTES DE EMPAQUAR		DESPUES		ANTES DE EMPAQUAR				
P. Húmido + Molde	12865		12910		12803		12527		12614				
Peso Molde (gr)	8200		8200		7695		7695		7200				
Peso Húmido (gr)	4665		4710		4788		4832		5414				
Vol. Molde (cc)	2128		2128		2128		2128		2128				
Densidad H. (gr/cc)	2.192		2.21		2.253		2.27		2.541				
Número de Tapa	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9				
P. Húmido + Tapa	213.2	215.1	220.90	205.4	209.2	216.30	206.4	207.1	221.50				
Peso Seco + Tapa	205.6	203.5	207.20	195.4	198.9	203.56	194.9	195.6	198.77				
Peso Agua (gr)	11.6	11.6	13.70	10.0	10.3	12.74	11.5	11.5	22.73				
Peso Tapa (gr)	28.3	28.0	28.10	28.1	28.10	28.10	28.1	27.0	27.80				
P. Muestra Seca	133.3	135.5	139.10	167.3	170.9	175.46	168.8	168.6	170.97				
Cont. Humedad	6.7%	6.6%	7.65%	6.0%	6.0%	7.20%	6.9%	6.8%	13.20%				
Cont.Hum.Prom.	6.7%		7.65%		6.9%		7.36%		6.9%				
DENSIDAD SECA	2.055		2.086		2.126		2.126		2.380				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO													
TIEMPO ACUMULADO (Hs)	(Días)	NUMERO DE MOLDE			NUMERO DE MOLDE			NUMERO DE MOLDE					
		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO (mm)	(%)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO (mm)	(%)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO (mm)	(%)			
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00			
24	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00			
48	2	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00			
72	3	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00			
96	4	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00			
ENSAYO CARGA - PENETRACION													
PENETRACION		MOLDE N° 03				MOLDE N° 02				MOLDE N° 01			
(mm)	(psig)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO				
			kg/cm2	lb/psf2		kg/cm2	lb/psf2		kg/cm2	lb/psf2			
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00			
0.64	0.025	155.0	7.89	112.04	153.1	7.40	110.66	252.7	12.87	182.67			
1.27	0.050	248.8	12.26	174.07	244.8	14.50	205.84	424.2	21.60	306.64			
1.91	0.075	296.8	15.12	214.55	279.1	18.31	274.05	537.7	27.38	388.69			
2.54	0.100	342.6	17.45	247.66	455.4	22.19	329.16	632.1	32.19	456.93			
3.18	0.200	481.9	24.54	348.35	666.0	33.92	481.41	894.9	45.58	646.80			
3.82	0.300	580.5	28.55	405.17	806.7	41.09	583.16	1045.0	53.22	755.40			
4.46	0.400	595.7	30.34	430.61	870.5	44.34	620.27	1136.2	57.87	821.32			
5.10	0.500	626.3	31.90	452.73	902.4	45.96	652.29	1220.0	62.13	881.90			
OBSERVACIONES:													
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO				ASESOR DE TESIS						
													
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz			Ing. Jorge L. Hoyos Martínez				Ing. Julio E. Guillén Shover						

ANEXO N°13: ENSAYO 2 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CRS-

2H






ANEXO N°14: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CQS-1H

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA											
PROTOCOLO											
ENSAYO:	COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO			CAJETERA:	"El Guallero"						
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 332.141			MATERIAL:	Afirmado + 4% CQS-1H						
TEMA:	Influencia y Comparación en la incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023.										
FECHAS DEL ENSAYO:		15 de agosto de 2023	INVESTIGADOR:	Ing. Jerson Eduardo Palomino							
		16 de agosto de 2023	REVISADO POR:	Ing. Jorge L. Hoyos Martínez							
DETERMINACIÓN		1	2	3	4						
Peso Molde + materia húmeda		11200.0	11200.0	11295.5	11200.0						
Peso del molde (g)		6538.00	6538.00	6538.00	6538.00						
Peso de materia húmeda (g)		4490.0	4612.0	4757.0	4757.0						
Volumen del molde (cm ³)		2037.31	2037.31	2037.31	2037.31						
Densidad húmeda (g/cm ³)		2.206	2.264	2.335	2.332						
Precipiente		27	27	27	28	27	28				
Tara + materia húmeda (g)		230.3	234.3	234.0	238.4	238.7	233.1				
Tara + materia seca (g)		225.4	234.7	228.5	228.9	217.7	218.5				
Peso del agua (g)		4.8	4.8	7.3	7.4	11.6	13.7				
Peso de la tara (g)		28.0	28.3	28.1	28.7	27.5	27.5				
Peso de muestra seco (g)		197.4	206.4	199.4	199.9	199.6	191.7				
Contenido de agua (%)		2.3	2.3	3.7	3.7	5.8	7.1				
Densidad seca (g/cm ³)		2.156	2.183	2.221	2.177						
Tipo molde		4" x 6" diámetro		Volumen Molde		7" Secado					
Método		A	B	C	2037.31	CC	60°C/70°C				
Clasificación SD							ASTM 988/1557				
											
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)</td> <td>2.304</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD ÓPTIMA %</td> <td>5.7</td> </tr> </table>								DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	2.304	HUMEDAD ÓPTIMA %	5.7
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	2.304										
HUMEDAD ÓPTIMA %	5.7										
OBSERVACIONES											
RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO			ANOTAR						
											
Ing. Jerson E. Palomino Quiroz		Ing. Jorge L. Hoyos Martínez			Ing. Tania E. Guillén Shoon						

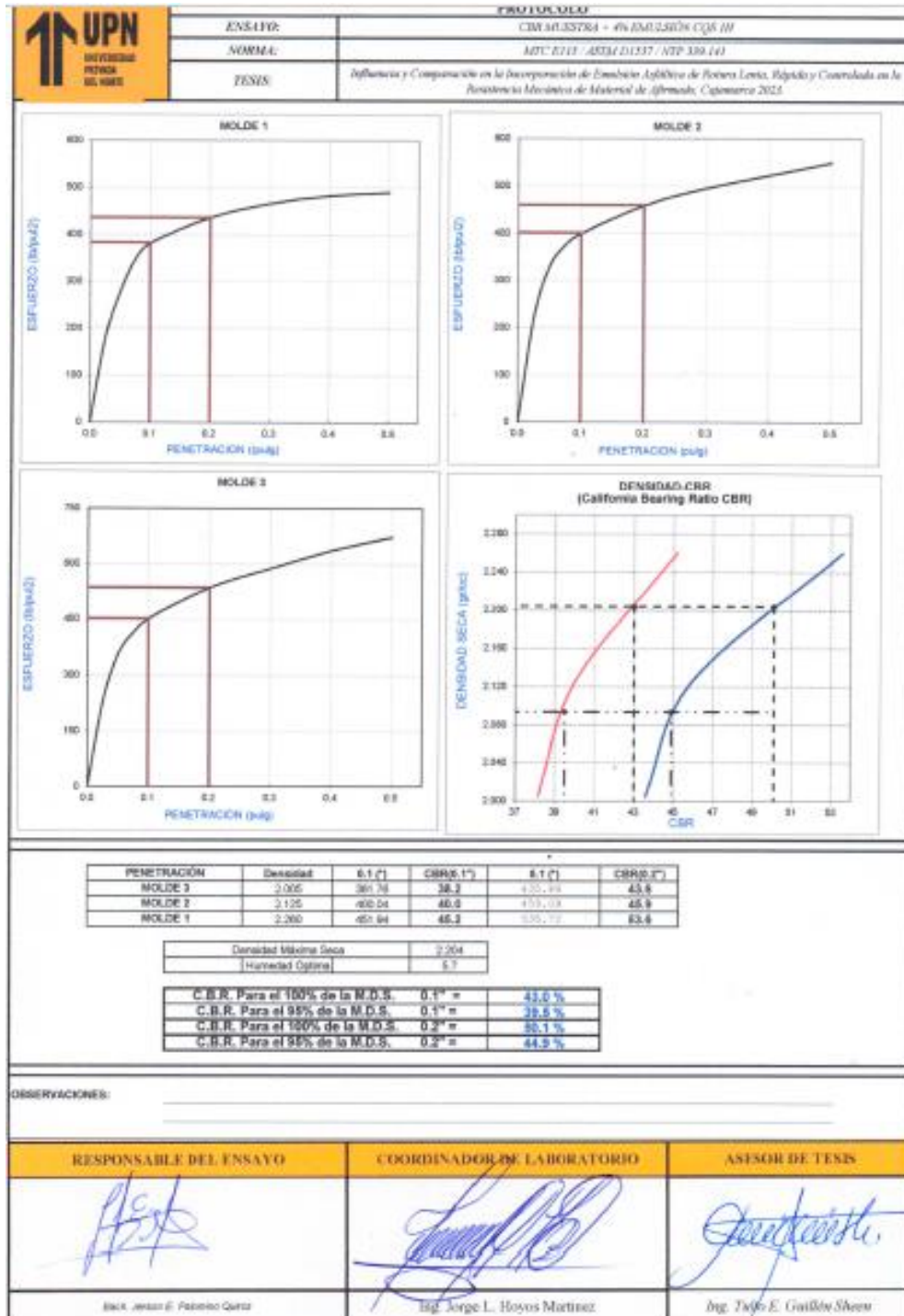
ANEXO N15: ENSAYO 1 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CQS-1H

1H

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA													
PROTOCOLO													
ENSAYO:		CBR MUESTRA + 4% EMULSIÓN CQS-1H			CANTERA		"El Guitareno"						
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339 141			MATERIAL		Afirmado + 4% CQS-1H						
TESIS:		Influencia y Comparación en la Incorporación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica de Material de Afirmado, Cajamarca 2023											
FECHAS DE ENSAYO:		15 DE AGOSTO DEL 2023		INVESTIGADOR:		Bach. Jerson Eduardo Palomino Quiroz							
		18 DE AGOSTO DEL 2023		REVISADO POR:		Ing. Jorge L. Hoyos Martínez							
COMPACTACION C B R													
MOLDE		1			2			3					
Altura Molde (mm)		117			117			117					
N° Capas		5			5			5					
N° Golpes/Capa		27			27			27					
Cond. Muestra		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO		SIN SUMERGIR		SUMERGIR		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	
P. Hum + Mode		12460		12030		12001		12080		12110		12179	
Peso Molde (gr)		7949		7945		7919		7915		3042		3043	
Peso Humedo (gr)		4514		4604		4780		4867		3068		5137	
Vol. Molde (cc)		2124		2124		2125		2125		2124		2124	
Densidad (g/cc)		2.125		2.21		2.252		2.28		2.286		2.42	
Número de Tapa		B1		B2		B3		B4		B5		B6	
P. Humedo + Tara		210.3		212.5		215.30		201.6		209.1		206.70	
Peso Seco + Tara		199.4		201.4		198.20		191.6		193.1		192.90	
Peso Agua (gr)		10.9		10.9		17.10		10.0		10.0		6.80	
Peso Tara (gr)		26.1		26.0		27.00		27.7		27.7		27.0	
P. Muestra Seca		171.3		173.4		171.20		182.9		185.1		184.70	
Cont. Humedad		6.4%		6.3%		9.90%		5.1%		5.06%		7.37%	
Cont. Hum. Proen.		8.3%		8.89%		9.89%		6.1%		6.1%		7.77%	
DENSIDAD SECA		1.999		2.006		2.125		2.128		2.293		2.280	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO													
TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE				NUMERO DE MOLDE				NUMERO DE MOLDE			
(Hrs)	(Dias)	LECTURA		HINCHAMIENTO		LECTURA		HINCHAMIENTO		LECTURA		HINCHAMIENTO	
		DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	1	0.102	0.102	0.09	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
48	2	0.102	0.102	0.09	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
72	3	0.102	0.102	0.09	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
96	4	0.102	0.102	0.09	0.011	0.011	0.01	0.010	0.010	0.010	0.010	0.01	0.01
ENSAYO CARGA - PENETRACION													
PENETRACION		MOLDE N° 02				MOLDE N° 02				MOLDE N° 01			
(mm)	(gr/g)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO				
			kg/cm2	lb/pul2		kg/cm2	lb/pul2		kg/cm2	lb/pul2			
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00			
0.64	0.025	246.3	12.54	179.04	303.4	15.45	219.32	320.2	16.31	231.46			
1.27	0.090	384.6	19.56	279.02	456.8	22.26	330.21	495.8	25.25	355.40			
1.91	0.075	461.1	24.00	347.77	520.1	26.49	375.96	574.4	29.25	415.22			
2.54	0.100	528.1	26.80	381.76	653.4	32.18	450.04	625.2	31.84	451.94			
3.08	0.200	603.0	30.71	430.80	695.1	32.35	499.09	741.1	37.74	535.72			
3.62	0.300	645.2	32.86	466.36	893.5	44.81	495.59	913.7	41.44	599.20			
40.16	0.400	967.9	34.02	482.81	722.4	36.79	522.20	961.1	44.87	636.92			
43.70	0.500	678.0	34.53	490.10	780.0	38.71	549.38	931.9	47.46	673.39			
OBSERVACIONES													
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO				ASESOR DE TESIS						
													
Bach. Jerson E. Palomino Quiroz			Ing. Jorge L. Hoyos Martínez				Ing. Julio E. Guillén Soto						

ANEXO N°16: ENSAYO 2 DE CBR DE MATERIAL DE AFIRMADO + 4% DE E. CQS-

1H



ANEXO N°17: FICHA TÉCNICA DE EMULSIÓN CSS-1H



HOJA TECNICA

EMULSION ASFALTICA CATIONICA DE RUPTURA LENTA CSS-1H

Emulsión Catiónica de Rotura Lenta CSS-1H, que tiene muy buena habilidad para mezclar con un agregado, es decir el asfalto demora un buen tiempo en sufrir coalescencia. Esta emulsión está dentro de la clasificación de las LENTAS. Permitiendo alcanzar una buena trabajabilidad.

Estas emulsiones están diseñadas para reaccionar lentamente con el agregado y revertir el estado de emulsión al de asfalto.

APLICACIONES

Slurry Seal, mezclas densas, estabilizaciones, riegos de liga, etc. (previa recomendación del proveedor).

CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS

Composición	:	Asfalto y agua
Color	:	Marrón oscuro
Aspecto	:	Líquido viscoso
Gravedad específica a 20°C	:	0.95

ESPECIFICACIONES ASTM D 2397

Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, s	20 – 100
Sedimentación, 5 días, %	5.0 % máx.
Estabilidad almacenamiento 24 hrs., %	1.0 % máx.
Tamizado, %	0.1 % máx.
Residuo asfáltico, %	57 % mín.

Prueba sobre el residuo de ensayo de destilación:

Penetración, 25°C, 100 mg, 5s (1)	40 – 90
Ductibilidad, 25°C, 5 cm. /min. ,	40 mín.

(1) La penetración cambia al variar el tipo de PEN.

ALMACENAMIENTO

Se almacena en sistemas o cilindros metálicos a una temperatura de 10°C a 60°C.

CORPORC S.A.C.

ANGELICO CAPILLO CALERO
GERENTE GENERAL

CORPORC ASFALTO & EMULSIONES S.A.C

www.corporc.com / www.asfalttoemulsioncorporc.com
e-mail: asfaltosc@corporc.com



/asfaltosc@corporc

ANEXO N°18: FICHA TÉCNICA DE EMULSIÓN CRS-2H

HOJA TECNICA EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA DE ROTURA RÁPIDA CRS-2h / CRS-2

1. DESCRIPCIÓN:

Este producto está compuesto de cemento asfáltico, agua, agente emulsificante en un medio ácido, en las proporciones diseñadas. Se mantiene como una mezcla homogénea durante su almacenamiento que se realiza a temperatura mínima de 50°C.

Este producto tiene un tiempo de rotura aproximada de 10 minutos y tiempo de curado (apertura a tránsito) de 60 minutos.

La elaboración se realiza con cemento asfáltico PEN 60/70, PEN 85/100 y PEN 120/150, lo cual dependerá del clima de la zona de aplicación.

2. APLICACIONES:

- Riego de Liga.
- Tratamiento Superficial monocapa y multicapa.
- Tratamiento de fisuras.

3. ESPECIFICACIONES:

- Cumple las especificaciones dadas en el Eg 2013 (Manual de carreteras)

TIPO	ROTURA RAPIDA			
	CRS-2		CRS-2h	
GRADO	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Pruebas a la Emulsión				
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C; ssf.	-	-	-	-
Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C; ssf.	100	400	100	400
Prueba de Tamiz N° 20; %	-	0.1	-	0.1
Carga de Partícula; Negativo/Positivo	Positivo		Positivo	
Estabilidad al Almacenamiento a 24 horas; %	-	1	-	1
Destilación, Porcentaje de Residuo; %	65	-	65	-
Pruebas sobre residuo por destilación				
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s; dmm.	100	250	50	150
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min; cm.	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno; %	97.5	-	97.5	-

ANEXO N°19: FICHA TÉCNICA DE EMULSIÓN CQS-1H



HOJA TECNICA

EMULSION ASFALTICA DE RUPTURA CONTROLADA MODIFICADA CON POLIMEROS CQS-1HP

DESCRIPCIÓN

Emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene látex de polímero y una pequeña cantidad de agente emulsificante de rotura controlada. Las pequeñas gotas de asfalto emulsificado son catiónicas (carga positiva).

VENTAJAS

Las emulsiones de rotura controlada con polímero permiten colocar mezclas en espesores mayores que los de las lechadas asfálticas. Un micro pavimento puede ser normalmente abierto al tránsito antes que se cumpla una hora de colocarlo.

APLICACIÓN

Se utiliza para la fabricación de micro pavimentos.


ESPECIFICACIONES

ENSAYOS		MÉTODO		CQS-1HP	
Ensayos sobre la emulsión		ASTM	MTC	MÍNIMO	MÁXIMO
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, ssf		D 7496	E 403	20	100
Destilación	- Contenido de asfalto residual, %	D 6997	E 401	62	---
	- Contenido de disolventes, %	D 6997	E 401	---	---
Estabilidad al almacenamiento, 24 horas, %		D 6930	---	---	1
Prueba del tamiz N°20, %		D 6933	E 405	---	0.1
Carga de partícula		D 7402	E 407	Positiva	
Ensayos sobre el residuo de emulsión		ASTM	MTC	MÍNIMO	MÁXIMO
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, dmm		D 5	E 304	40	90
Punto de ablandamiento, °C		D 36	E 307	57	---
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm		D 113	E 306	40	---
Solubilidad en Tricloroetileno, %		D 2042	E 302	97.5	---

CORPORC ASFALTO & EMULSIONES S.A.C

www.corporc.com / www.asfaltoemulsioncorporc.com

e-mail: asfaltosc@corporc.com

 /asfaltosccorporc

ANEXO N°21: MÁTRIZ DE CONSISTENCIA

Matriz de Consistencia

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Instrumento	
¿Cómo influye la incorporación de emulsión asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada en la resistencia mecánica de un suelo de afirmado, y su comparación?	Determinar la resistencia mecánica del material de afirmado con 3 tipos de emulsión.	La incorporación de emulsión asfáltica de rotura lenta aporta una resistencia mecánica mayor en 7% en comparación a la incorporación de emulsión de lenta, rápida y controlada	DEPENDIENTE	MATERIAL DE AFIRMADO	Normas Nacionales e Internacionales	-Ensayo de Análisis Granulométrico. - Ensayo de Límites de Atterberg - Ensayo de Abrasión los Angeles. -Ensayo de Proctor Modificado - Ensayo CBR.
¿Qué emulsión trabaja de manera más adecuada con el afirmado?	Determinar las características físicas y mecánicas del material de cantera		INDEPENDIENTE	EMULSIÓN ASFÁLTICA	Métodos internacionales Normas Nacionales e Internacionales	-Ensayo de Proctor Modificado - Ensayo CBR.

ANEXO N°22: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

Figura N°21

Adquisición de Material de Afirmado de Cantera “El Guitarrero”.



Figura N°22

Adquisición de Emulsiones Asfálticas.



Figura N°23

Granulometría de Agregados.



Figura N°24

Incorporación de Emulsión Asfáltica.



Figura N°25

Elaboración de Proctor Modificado.



Figura N°26

Inmersión de moldes para CBR.



Figura N°27

Ensayo CBR.

