

Influence and Comparison of Slow, Fast and Controlled Breaking Asphalt Emulsion on the Mechanical Strength for Affirming Material

Jerson Eduardo Palomino Quiroz, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00029916@upn.pe

³Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Abstract. *The main objective of the research work is to compare and determine the influence of the incorporation at 4% of three different types of asphalt emulsion (slow breaking (CSS-1H), fast breaking (CRS-1H) and controlled (CQS- 1H)) in the mechanical resistance for an affirmed material from the city of Cajamarca (Peru). For the development of this research, a sample of material was obtained from the “El Guitarrero” quarry, which will be used to obtain physical and mechanical properties through laboratory tests. The tests considered were granulometry, Atterberg limits, abrasion, Modified Proctor and California Bearing Ratio (CBR). At the end of the investigation, it was determined that the wear value in the abrasion test for the standard sample was 48.52%; Likewise, its CBR value at 0.1” penetration was 45%. On the other hand, the samples with the addition of 4% of slow breaking emulsion (CSS-1H), fast breaking (CRS-1H) and controlled breaking (CQS-1H) presented a CBR at 1” of penetration of 64%, 44 % and 43%, respectively, reaching the conclusion that the incorporation of emulsions improves the mechanical resistance capacity of the soil in some cases; Therefore, depending on the type of emulsion, a better or worse result will be obtained.*

Keywords: *Asphalt Emulsion with slow, rapid and controlled breaking; Mechanical strength.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Influencia y Comparación de Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta, Rápida y Controlada en la Resistencia Mecánica para Material de Afirmando

Jerson Eduardo Palomino Quiroz, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00029916@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Resumen- El trabajo de investigación, tiene como objetivo principal el de comparar y determinar la influencia de la incorporación al 4% 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 (Perú). 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). Al finalizar 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%, respectivamente, llegando a la 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 Clave: Emulsión Asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada; Resistencia mecánica.

I. INTRODUCCIÓN

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 ésta 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 [1].

En los últimos informes a finales del año 2019 en nuestro país sólo 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 del 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 [2].

En América del Sur, también existe la problemática referente al incumplimiento de estándares de calidad en la fabricación de ladrillos. Caso Colombia, según [2] indica que los fabricantes de ladrillos artesanales de arcilla no se rigen a los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 de Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos. Debido al proceso inadecuado en la elaboración de estas unidades se presenta deficiencias en las propiedades físicas y mecánicas de estos elementos. En el departamento del Valle del Cauca, se tomó muestras de tres ladrilleras, evidenciándose que sólo el 20% del total de las unidades ensayadas cumplieron con la resistencia mínima a compresión de 20 Mpa indicada en la NTC 4205 [2].

En [3], se menciona 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.

En [4], investigación realizada en EE. UU, se propone 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 Polivinílico (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.

En la publicación [5], 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, determinarán 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.

En [6], titulada “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 tasa de emulsión Diesel 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.

En [7], 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.

Según [8], “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 el 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.

También en [8], 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.

De modo que, como pregunta de investigación se plantea ¿Cómo influye la incorporación del 4% de emulsión asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada en la resistencia mecánica de un suelo de afirmado?, en consecuencia, tenemos como 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, para cumplir con lo indicado tenemos como objetivos específicos, a) determinar las características físicas y mecánicas del material de la cantera “El Guitarrero” y b) determinar las características físicas y mecánicas del material de afirmado con la incorporación de emulsión asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada.

De lo indicado anteriormente, tenemos como 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)”.

II. METODOLOGÍA

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. Al hablar de modelo experimental se puede decir que, cuenta con variable independiente (emulsión asfáltica y afirmado) y variable dependiente (propiedades físico-mecánicas del producto combinado entre emulsión y afirmado)

También es de tipo transversal ya que, la presente manejará información que obedece a un tiempo determinado además de comparar características y rasgos de las muestras, así como del tipo cuantitativa por tratarse de la recopilación de datos y su posterior análisis haciendo uso de herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para la obtención de resultados.

Al observar las variables y sus iteraciones se determinó la relación existente entre la aplicación de emulsión asfáltica de rotura lenta, rápida y controlada en el material de afirmado al 4% de inclusión.

La población estuvo conformada por un grupo de 4 canteras de la ciudad de Cajamarca productoras de material de

afirmado, de la cual fue seleccionada la cantera “El guitarrero” por adaptarse de mejor manera a las condiciones mínimas para elección de material de afirmado, tipificado en[9], y la muestra fue extraída de la cantera “El Guitarrero”, en la que se obtuvo el material por el método de cuarteo y de la que se logró acopiar un aproximado de 200 kg, material que también fue contrastado con las especificaciones de [10], .

La técnica para la recopilación de datos fue la de observación directa al momento de realizarse los ensayos de laboratorio de la Universidad Privada del Norte, según las normas American Society for Testing and Materials de la ASTM (American Society for Testing and Materials) y las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

Los instrumentos que se emplearon para la recolección de datos de los ensayos realizados en laboratorio fueron protocolos proporcionados por la Universidad Privada Del Norte. Estos protocolos tuvieron como propósito recolectar datos de los ensayos indicados en la investigación. Es así que, inicialmente se realizaron los ensayos de mecánica de suelos del material extraído de la cantera, que viene a ser la Muestra Patrón (MP) compuesta por material de afirmado extraída de la cantera “El Guitarrero”, ubicada en el Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca, a esta muestra se agregó diferentes tipos de emulsión asfáltica a un 4% por ciento de aplicación. Posteriormente, se realizaron ensayos para establecer las propiedades físicas y mecánicas del material combinado en el estudio.

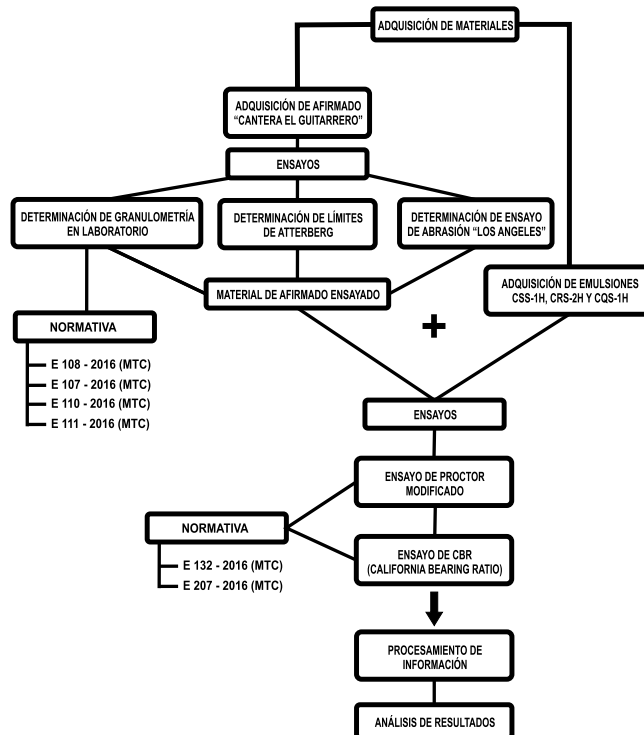


Fig 1. Etapas del desarrollo de la investigación

TABLA I
GEORREFERENCIACIÓN DE LA CANTERA “EL GUITARRERO”

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

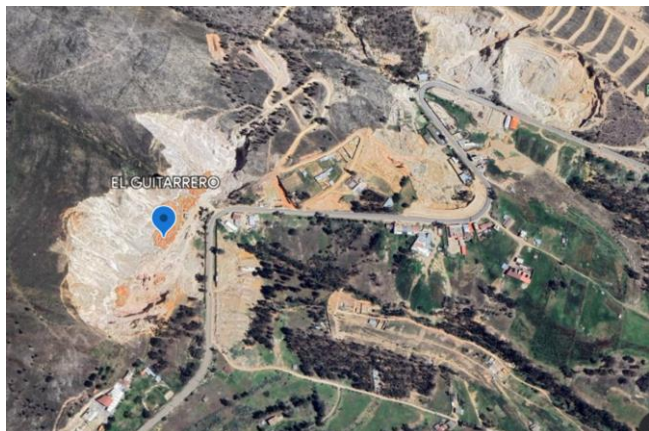


Fig. 2 Georreferenciación de la cantera “El Guitarrero”

III. RESULTADOS

a) ENSAYOS DE MATERIALES

TABLA II
RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES
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.*

Residuo Asfáltico Emulsiones

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

Fuente: *Elaboración Propia.*

La Tabla II, se 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%.

TABLA III
RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PROCTOR MODIFICADO Y CBR
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	2.17	2.21	2.22	2.17	2.145	2.19	2.2	2.2	2.16	2.20	2.23	2.230	2.15	2.18	2.20	2.17
	Humedad	1.7	1	3	4	5	14	03	5	2	3	2.230	9	2	1	7	
	Humedad Óptima	5	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

En la Tabla III, 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°20m.

TABLA IV
RESUMEN CBR

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%

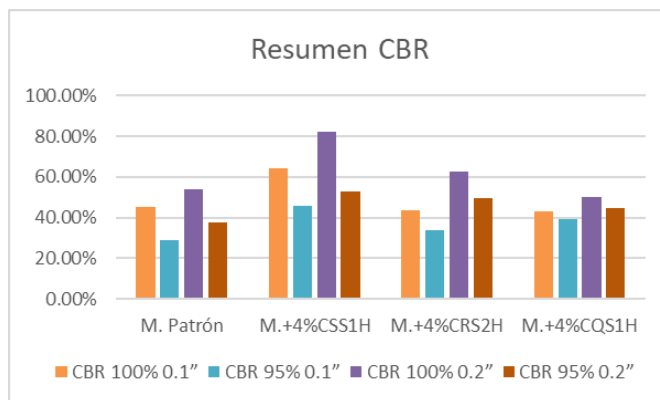


Fig. 3 Resultados CBR

De la figura 3, 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.

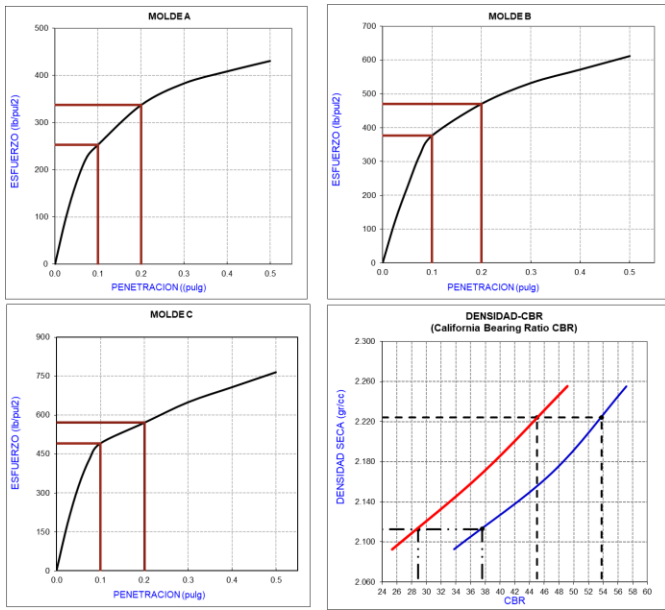


Fig. 4 Curva Esfuerzo – Deformación y Densidad – CBR – Muestra Patrón

De la figura 4, 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.

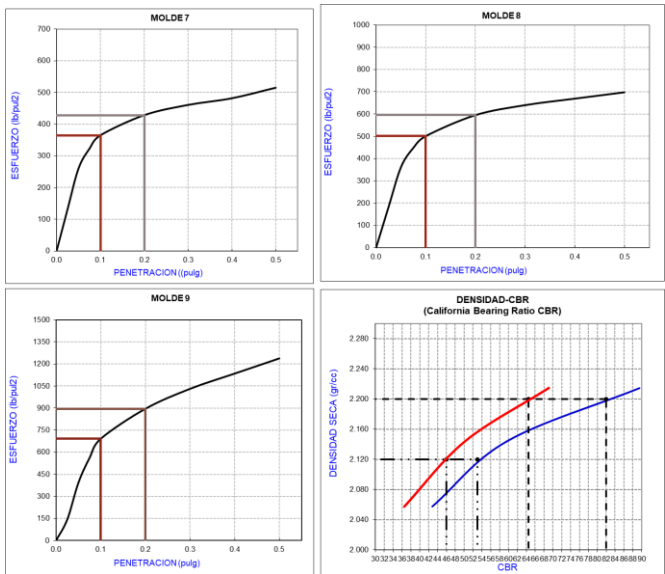


Fig. 5 Curvas Esfuerzo vs. Deformación y Curva Densidad Seca vs. CBR – Material de afirmado + 4% CSS-1H

De la figura 5, 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, denotando esta mera en

el trazado de las curvas de CBR y Densidad al 01” y 0.2” de penetración.

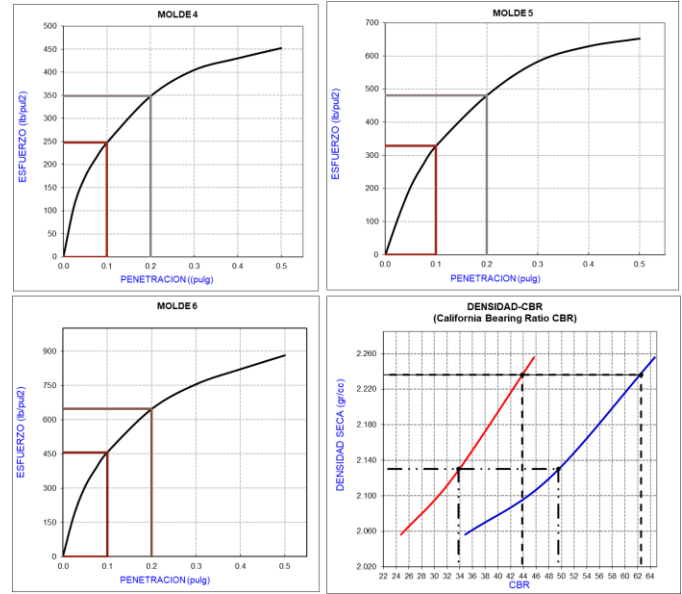


Fig. 6 Curvas Esfuerzo vs. Deformación y Curva Densidad Seca vs. CBR – Mat. Afirmado + 4% CRS-2H

De la figura 6, 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, denotando esta mera en el trazado de las curvas de CBR y Densidad al 01” y 0.2” de penetración.

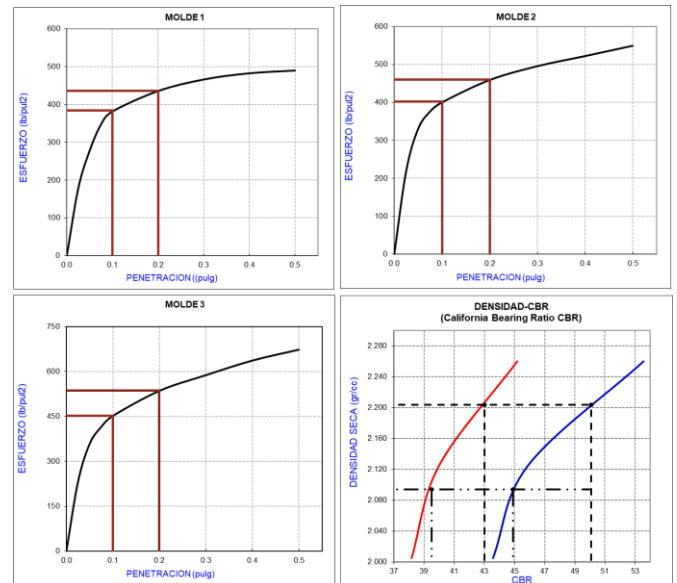


Fig. 7 Curvas Esfuerzo vs. Deformación y Curva Densidad Seca vs. CBR – Material de Afirmado + 4% CQS-2H

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% (CQS-1H) esto dependiendo de la elaboración del espécimen debido al número de golpes aplicado, denotando esta mera en el trazado de las curvas de CBR y Densidad al 01” y 0.2” de penetración.

Los resultados obtenidos fueron contrastados con [9], con lo que se verifica la confiabilidad y validez de la muestra ensayada y utilizada para la presente investigación.

IV. 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.

También podemos observar que las propiedades físicas del material de afirmado de la cantera “el Guitarrero” concuerdan con [9]. Es así que, la granulometría no contiene más del 21% 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.

Se observo 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 anterior, 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.

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.

En la investigación 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.

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 [13] 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 investigación realizada en [12], 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 [11] 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.

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.

En la presente, referente al CBR, y contrastando con otras investigaciones, 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%; por otro lado, 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” 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.

V. CONCLUSIONES

- ✓ 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 con la emulsión de rotura rápida (CRS-2H16) y de rotura controlada (CQS-1H).

- ✓ 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 afirmado del Manual de carreteras sección 301.E.02. Suelos.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ 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

VI. REFERENCIAS

- [1] 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.
- [2] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima.
- [3] Mukhtar Abukhattala & Mamadou Fall (2020). Geotechnical characterization of plastic waste materials in pavement subgrade applications, Transportation Geotechnics, Canadá.
- [4] 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.
- [5] Ferré Franquet, P. (2018). Las Emulsiones de Betún, su Química y su Física. Madrid: Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas. Madrid – España.
- [6] 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.

- [7] 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.
- [8] Azanza, Agustín (2020). “Caracterización Dinámica de Estabilización Suelo-Arena-Emulsión” Brasil 2022
- [9] Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción”. Lima, Perú: MTC.
- [10] Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). “Manual de Ensayo de Materiales”. Lima, Perú: MTC.
- [11] Rojas Rosales, Jaime (2017). Aplicación de la Emulsión Asfáltica en la Estabilización de la subrasante de la Carretera Afirmada de Tercera Clase, Emp PE 18 Quilca – Cochamarca, año 2017.
- [12] Surco Bocanegra, Yeleny (2022). “Estabilización de Suelos con Emulsión Asfáltica y Tereftalato de Polietileno con Fines en Carretera no Pavimentada”.
- [13] 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.