



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Diseño de mezcla asfáltica en caliente incorporando aceite quemado de motor de vehículo, Trujillo

AUTORES:

Plasencia Velasquez, Percy Ronaldo (orcid.org/0000-0003-1852-3224)

Rodriguez Horna, Miler Ivaner (orcid.org/0000-0001-7526-1510)

ASESORES:

Mg. Horna Araujo, Luis Alberto (orcid.org/0000-0002-3674-9617)

Mg. Cerna Vasquez, Marco Antonio (orcid.org/0000-0002-8259-5444)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO — PERÚ

2022

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres y hermanos, por su comprensión y apoyo incondicional para lograr un objetivo más dentro de mi vida profesional.

Plasencia Velásquez Percy Ronaldo

Dedico este trabajo de investigación principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Dedico este trabajo a mi madre y hermanos, por ser el pilar fundamental y por demostrarme su apoyo y cariño incondicional y siempre inculcar el deseo de triunfar en la vida.

Rodríguez Horna, Miler Ivaner

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermanos por brindarme constantemente su apoyo ya que siempre estuvieron conmigo en todo el transcurso de la elaboración de mi investigación.

También a la Universidad, por darme educación para lograr mis aspiraciones y llegar a ser un buen profesional

Plasencia Velásquez Percy Ronaldo

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme salud y por guiarme por el buen camino y fortalecerme espiritualmente para empezar un camino lleno de éxito. Así, quiero mostrar mi gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante.

Rodríguez Horna Miler Ivaner

Índice de Contenidos

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Tablas	vi
Índice de Figuras.....	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I.INTRODUCCIÓN	1
II.MARCO TEÓRICO.....	4
III.METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo, y diseño de investigación	17
3.1.1. Tipo de investigación:.....	17
3.1.2. Diseño de investigación:.....	17
3.2. Variables y operacionalización	19
3.3. Población, muestra y muestreo.	20
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	22
3.4.1. Técnicas:	22
3.4.2. Instrumentos:.....	23
3.4.3. Validación del instrumento de recolección de datos.....	24
3.4.4. Confiabilidad del instrumento de recolección de datos.....	24
3.5. Procedimiento.....	25
3.6. Método de análisis de datos	27
3.7. Aspectos éticos	27
IV.RESULTADOS.....	28
4.1. Caracterización de Agregados.	28
4.1.1. Agregado Grueso	28

4.1.2. Agregado Fino.....	30
4.1.3. Cemento Asfáltico	31
4.1.4. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto	31
4.1.5. Dosificación de las Muestras.....	31
4.2. Método Marshall.....	32
4.2.1. Resultados de Estabilidad y Flujo Mezcla Convencional.....	36
4.2.2. Resultados de Estabilidad y Flujo de la Mezcla Modificada	38
V.DISCUSIÓN.....	42
VI.CONCLUSIONES:	44
VII.RECOMENDACIONES:.....	45
REFERENCIAS.....	46
ANEXOS.....	50

Índice de Tablas

Tabla 1.	Condensación de aceite de motor usado en ppm	9
Tabla 2.	Requerimientos técnicos agregado fino EG-2013.	9
Tabla 3.	Requerimientos técnicos agregado grueso EG-2013.....	10
Tabla 4.	Intensidad de tránsito pesado	12
Tabla 5.	Grado de penetración de cemento asfálticos para MAC.	12
Tabla 6.	Porcentaje de vacíos según tipo de mezcla.	12
Tabla 7.	Parámetros de Diseño Marshall	15
Tabla 8.	Parámetro de Diseño según Instituto del Asfalto.....	16
Tabla 9.	porcentaje de vacíos (VMA).	16
Tabla 10.	Grupo de briquetas.....	18
Tabla 11.	Matriz de clasificación de variable independiente.....	19
Tabla 12.	Matriz de clasificación de variable dependiente	19
Tabla 13.	Grupo de población de ensayos.....	21
Tabla 14.	Ficha de recolección de datos	23
Tabla 15.	Características del agregado grueso.....	29
Tabla 16.	Características complementarias del Agregado Fino	30
Tabla 17.	Resultado de pruebas de Cemento Asfáltico	31
Tabla 18.	Dosificación de Cemento Asfáltico	32
Tabla 19.	Resumen del diseño patrón de la mezcla asfáltica con cemento asfáltico.....	36
Tabla 20.	Resumen del Diseño de la Mezcla Asfáltica más la Incorporación de Aceite Quemado.....	38
Tabla 21.	Comparación de flujo y estabilidad de la muestra patrón y modificada.....	40
Tabla 22.	Matriz de operacionalización de variable.....	52
Tabla 23.	Matriz de consistencia	53
Tabla 24.	Dosificación de cemento asfáltico 6.5%	93

Índice de Figuras.

Figura 1. Aceite nuevo de motor.....	8
Figura 2. Aceite usado de motor.....	8
Figura 3. Mezcla asfáltica en caliente.....	10
Figura 4. Cemento asfáltico.....	13
Figura 5. Prensa Marshall.....	14
Figura 6. Grupo de briquetas para ensayo Marshall.....	17
Figura 7. Esquema del procedimiento de investigación	25
Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso	28
Figura 9. Curva Granulométrica del Agregado Fino	30
Figura 10. Vacíos de Aire vs. Contenido de Asfalto	32
Figura 11. Densidad Bulk vs. Contenido de Asfalto.....	33
Figura 12. Vacíos Agregado Mineral vs. contenido de Asfalto	33
Figura 13. Vacíos llenos de Asfalto vs. Contenido de Asfalto.....	34
Figura 14. Estabilidad vs Contenido de Asfalto	34
Figura 15. Flujo vs Contenido de Asfalto	35
Figura 16. Comparación de estabilidad y flujo promedio de cemento asfáltico.	37
Figura 17. Estabilidad y flujo promedio de la mezcla modificada.	39
Figura 18. Ubicación Cantera san Martín	97
Figura 19. Selección de Agregado grueso cantera san Martín.....	97
Figura 20. Selección de Agregado fino cantera san Martín.....	98
Figura 21. Máquina de abrasión de los ángeles	98
Figura 22. Pesado de cemento asfáltico	98
Figura 23. Mezclado de agregados.	99
Figura 24. Mezcla homogénea	99
Figura 25. Moldeado de briqueta.....	99
Figura 26. Desmoldeado de briqueta	100

Figura 27. Briquetas	100
Figura 28. Prensa Marshall.....	101
Figura 29. Rotura de briquetas	101

RESUMEN

En la presente investigación se evalúan dos diseño de mezcla asfáltica en caliente, el primer diseño que se efectuó fue para determinar el porcentaje Óptimo de cemento asfáltico a utilizar y el segundo diseño que se realizó fue el diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de aceite quemado de motor de vehículo; para lo cual trabajamos con diferentes porcentajes, con la finalidad de evaluar la influencia que tiene en las propiedades de la mezcla asfáltica, asimismo nos planteamos como objetivo general diseñar la mezcla asfáltica en caliente incorporando diferentes porcentajes de aceite quemado de motor de vehículos y, se desarrolló mediante el método Marshall lo cual tuvo que cumplir con los parámetros establecidos por la EG-2013.

El estudio consistió en diseñar mezclas asfálticas incorporando aceite quemado de motor de vehículos, en porcentajes de 1%, 2.5%, 4% y 7; obteniendo como resultado, que los porcentajes 1% y 2.5% no tienen mucha influencia en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla ya que la estabilidad y flujo son muy bajas en comparación a la mezcla convencional; asimismo se comprobó que mientras mayor sea el porcentaje añadido de aceite quemado aumenta su estabilidad y el flujo disminuye es por ello que se descarta para su utilización los porcentajes de 1%, 2.5% y 7% finalmente se determinó que el porcentaje óptimo para ser utilizado es de 4% ya que mantiene la estabilidad y flujo entre los parámetros requeridos por la norma EG-2013.

Palabras clave: Mezcla Asfáltica, Aceite Quemado, Marshall, Estabilidad, Flujo.

ABSTRACT

In the present investigation, two hot mix asphalt design are evaluated, the first design that was carried out was to determine the optimal percentage of asphalt cement to be used and the second design that was made was the hot mix asphalt design with the incorporation of burned motor vehicle oil; for which we work with different percentages, in order to evaluate the influence it has on the properties of the asphalt mixture, we also set ourselves the general objective of designing the hot asphalt mixture incorporating different percentages of burned vehicle engine oil and, developed using the Marshall method which had to comply with the parameters established by the EG-2013.

The study consisted of designing asphalt mixtures incorporating burnt vehicle engine oil, in percentages of 1%, 2.5%, 4% and 7; obtaining as a result, that the percentages 1% and 2.5% do not have much influence on the physical and mechanical properties of the mixture since the stability and flow are very low compared to the conventional mixture; It was also found that the greater the added percentage of burned oil, its stability increases and the flow decreases, which is why the percentages of 1%, 2.5% and 7% are discarded for use. Finally, it was determined that the optimal percentage to be used it is 4% since it maintains stability and flow between the parameters required by the EG-2013 standard.

Keywords: Asphalt Mix, Burnt Oil, Marshall, Stability, Flow.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en nuestro país y a nivel mundial sufrimos una enorme problemática medioambiental debido al mal uso de residuos (Aceite quemado de motor). El principal problema con este tipo de residuo es su almacenamiento, debido a que no se tiene un lugar o depósito específico para ser desechados, es por ello que son arrojados en lugares prohibidos, por ser desechos líquidos altamente contaminantes, por lo cual se tienen que almacenar para luego ser tratados y reutilizados.

La alternativa de solución que se plantea a esta problemática desde el campo ingenieril es la indagación de vías capaces de incluir este residuo en la construcción de capas de pavimento, a través del uso del aceite quemado como un adherente en las mezclas asfálticas dado que a diario se desecha este residuo, asimismo con ello se mejoraría las cualidades físicas y mecánicas de dicha mezcla, con el fin de evitar la diferentes patologías y la fatiga por envejecimiento y así reducir los costos de mantenimiento y prolongar su vida útil del pavimento.

Además el uso de residuos como el lubricante de vehículos como aditivo poco convencional, se usó como estabilizante de afirmados, donde se ejecutó distintos ensayos de CBR, Proctor encontrando resultados positivos en la investigación, llegando a los estándares requeridos, además de que en las tres canteras aplicadas, se demostró la viabilidad del empleo de dicho lubricante vehicular reciclado para la estabilización de afirmados con el resultado de aumentar la densidad máxima mejorando las propiedades mecánicas en base al requerimiento según norma.

Asimismo, para González, Melo y Rodríguez (2019) su idea fue la implementación del uso de materiales reciclables como el aceite quemado de vehículo, en las obras viales, obteniendo como resultado, el cumplimiento de las especificaciones generales en cuanto a la ejecución de carreteras determinadas en la sección 450 – 13 de INVIAS 2013 considerado para el diseño de MAC

modificada – 19, esto indicó que la reutilización de dicho recurso favorece, además de lo económico, también contribuye al medio ambiente.

De la información revisada en los repositorios nacionales no se ha encontrado un estudio que muestre el uso del aceite quemado de vehículo en mezclas asfálticas, es por ello que no se puede adquirir una cantidad ideal de aceite quemado para su incorporación en una MAC, lo cual nos ayudaría a conservar el medio ambiente, como en lo económico y ejecutar obras viales (p.35).

Ante esta situación realizaremos pruebas para verificar y analizar si al incorporar WEO quemado de vehículos en el diseño de la mezcla (MAC) mejora sus características físicas y mecánicas, con la finalidad obtener nuevas alternativas de solución que se adhiera al medio ambiente.

Con lo descrito anteriormente se formula la siguiente **problemática de investigación**: ¿Como influye la incorporación de aceite quemado de vehículos en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente?

El presente proyecto de investigación se **justifica teóricamente** aportando información útil para nuevas investigaciones, concerniente al incorporar aceite quemado de motor de vehículo para la preparación de la (MAC), como un material adicional para salvaguardar sus características, además el diseño se regirá de acuerdo con los parámetros del (MTC). Asimismo, **metodológicamente** es una investigación cuantitativa de tipo experimental aplicada el cual se realizará el diseño de la mezcla con la adhesión de WEO (aceite quemado de vehículos), utilizando el ensayo Marshall teniendo en cuenta las condiciones mínimas de la norma CE-010 y la norma EG-2013 el cual obtendremos los resultados de caracterización de los materiales además se evaluará la estabilidad y flujo con respecto a los diseños realizados de la MAC convencional y modificada, esto se validará con investigaciones anteriormente realizadas y para ello se utilizarán los instrumentos que son ficha de recolección de datos para registro de los resultados, en el **ámbito social** ayudaría a contribuir en la conservación del medio ambiente, viendo la posibilidad que se puede reutilizar el desecho antes mencionado esto nos ayudará a tener una mejora en la parte económica y en el **ámbito práctico** se pretende conseguir

resultados beneficiosos para proyectarlo su uso en vías de transporte a gran escala.

Para dar respuesta a la formulación del problema se plantea como **Objetivo general**. Diseñar la mezcla asfáltica en caliente incorporando diferentes porcentajes de aceite quemado de vehículos. Asimismo, como **Objetivos específicos**. **(a)** Determinar la caracterización de los materiales a utilizar para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con aceite quemado, **(b)** Realizar el diseño de mezcla asfáltica modificada con porcentajes de 1%, 2.5%, 4% y 7%, **(c)** Evaluar la estabilidad, flujo y densidad obtenidos mediante el ensayo Marshall, **(d)** Determinar el porcentaje óptimo de aceite quemado para la conservación de las propiedades mecánicas y físicas de la mezcla asfáltica en caliente.

Ante esta situación planteamos como **hipótesis** que la adición del aceite quemado de motor de vehículo modifica las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, según la norma EG 2013 y por el método Marshall.

II. MARCO TEÓRICO

Gallego y Campañoli (2017) en su revista ***“Efecto del aceite quemado de motor sobre las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas que contienen RAP”***. En este estudio, el objetivo fue realizar el análisis de la alteración de las características tanto físicas como mecánicas de las mezclas que contienen pavimento asfáltico reciclado incorporando aceite reciclado extraído del motor de vehículos (p.4); aplicando la metodología experimental descriptiva (p.15); se obtuvo los siguientes resultados que revelan que el uso de WEO, que es el aceite de motor usado, como regenerante es factible para la preparación de mezclas asfálticas con pavimento asfáltico reciclado (p.16); se concluye que cuando se agrega aceite de motor de automóvil quemado como aglutinante envejecido contenido en el regenerante, se analizan los cambios de sus propiedades físicas y mecánicas de la mezcla. Según la especificación de INVIAS, se utiliza como referencia la mezcla asfáltica densa en caliente (p.19).

Asimismo, Montealegre, Varón y Ramos (2018) en su investigación ***“Impacto del aceite quemado de motor en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas que contienen pavimento asfáltico recuperado RAP”***. Tuvo como objetivo general identificar las propiedades mecánicas y físicas al reutilizar aceite quemado de los vehículos en mezclas asfálticas que contienen pavimento asfáltico reciclado (p.16) la metodología utilizada es experimental donde los ensayos en los laboratorios son para identificar las propiedades físico-mecánica de los materiales empleados -19 (p. 24). Tuvo como resultados, que en la distinción de estabilidad tracción seca, se puede identificar que el tratamiento genera diferencias de envergadura en los tratamientos a 3 y 5 % cuando se adiciona el WEO, además para la tracción húmeda se obtiene que al momento de incluir el 3% de WEO es favorable por no presentar diferencias significativas en cuanto al dicho tratamiento. Por último, se concluye que, al incluir aceite quemado de motor, se redujo la consistencia de la mezcla (p. 44).

Además, Cárdenas (2017) en su investigación titulada ***“Evaluación de la resistencia mecánica de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con aceites lubricantes usados”***, el objetivo principal de la investigación fue objetivo la evaluación del comportamiento de la resistencia

mecánica de la MAC utilizando aceite de vehículo usado, mediante un ensayo de Marshall en laboratorio (p. 6), la metodología es experimental (p.12); como resultados se obtuvo la creación principalmente de nueve asfaltos renovados, en los cuales la composición de la solución de aceite usado asfáltico fue de 0 a 6 por ciento del peso del aceite usado, luego, se realizó una prueba Marshall, la cual cumple con los requisitos del Artículo 450-13 de la Norma Invias de Mezcla Asfáltica Caliente de Clasificación Continua, y se determinó que para las mezclas y asfalto 60-70 empleados, el valor óptimo de aceite agregado puede ser del 2%, (p. 68) Con lo que se concluye que se deben hacer pruebas de laboratorio para determinar el cumplimiento de las mezclas de asfalto a corto y largo plazo (p.75).

En tal sentido Mozos, Mozos y Gómez (2018) en su investigación **“Estudio de asfaltos y mezclas asfálticas transformadas con aceite residual de los vehículos”**, tuvo como objetivo la evaluación de pruebas de laboratorio sus propiedades del cemento asfáltico y de adición a las mezclas asfálticas cambiadas gracias al residuo anteriormente mencionado (p.6); la metodología es experimental. (p.06), Como resultados obtuvo en los parámetros volumétricos los promedios de las densidades y vacíos dentro de las briquetas de control encontrando en un 4.5 % una densidad bulk de 2.255 g/cm³; un porcentaje de vacíos de un 6.20%; VAM tendrá un 16.22% y el VFA un 61.81%; sin embargo en un 6%, la densidad bulk de 2.285 g/cm³; un porcentaje de vacíos de un 2.86%; VAM tendrá un 16.41% y el VFA un 82.58%; concluyendo que al realizar dicho método, se visualiza una disminución en cuanto a la compresión y tracción, pero aumenta su adherencia mediante los ensayos de cántabro (p. 42).

Al respecto, Martínez (2021) en su estudio sobre **“Efectos de la adición de aceite usado de vehículos en las propiedades mecánicas de mezclas de asfalto en caliente”**, tuvieron como objetivo el estudio de la consecuencia de la aplicación de los aceites de motor usados en las propiedades mecánicas de la MAC (p. 29); por otro lado la metodología fue aplicada (p.30); dentro de los resultados se diseñaron mezclas asfálticas mediante el método Marshall incorporando dicho residuo reciclado, se adquirieron los porcentajes de flujo y estabilidad, el cual se determinó que su proporción ideal de asfalto de la mezcla convencional es de 6,07% y cumple con lo estipulado según el requerimiento de

la norma nevi-12, y el porcentaje óptimo de las mezclas transformadas con aceite reciclado del motor del vehículo esta entre el 2% y 1% fueron de 6,42 y 6,35%, la mezcla satisface los parámetros, por otro lado se determinó que los valores de flujo sobrepasan el rango máximo (p.136); finalmente se concluyó que el peso específico de Bulk minor a incorporar el aceite quemado de motor de vehículos en cuanto a lo usado con la mezcla asfáltica en caliente (p.174).

En el ámbito nacional tenemos a Ortega (2021) en su **investigación “Aceite quemado de vehículos para el mantenimiento de sus características mecánicas de mezclas asfálticas en caliente exhibido a tránsito prolongado en climas con bajas temperaturas, Huancayo 2020”**; tuvo como principal objetivo determinar la variación que causa en las propiedades mecánicas y físicas del aceite quemado de vehículos al ser incorporado a la MAC y siendo expuesta a una baja de temperatura(p.19); además la metodología, es de tipo de aplicada y el diseño es experimental (p.50); dentro de sus resultados se puede observar que la temperatura de la mezcla de asfalto puede manejarse hasta en 130°C, lo que representa un impacto operacional, ambiental, así como también en económico, en beneficio de las obras viales (p.175); por ende se concluyó que la inclusión del aceite de palma impacta positivamente y significativamente en cuanto a las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente en efecto al descenso de temperatura en la zona (p.181).

Al respecto Cutti (2019) en su investigación titulada **“Utilización de aceites vegetales para la disminución de temperatura de mezcla y su efecto en sus características mecánicas de mezclas de asfalto en caliente para el diseño de la Av. Leoncio Prado Chilca - Huancayo 2019”**, tuvo como objetivo la determinación de la influencia en la temperatura del aceite vegetal en las mezclas asfálticas y además de los efectos en la mezcla (p.19); la investigación fue de tipo aplicada (p.44); como resultados se obtuvo la mezcla asfáltica utilizando el Marshall, se procesó la muestra con un contenido adecuado de asfalto de (4.5%), y que el aceite vegetal es el mejor para mantener sus características mecánicas de la (MAC), la cual tiene un porcentaje de 22.84 de conservación de la resistencia y un 23.01 de incrementos de alteración de la mezcla de asfalto en caliente, obteniendo las exigencias de la normativa (p. 61);

concluyéndose así que el asfalto, al agregarle el aceite vegetal, obtiene un comportamiento viscoso descendente hasta cierto punto específico, conservando la resistencia y trabajabilidad (p.168).

Localmente tenemos a Ramírez (2015) en su artículo **“Mejoramiento de las mezclas de asfalto en frío usando asfalto líquido mc-30 y agregados de las canteras san Martín y cerro campana, Trujillo – La Libertad”** el objetivo del estudio es identificar el tanto por ciento adecuado de cemento asfáltico para su utilización de las mezclas en frío preparadas con asfalto de curado medio (p.14), como resultados de los análisis arrojados luego de los ensayos realizados mediante el sistema Marshall el tanto por ciento es de asfalto liquido es 5.41 en la primera planta, lo cual varía para la segunda planta donde el porcentaje es de 5.08, con los datos obtenidos concluimos que se logra la estabilidad de 700.58kg (1543 lb) y con los diversos ensayos realizados llegamos a la conclusión que en la segunda planta o cantera la estabilidad obtenida es de 1543 lb (700,58 kg), según las especificaciones del instituto de asfalto los datos encontrados si cumplen para el tránsito mediano (p.87).

Para comprender más a detalle el desarrollo de variables y dimensiones explicamos a continuación sus características y funcionalidades tanto en **nivel teórico** como normativo.

Aceite quemado de motor de vehículos. Es un lubricante usado, también conocido como aceite quemado de aspecto viscoso y de color negro, que se origina periódicamente por el cambio obligatorio al transcurrir un kilometraje establecido especialmente este aceite, al ser cambiado por uno nuevo, se descarta. En algunos casos es reciclado por empresas encargadas de desechos contaminantes que lo reúsan con un propósito económico, al ser reutilizadas y vuelvan a ser comercializadas (Jaramillo y Places,2022, p.14).

Generalmente el aceite nuevo se mezcla con distintos materiales, el cual pierden gran parte de sus características lubricantes producido por las altas temperaturas al cual están sometidos, y al cumplir su tiempo suele ser reemplazado lo cual se convierte en residuo de aceite quemado, es un residuo color negro oscuro

viscoso que contiene diferentes sustancias disueltas como el metal (Cárdenas, 2017, p.32). En las siguientes figuras se muestra las características de como se ve aceite nuevo en comparación al aceite usado.



Figura 1. Aceite nuevo de motor.

Fuente: (Automotriz, 2020)



Figura 2. Aceite usado de motor.

Fuente: (Autocosmos, 2011)

Composiciones del aceite usado. Estos aceites están compuestos a base sintética o mineral con aditivos durante su uso se mezclan con los siguientes contaminantes (p.34).

Tabla 1. Condensación de aceite de motor usado en ppm

Composición del aceite quemado			
Contaminantes	Condensación en ppm		
	Aceites		Aceite industrial
	Motor diésel	Motor gasolina	
Cadmio	1.1	1.7	6.1
Cromo	2.0	9.7	36.8
Plomo	29.0	2.2	217.7
PCB's	20.7	20.7	957.2
Cloro total	3600.0	3600.0	6100.0
Zinc	332.0	951.0	373.3

Agregados finos. Es un material artificial proveniente de la descomposición de las rocas mediante el cual al ser tamizado pasa por el tamiz de (3/8) y tiene que satisfacer los parámetros de la norma técnica peruana 400.037 (Tufino ,2009).

Tabla 2. Requerimientos técnicos agregado fino EG-2013.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		= < 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	E 114- MTC	60	70
Angularidad del agregado fino	E 222 - MTC	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	E 209- MTC	15% máx.	15% máx.
Índice de Durabilidad	E 214- MTC	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	E 11- MTC	4 máx.	NP
Sales Solubles Total	E 219- MTC	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	E 205- MTC	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: Manual de especificaciones técnicas EG-2013.

Agregado grueso. Son agregados pétreos naturales o triturados y para establecer la calidad debe cumplir con estas especificaciones (EG-2013. p351).

Tabla 3. Requerimientos técnicos agregado grueso EG-2013

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		= < 3.000	> 3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	E 209 -MTC	15% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	E 207- MTC	25% máx.	20% máx.
Adherencia	E 517- MTC	+95	-
Índice de Durabilidad	E 214- MTC	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	E 221 -MTC	25% máx.	15% máx.
Caras fracturadas	E 210- MTC	100/90	100/90
Sales solubles totales	E 219 -MTC	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	E 206- MTC	2,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: Manual de especificaciones técnicas EG-2013.

Mezcla asfáltica en caliente, su preparación se realiza en fábricas estas pueden ser móviles o fijas. Los agregados tienen que ser separados de acuerdo a su tamaño así evitaremos que se revuelvan luego de este procedimiento ya estarán listos para ser incorporados a la mezcla. Todos los elementos incorporados deben de estar cubiertos por la película de asfalto, para ello tenemos que asegurar y calentar a una temperatura que nos permita una mezcla uniforme de dicho contenido.



Figura 3. Mezcla asfáltica en caliente

Además, (Padilla, 2004) determina las **características y propiedades** más influyentes en una mezcla asfáltica son: la flexibilidad, trabajabilidad, resistencia a la humedad, resistencia al deslizamiento, resistencia a la fatiga, estabilidad, durabilidad y resistencia al fracturamiento.

Durabilidad. Se define como las propiedades de la mezcla asfáltica a su capacidad de resistir diferentes efectos producidos por la temperatura, agua, aire, y el tránsito que puede provocar el envejecimiento del pavimento o la desegregación del agregado y del cemento asfáltico en su vida útil (garnica.et al.2005 p.3).

Flexibilidad. Tiene la capacidad de adaptación sin sufrir deformaciones o fisuraciones debido a la consecuencia por el hundimiento que pueda sufrir la sub – base y base. (p.3)

Resistencia a la fatiga. Es la capacidad del pavimento de resistir a los esfuerzos a causa del peso y el pase vehicular; además la fatiga esta relacionada a la rigidez y el contenido de cemento asfáltico además si este es mayor hará que se deforme más elásticamente o ser menos. (p.3)

Estabilidad. Definida como la capacidad de la mezcla para el soporte de las cargas ocasionadas por el tránsito vehicular; y puede mantener su forma según (Blanco y Montanez.2016. p.24).

Vacíos de aire. Es la propiedad, donde su principal objetivo es determinar los pequeños espacios de aire que se encuentra al interior de la mezcla una vez elaborada y que va en función con el diseño que sea establecido (MTC E- 203. 2016 pág. 302).

Impermeabilidad. Permite el bloqueo del agua evitando la filtración de esta a las capas inferiores del pavimento, evitando que se pierdan las propiedades y su capacidad portante.

Trabajabilidad. Es la propiedad de la mezcla con la facilidad de compactar y trabajar de forma sencilla, sin requerir ningún esfuerzo .la trabajabilidad depende

de una combinación o de uno de los aspectos de la granulometría de los materiales y su viscosidad del asfalto (Cepeda,2002).

Adherencia. Es la propiedad de la superficie de adherirse molecularmente con el ligante asfáltico (p.56).

Tabla 4. *Intensidad de tránsito pesado*

Tipo de carpeta	Intensidad del tránsito pesado en un solo sentido
Mezcla en planta de 7.5cm de espesor mín.	> de 2000 vehículos/día
Mezcla en planta de 5cm con un espesor mín.	2000 a 1000.
Mezcla en planta o lugar de 5cm como mín.	1000 a 500
Tratamiento superficial múltiple o simple.	Menos de 500.

Fuente: repositorio ucv, tesis

Tabla 5. *Grado de penetración de cemento asfálticos para MAC.*

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 ó modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Fuente: diseño de mezcla asfáltica

Tabla 6. *Porcentaje de vacíos según tipo de mezcla.*

Tipo de mezcla por espacios de vacíos	% de espacios de vacíos
Mezcla densa o cerrada.	<6
Semicerradas o semidensas o	6-10
Abiertas	12
Drenantes o porosas.	20

Fuente: Adaptación de (Laboratorio Vialidad, 2016)

cemento asfáltico, proveniente de la destilación del petróleo color negro-oscuro y pegajosa, el cual al calentarse a una temperatura tiende gradualmente a ablandarse cuyos elementos está compuesto por hidrocarburo pesado, se obtiene del refinamiento (Albornoz, 2014).

Propiedades del cemento asfáltico **Consistencia**, conocida también como fluidez o viscosidad y se usa para describir el su grado de fluidez o viscosidad del asfalto con respecto a una temperatura determinada.

Seguridad. La espuma es un riesgo para la seguridad, por lo general se exige que el cemento asfáltico no lo forme a una temperatura no mayor de 175°C y al sobre pasar el calentamiento emitirá humo que se presenciara mediante llama o chispa abiertas conocido como punto de inflamación (p.38).

Pureza. esta principalmente compuesto por betunes en su totalidad, completamente bisulfuro de carbono CS₂ y al ser refinado aun contiene impurezas y estas son inertes.



Figura 4. Cemento asfáltico

Fuente: cementos asfálticos PEN 85-100 y 60-70

Método Marshall. Fue creado por Bruce Marshall, con el que se define el contenido óptimo de cemento asfáltico para un determinado conjunto de agregados; el procedimiento, además de determinar dichos objetivos, también facilita la información de las características específicas de la MAC, estableciendo la densidad y el contenido óptimo de los vacíos, cumpliendo con los

requerimientos normativos. Dicho procedimiento solo se aplica en las MAC, en las cuales se utiliza el cemento asfáltico con una clasificación de penetración o viscosidad y los agregados contenidos no exceden de 25.00 mm. Para dicho procedimiento se utilizan probetas de 64mm de espesor y 103 mm de diámetro. Lo más relevante del diseño de Marshall es la extracción de un ensayo de la relación de vacíos, flujo y estabilidad, consistencia de las muestras realizadas (Cáceres, 2007, p.32).



Figura 5. Prensa Marshall

Fuente: Pruebas de estabilidad Marshall.

Ensayos de Fluencia y Estabilidad. según Cáceres el ensayo de estabilidad evalúa la resistencia a la desfiguración en la mezcla asfáltica y la fluencia determina la deformidad a consecuencia de las cargas aplicadas en el asfalto. El procedimiento es el siguiente:

- En baño de agua se calientan las probetas a 60°C siendo esta la temperatura más representativa del pavimento en servicio.
- Se remueve la probeta y una vez secada, rápidamente se coloca en la prensa de Marshall en donde se le aplicará una carga.
- Dicha carga es aplicada a velocidad recurrente de 51 mm/min hasta su fallo siendo este el peso máximo que el pavimento puede resistir o soportar.

- La carga que falla se anota como el resultado de estabilidad determinada mediante el Marshall.

Para Cáceres (2007) el **valor de estabilidad de Marshall** es la dimensión de la carga a la que la briqueta cede; en la ejecución de la prueba, mientras el peso es aplicado de forma lenta, las partes extremas se van aproximando, aumentando el peso encima de la briqueta al igual que la lectura en el cuadrante; posterior a eso, el peso es suspendido a obtener el máximo Valor de Seguridad Marshall siendo este el indicado por el medidor. Gracias a la determinación del factor de Seguridad Marshall, en el cual se propone la resistencia de la mezcla con respecto a la deformación, hay un fundamento más allá de dicha conclusión, si bien para la ingeniería, el valor de la resistencia enfoca a un control de calidad, no obstante, en la prueba de mezclas asfálticas no siempre es así. (p.29)

Valor de fluencia Marshall Este valor simboliza la imperfección de la briqueta al someterla a una fuerza y es medida en centésimas de pulgada; si bien, la distorsión es definida como la reducción del diámetro vertical de la briqueta; se debe considerar frágiles a la mezcla que contienen valores bajos en fluencia y muy altos de Seguridad de Marshall y por consiguiente las que tengan altos valores en fluencia, son bastante plásticas, siendo estas deformables ante las cargas de tránsito.

Parámetros de diseño método Marshall y la NTP EG-2013 de especificaciones técnicas.

Tabla 7. *Parámetros de Diseño Marshall*

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por cara	75	50	35
2. Estabilidad (mín.)	8,15 KN	5,44 KN	4,53 KN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
4. Porcentajes de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
5. Vacíos del agregado mineral	70-80	65 - 78	65 - 75

Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación polvo - Asfalto (2)	0,6 – 1,3	0,6 – 1,3	0,6 – 1,3
Relación estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	4.000--1700		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T283	80 mínimo.		

Tabla 8. *Parámetro de Diseño según Instituto del Asfalto.*

Criterios para mezcla de Método Marshall	Tránsito liviano Carpeta y Base		Tránsito Mediano Carpeta y Base		Tránsito Pesado Carpeta y Base	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Compactación, por cada lado de la probeta número de golpes.	35		50		75	
Estabilidad N.	3336		5338		8006	
(lb)	(750)		(1200)		(1800)	
Flujo, 0.25 mm. (0.01 plg)	8	18	8	16	8	14
porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)	(Ver tabla adjunta)					
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

Tabla 9. *porcentaje de vacíos (VMA).*

Porcentaje mínimo de VMA	Tamaño, del agregado Max.
15	9.5mm
14	12.5mm
13	19.0mm
12	25.00mm
11	37.5mm

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo, y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación:

La investigación es de tipo **aplicada** ya que se plantea determinar las causas y consecuencias de un objeto de estudio y se busca las causas del porqué de las cosas, y cómo han influenciado en los resultados. Esto indica que solo se pretende reunir información de forma independiente o colectiva referentes a conceptos o las variables en estudio e indicar cómo se relacionan entre sí.

Nuestra investigación es de tipo aplicada el cual se elaboró briquetas de acuerdo con los establecido de la norma (práctica) para obtener los resultados con respecto a los diferentes ensayos realizados al diseño de la MAC modificada (problema).

3.1.2. Diseño de investigación:

El diseño del estudio será de tipo **experimental** - explicativa puro en su versión dado que la variable de estudio será manipulada y se obtendrán distintos resultados; cuyo esquema será el siguiente:

RG1	-----	O1
RG2	x1	O2
RG3	x2	O3
RG4	x3	O4
RG5	x4	O5

Figura 6. Grupo de briquetas para ensayo Marshall.

Dónde:

RG1: Grupo de Control.

RG2: Grupo de briquetas experimentales con 1% de aceite quemado.

RG3: Grupo de briquetas experimentales con 2.5% de aceite quemado.

RG4: Grupo de briquetas experimentales con 4% de aceite quemado.

RG5: Grupo de briquetas experimentales con 7% de aceite quemado.

$O_i(i=1,4)$: Medición de la variable dependiente.

$X_i(i=2,5)$: es la adicción de aceite quemado en la mezcla asfáltica en 1%,2.5% ,4%,7%.

Tabla 10. Grupo de briquetas

Grupo	Incorporación	Pre -Prueba	Tratamiento	Prueba
Rg1grupo control	Mezcla asfáltica en caliente	Ensayos de laboratorio Granulometría	Mezcla asfáltica en caliente	Ensayos de laboratorio Método Marshall (flujo, estabilidad, % vacíos).
Rg(x)grupo experimental	Mezcla asfáltica modificada	Ensayos de laboratorio Granulometría	Incorporación de aceite quemado de motor de vehículos. (1%,2.5%,4%,7%)	Ensayos de laboratorio Método Marshall (flujo, estabilidad, % vacíos).

Fuente: elaboración propia.

3.2. Variables y operacionalización

V.I. Aceite quemado de vehículos (weo)

Son sustancias que contienen constituyentes químicos como fósforo, azufre, carbón, etc., y según el estatuto europeo los aceites usados lo definen como " aceites minerales, industriales o sintéticos, que se han vuelto inadecuados para la lubricación de sus motores originales". Además, su uso en particular es en motores de combustión interna y de sistemas de transmisión (Santa Cruz, 2018, p28).

Tabla 11. *Matriz de clasificación de variable independiente*

Variable	CLASIFICACIÓN				
	Relación	Naturaleza	Escala de Medición	Dimensión	Forma De Dimensión
Aceite Quemado De Motor	Independiente	Cuantitativa	Intervalo	Multidimensional	Directa

Fuente: elaboración propia.

V.D. Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente

La mezcla asfáltica es una composición uniforme de agregado de piedra y cemento asfáltico, de tal modo que los agregados deben estar cubiertos por el ligante asfáltico y el diseño tiene como finalidad realizar la combinación más apropiada para asegurar un buen desempeño durante su vida útil del pavimento.

Tabla 12. *Matriz de clasificación de variable dependiente*

Variable	CLASIFICACIÓN				
	Relación	Naturaleza	Escala de Medición	Dimensión	Forma De Dimensión
Diseño de mezcla asfáltica en caliente	Dependiente	Cuantitativa	Intervalo	Multidimensional	Directa

Fuente: elaboración propia

Para mayor información ver la matriz de operacionalización de variable (anexo N°3) y matriz de consistencia (anexo N°3.1)

3.3. Población, muestra y muestreo.

Población

Las poblaciones se consideran lo suficientemente específicas como para proporcionar que cada elemento individual exhiba sus características definitorias (Jones, 2010).

En la presente investigación es de tipo experimental y está comprendida por diferentes porcentajes de aceite quemado de motor de vehículos, la población estará compuesta por 27 briquetas.

Tabla 13. Grupo de población de ensayos.

Ensayos con incorporación de aceite quemado de motor de vehículos para el diseño de mezcla asfáltica en caliente										
Ensayos Físicos Y Mecánicos										
Porcentajes%	0%					1	2.5	4	7	PARCIAL
Proporciones	CA-1	CA-2	CA-3	CA-4	CA-5	MAC-MOD	MAC-MOD	MAC-MOD	MAC-MOD	
	4.5	5	5.5	6	6.5					
AGREGADO GRUESO										
Granulometría	1					1				1
Absorción y peso específico	1					1				1
Sales solubles	1					1				1
% de Caras Fracturadas	1					1				1
Partículas Chatas y Alargadas	1					1				1
Índice de Durabilidad	1					1				1
Durabilidad al Sulfato de Magnesio	1					1				1
Abrasión los Ángeles	1					1				1
AGREGADO FINO										
Granulometría	1					1				1
Absorción y peso específico	1					1				1
Sales solubles	1					1				1
Índice de durabilidad	1					1				1
Equivalente de arena	1					1				1
ENSAYO MARSHALL										
Estabilidad, Flujo y Densidad	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
TOTAL, DE MUESTRAS										27

Fuente: elaboración propia.

Muestra

Una muestra se considera un subconjunto de la población y se selecciona objetivamente (LANDRENEAU, 2019). En la presente investigación el Porcentaje de aceite quemado de motor de vehículo para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente, Trujillo 2022 donde la muestra estará conformada por 27 briquetas, divididos en 5 grupos diferentes, 4 grupos estarán compuestos por 3 briquetas para la mezcla asfáltica modificada y para la muestra patrón estará conformada por un grupo de 15 briquetas.

Muestreo

En esta parte se obtuvo por realizar briquetas de MAC con la incorporación de WEO de motor de vehículos donde se empleó el muestreo no probabilístico por conveniencia, donde la población lo determina el investigador.

Para la elaboración de las briquetas de espesor de 6cm y de radio 10cm fueron hechas en el laboratorio de Materiales Cerámicos de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT) además la muestra patrón como modificada fueron analizadas mediante los ensayos pertinentes.

Además, el material para la incorporación de la Mac, se recolectó el weo (aceite quemado de vehículos) de la empresa NEXEN TIRE que se encuentran dentro de sus instalaciones como un desecho no reciclable.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas:

La recopilación de datos nos facilita a conducirnos a la verificación de un determinado problema ya establecido. (Behar, 2008, p.14) para ello se empleará en la presente investigación la observación directa la cual permitirá analizar los resultados determinados mediante el ensayo Marshall del MTC E 504 y los parámetros de la norma técnica EG-2013.

3.4.2. Instrumentos:

El instrumento de recopilación de datos se determina como cualquier recurso en el cual el investigador pueda valerse para obtener la información requerida (Niño, 2011, p.37.) Teniendo en cuenta las técnicas aplicadas, siendo esta la observación directa, se tomará como instrumento la ficha de recolección, el cual nos permitirá registrar la caracterización de los materiales a utilizar para la preparación de la MAC. (anexo 4.1)

El segundo instrumento será una ficha de recolección de datos la cual nos permitirá registrar los parámetros exigidos para el diseño de la mezcla asfáltica con la incorporación de aceite quemado de motor de vehículo. (anexo 4.2)

El tercer instrumento será una ficha de observación donde se registrarán todos los datos que se determinaron con los ensayos realizados en el laboratorio con el fin de determinar el efecto que tiene el aceite quemado al ser incorporado en las mezclas asfálticas.

Tabla 14. *Ficha de recolección de datos*

Instrumentos	Etapas de investigación	Validación/confiabilidad
Ficha de recolección de datos N°1	Caracterización de materiales	Especialistas en el tema de investigación
Ficha de recolección de datos N°2	Diseño de mezcla asfáltica con incorporación de WEO	Especialistas en el tema de investigación
Ficha de recolección de datos N°3	Determinación de los porcentajes óptimos	Especialistas en el tema de investigación

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Validación del instrumento de recolección de datos

Las herramientas de investigación se validan mediante ensayos con expertos en la materia. La validación de datos es “el proceso de asegurar que los datos finales tengan un conjunto de características de calidad” (DIZIO, 2016). La verificación es preparada por expertos en el programa de ingeniería vial, que tienen un título en ingeniería civil, colegiados y habilitados.

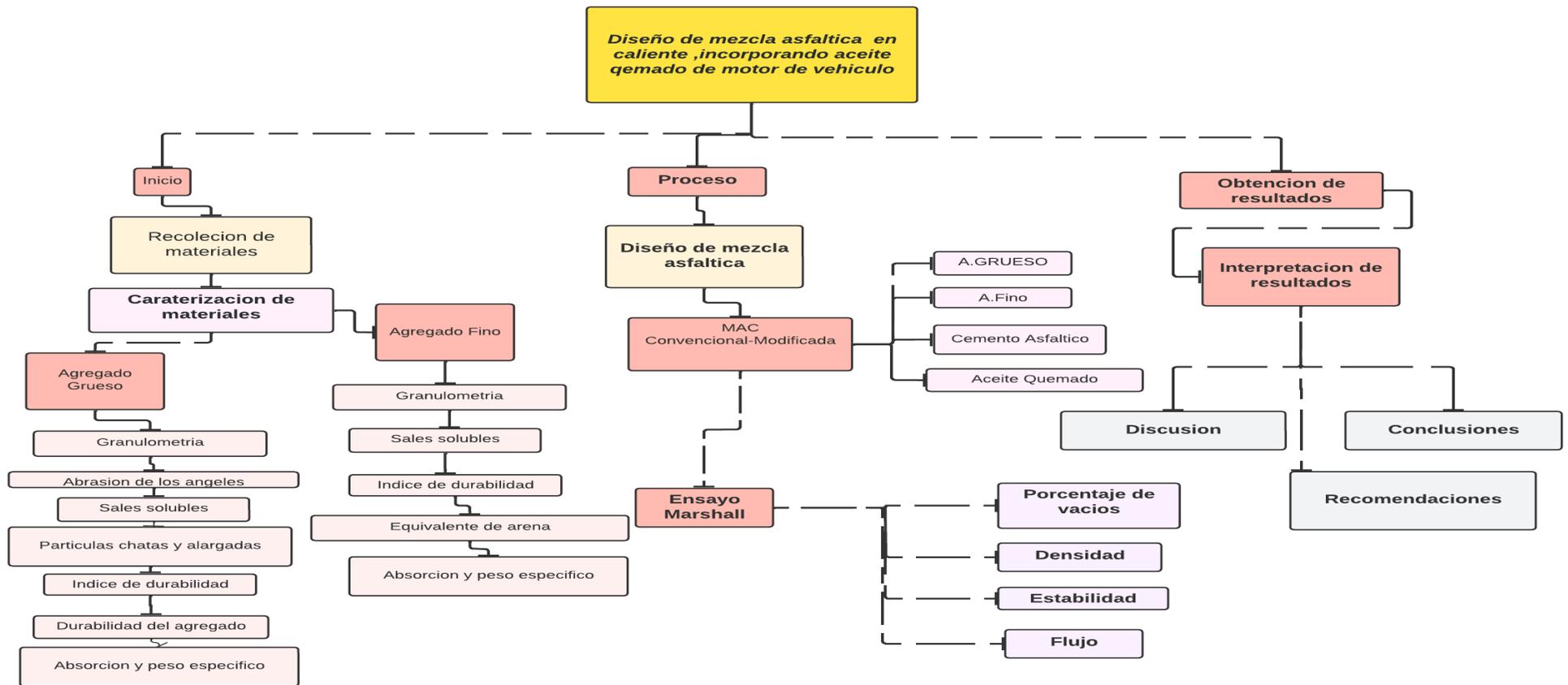
3.4.4. Confiabilidad del instrumento de recolección de datos

La confiabilidad se definirá mediante la determinación del Alfa de Cronbach. Como dijo BLOOR, Michael (2011), la confiabilidad es "el grado en que un estudio produce los mismos resultados cuando se replica" (pág. 30).

La presente investigación contrasta que los estudios se ejecutaron en el laboratorio de Materiales cerámicos de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT) con equipos calibrados, se adjuntan certificados de calibración en anexos número.

3.5.Procedimiento

Figura 7. Esquema del procedimiento de investigación



Fuente: elaboración propia

La presente investigación se desarrollará para ser aplicada en cualquier país tomando en cuenta los parámetros establecidos en las normas, para realizar el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de aceite quemado de motor de vehículo, para ello se adquirió materiales previamente seleccionados de la cantera SAN MARTIN ubicada en Chicama; además la muestra de aceite quemado se adquirió de la empresa NEXEN TIRE que está ubicado en la ciudad de Trujillo.

Granulometría La función principal de la granulometría es dividir las partículas en cada tamiz según su espesor del agregado y luego será pesado. Para esta muestra se ha utilizado un aproximado de 2kg de material para realizar el respectivo tamizado para ello se realizó el pesado de la muestra seca para luego ser lavado el material, a partir de esto se pone a secar en un horno de $110^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$ luego se apunta el material secado y luego se procede con el tamizado, y pesado con el respectivo material que se retuvo dentro de cada malla y luego se anotó los datos.

Ensayo Marshall Se realizó la distribución del material para las 27 briquetas a elaborar con un peso aproximado de 700 gr de material por briqueta entre agregado grueso, fino, cemento asfáltico y el aceite quemado de motor de vehículo para el diseño con la incorporación del residuo, luego se procedió a compactar todo el material a colocado en el recipiente para ser compactada con 75 golpes por ambos lados ya que el diseño está dirigido a un tránsito pesado, después de ello dejamos enfriar a temperatura ambiente, posteriormente se procede a retirar las briquetas del molde que dejamos en reposo 24 horas tal como lo indica la normativa, luego se procedió a introducir las briquetas de la mezcla convencional y las briquetas del nuevo diseño con aceite quemado de motor de vehículo en agua por un tiempo aproximado de 30 minutos, posterior a ello se procede con el pesaje por desplazamiento y al aire, después se colocaron las briquetas en la máquina de baño maría por el tiempo de 30 minutos a una temperatura de 60°C , una vez realizado el baño maría se coloca en reposo por un aproximado de 30 minutos para luego realizar la rotura de las mismas.

3.6. Método de análisis de datos

El método de análisis es un sistema de técnicas estadísticas y una manera de describir los diferentes resultados obtenidos lo cual nos permite representar los datos e ilustrarlos mediante tablas, imágenes y gráficos, y evaluar las estadísticas, de los distintos datos de probabilidad, para así obtener conclusiones significativas (Gabriela Arteaga, 2020).

Esta tesis, siendo de tipo experimental descriptiva se aplicará el análisis cuantitativo para la tabulación y análisis de datos y luego ser procesados y comparados con los resultados obtenidos en los ensayos.

3.7. Aspectos éticos

La presente investigación se caracteriza por la calidad ética de la investigación aplicando los principios éticos que establece la Universidad César Vallejo (UCV), determinar su confiabilidad, ya que la información recolectada para lograrlo ha sido debidamente citada de acuerdo a los manuales ISO 690 y 690-2 y similitudes obtenidas a través del procedimiento TURNITIN es menor al 24%. (Anexo 8).

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización de Agregados.

El desarrollo de la presente investigación, se recolectaron los materiales de la cantera San Martín, que se encuentra ubicada en el sector La Soledad, a la altura del Km. 585 de la Panamericana Norte, en el distrito de Chicama, provincia de Ascope, en La Libertad, así mismo el aceite quemado de motor de vehículo fue proporcionado por la empresa Nexen tire, ubicado en la Avenida Nicolás de Piérola en la ciudad de Trujillo. Los agregados fueron seleccionados y se acopiaron en sacos, de manera que las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Materiales Cerámicos de la Universidad Nacional de Trujillo, para realizar los estudios y así mismo se recolectó toda la información. Además, los materiales pasaron por un control de calidad, para posteriormente ser utilizada en el diseño MAC (mezcla asfáltica en caliente), cumpliendo los parámetros establecidos por la EG-2013.

4.1.1. Agregado Grueso

En el análisis granulométrico del agregado Grueso observaremos en cada uno de los tamices el agregado retenido, para determinar el tamaño máximo según parámetros estipulado en la norma.

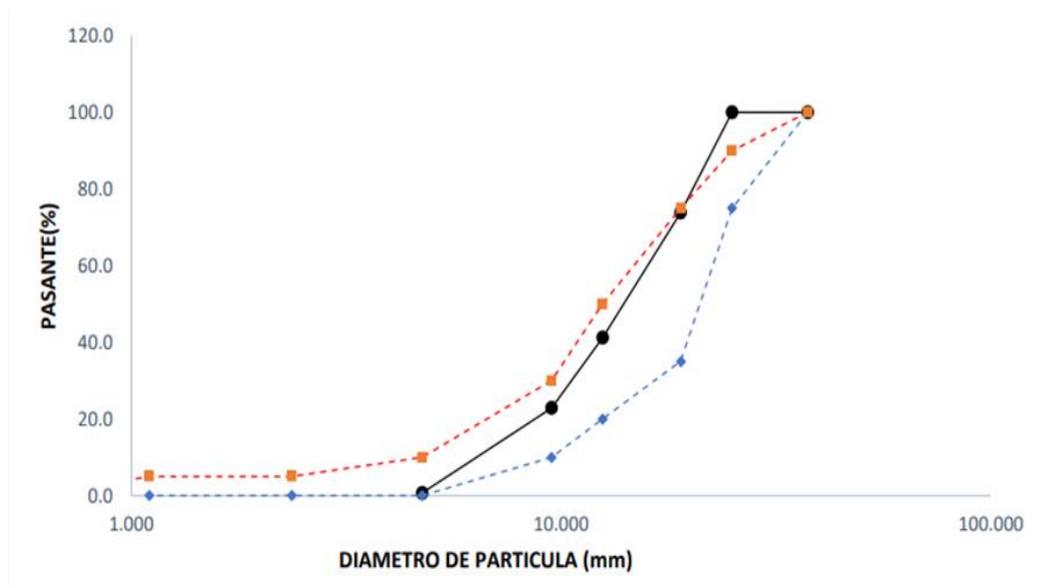


Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso

De la figura N°8 podemos apreciar la curva granulometría del agregado grueso está dentro de los límites máximos y mínimos cumpliendo con lo especificado en la ficha técnica.

Una vez determinado el ensayo granulométrico del agregado grueso, procedemos a determinar diversos ensayos como (Abrasión los ángeles, Partículas chatas y alargadas, Durabilidad al sulfato de magnesio, Absorción) según la norma EG-2013 donde especifica que deben estar dentro de los parámetros establecidos.

Tabla 15. *Características del agregado grueso.*

Ensayo	Normas	Resultados	Especificación	calificación
Abrasión los ángeles	MTC -E 207	26.90%	40%	Cumple
Adherencia	MTC -E 517	96	Mas de 95	Cumple
Índice de durabilidad	MTC -E 214	38.60%	35%Minimo	Cumple
Partículas chatas y alargadas	ASTM- 4791	1.12%	15% máximo	Cumple
Absorción	MTC -E 206	1.25%	1.00%minimo	Cumple
Partículas fracturadas	MTC-210	9.20%	100/90	cumple
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC- E 209	0.57%	12%maximo	Cumple
Sales solubles	NTP -39.152	0.57%	0.5%maximo	nc

Fuente: elaboración propia

Interpretación: En la tabla 11 podemos visualizar los diferentes ensayos realizados cumplen con la normativa de EG-2013, lo cual podemos deducir que el agregado fino está apto para utilizarlo en el método Marshall. Además, en el ensayo de sales solubles totales no cumple con la especificación por ello se recomienda que el material sea lavado o aplicar un aditivo para reducir las sales solubles.

4.1.2. Agregado Fino. Se realiza el mismo proceso del agregado grueso.

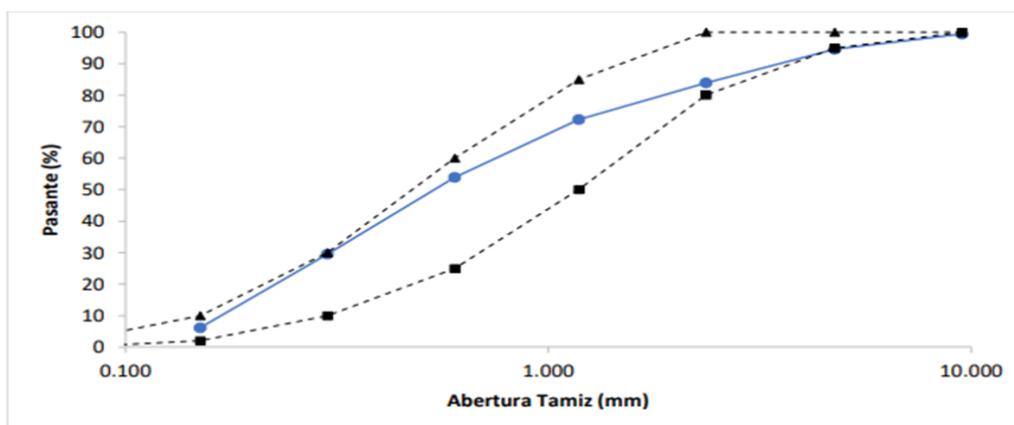


Figura 9. Curva Granulométrica del Agregado Fino

Interpretación: En la figura 8 de la curva granulométrica apreciamos que está dentro de los límites mínimos y máximos es por ello que se dice que la granulometría está bien dada.

Una vez obtenidos los resultados del ensayo de la granulometría, continuamos realizando los diversos ensayos como los que mostramos en la siguiente tabla y la especificación de la norma EG-2013.

Tabla 16. Características complementarias del Agregado Fino

Ensayo	Normas	Resultados	Especificación	calificación
Equivalente de arena	E-114 MTC	92.9	45 mínimo	cumple
Sales solubles totales	E -219 MTC	0.57	0.50% máximo	no cumple
Índice de durabilidad	E-214 MTC	94	35 mínimo	cumple
absorción	E-205 MTC	0.47	0.50%	cumple

Fuente: elaboración propia

Interpretación: En la tabla 13 podemos observar que los diferentes ensayos realizados cumplen según, la norma EG-2013, lo cual podemos deducir que el agregado fino está apto para utilizarlo en el método Marshall. Además, en el ensayo de sales solubles totales no cumple con

la especificación por ello se recomienda que el material sea lavado o aplicar un aditivo para reducir las sales solubles.

4.1.3. Cemento Asfáltico

Para determinar las especificaciones del ligante asfáltico se consideró la temperatura según zona de estudio, se ha usado asfalto de grado PEN 85/100, para ello se realizaron los ensayos de Ductilidad (Norma: ASTM D -113), Punto de inflamación (Norma: ASTM D-92) y Penetración (Norma: ASTM D5)

Tabla 17. Resultado de pruebas de Cemento Asfáltico

Características	Resultados de análisis	Calificación
Pruebas		
Penetración a 25° C, 100 gr. 5 seg. 0.1 mm	92	Cumple
Punto de Inflamación	270	Cumple
Ductilidad a 25° C, 5 cm/min, cm	>150	Cumple
Solubilidad en Tricloroetileno, % en masa	99.7	Cumple
Susceptibilidad Térmica	-0.6	Cumple

Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto

De acuerdo a la metodología Marshall para encontrar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico se diseñó 5 muestras con distintos contenidos de asfalto con un valor estimado a partir de 4.5% a 6.5% con un incremento del 0,5% de asfalto, para cada muestra que se elaboró.

4.1.5. Dosificación de las Muestras.

Para la dosificación de contenido de asfalto, se realizó mediante la combinación de los agregados grueso y fino, para determinar que

cumplan con las especificaciones de calidad a partir de la estabilidad y resistencia al flujo de las briquetas previamente elaboradas.

Tabla 18. *Dosificación de Cemento Asfáltico*

Descripción	Und	Cantidad				
		4.5	5	5.5	6	6.5
Asfalto (PEN 80-100)	%	4.5	5	5.5	6	6.5
P. P de briqueeta	gr	1200	1200	1200	1200	1200
P. Asfalto	gr	54	60	66	72	78
P. Grava	gr	515.7	513	510.3	507.06	504.09
P. Arena	gr	630.3	627	623.7	620.4	617.1

Fuente: elaboración propia

4.2. Método Marshall

Se realizó el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con agregados convencionales y con adición de aceite quemado motor de vehículos en diferente porcentaje de asfalto y a continuación se detalla.

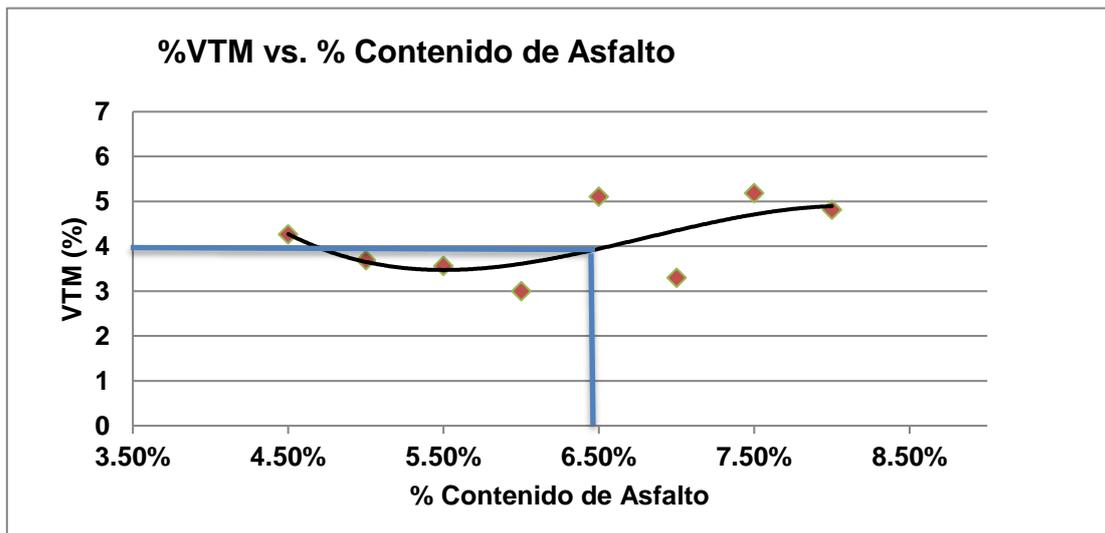


Figura 10. Vacíos de Aire vs. Contenido de Asfalto

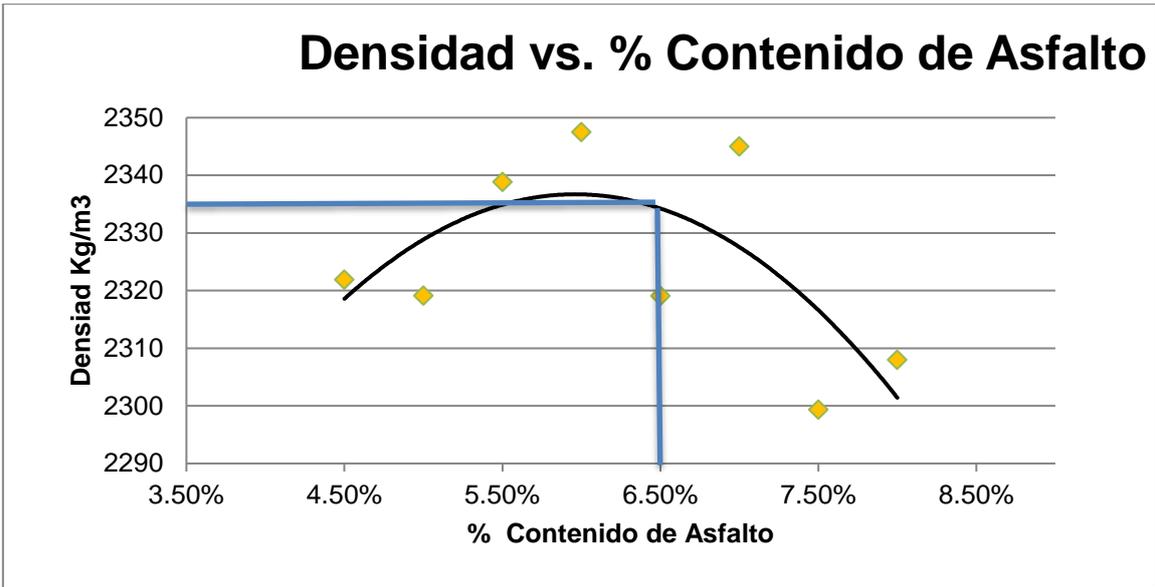


Figura 11. Densidad Bulk vs. Contenido de Asfalto

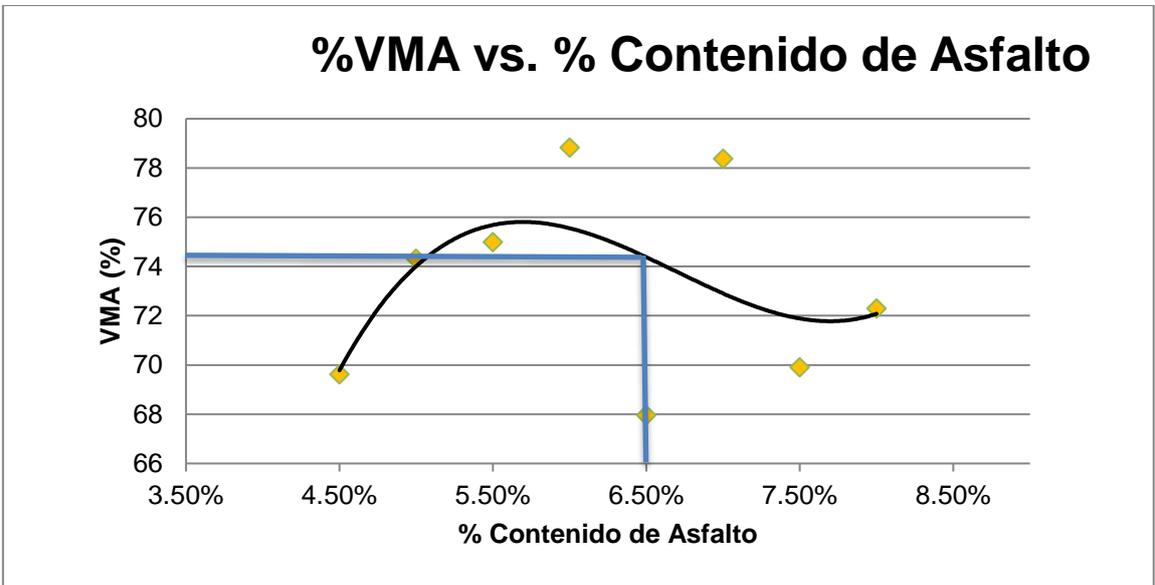


Figura 12. Vacíos Agregado Mineral vs. contenido de Asfalto

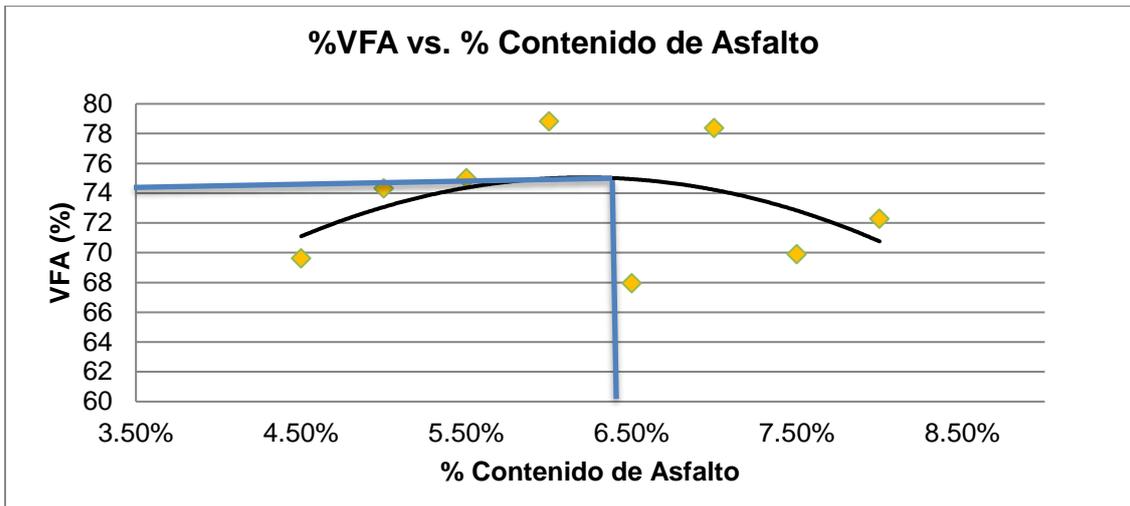


Figura 13. Vacíos llenos de Asfalto vs. Contenido de Asfalto

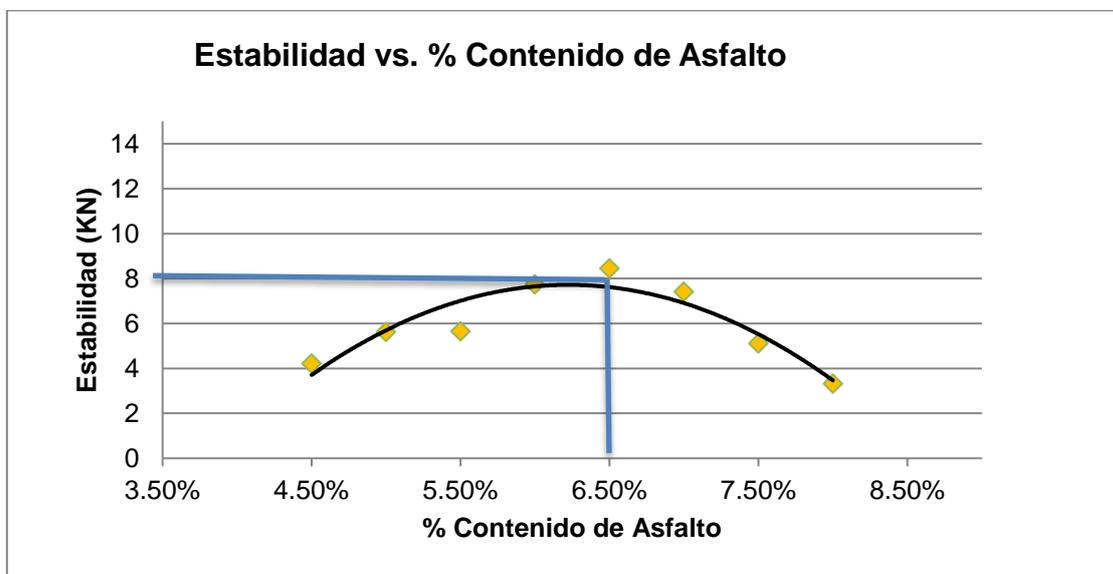


Figura 14. Estabilidad vs Contenido de Asfalto

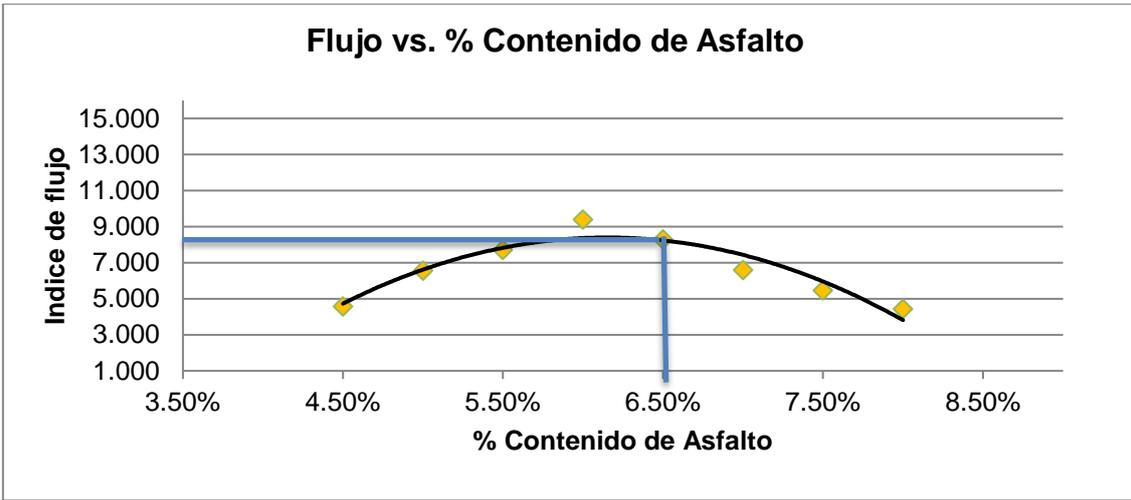


Figura 15. Flujo vs Contenido de Asfalto

4.2.1. Resultados de Estabilidad y Flujo Mezcla Convencional

Tabla 19. Resumen del diseño patrón de la mezcla asfáltica con cemento asfáltico.

N°	N° de briqueta	Und	R1	R2	R3	1A	2A	3A	1B	2B	3B	1C	2C	3C	1D	2D	3D
1	C.A en peso de la mezcla	%	4.5			5			5.5			6			6.5		
2	%Vacíos	%	4.26			3.69			3.56			3.00			3.81		
3	Diámetros briquetas	Cm	10.1	10.04	10.03	10.01	10.02	10.01	10.01	10.02	10.01	10.01	10.02	10.01	10.01	10.02	10.01
4	Altura de briqueta	Cm	6.73	6.82	6.82	6.39	6.95	6.75	6.46	6.75	6.48	6.58	6.42	6.87	6.75	6.78	6.68
5	Estabilidad	KN	4.85	3.11	5.94	6.11	5.112	6.05	7.19	5.181	5.844	7.56	7.904	7.736	8.57	8.627	8.473
6	Estabilidad promedio	KN	4.63			5.76			6.07			7.73			8.56		
7	Flujo	Mm	4.29	3.52	5.91	6.18	6.41	7.08	7.26	8.04	7.81	9.51	9.88	8.79	8.64	8.29	7.97
8	Flujo promedio	Mm	4.57			6.56			7.7			9.39			8.3		

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: En la tabla 18 presentamos los datos obtenidos de la mezcla asfáltica en caliente adicionando 5 porcentajes de ligante asfáltico PEN 85/100 de (4.5%- C.A, 5% C.A, 5.5% C.A, 6% C.A Y 6.5% C.A), de los cuales determinamos el porcentaje óptimo de ligante asfáltico con el que elaboraremos el diseño, asimismo obtenemos la estabilidad y flujo promedio de los ensayos.

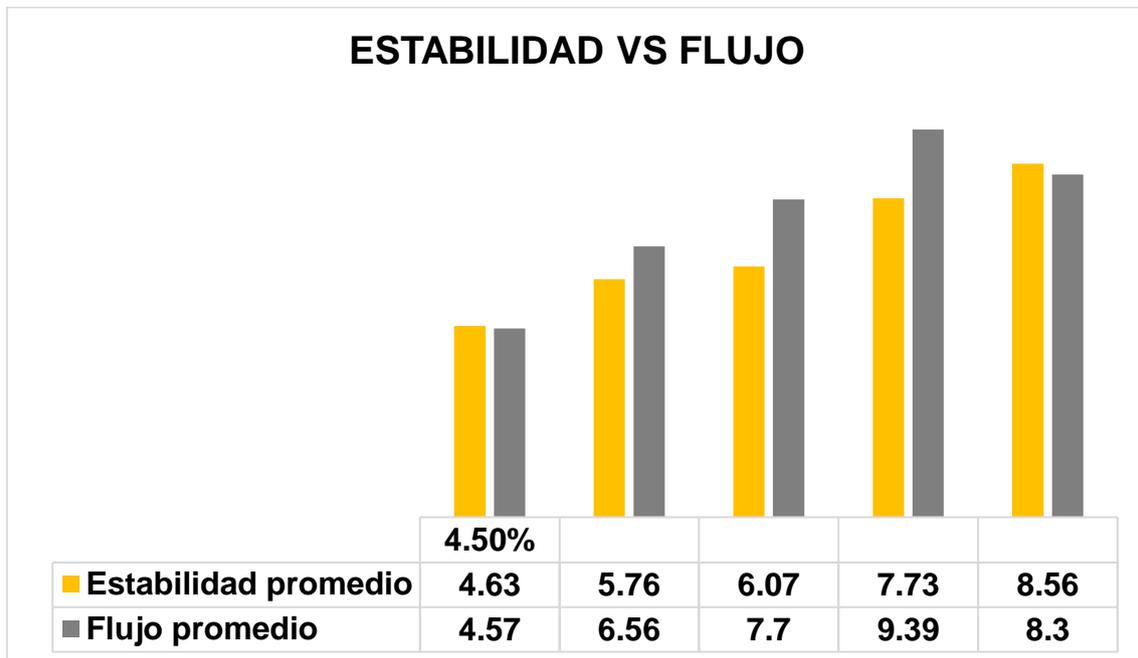


Figura 16. Comparación de estabilidad y flujo promedio de cemento asfáltico.

Interpretación. De tabla 18, apreciamos los diferentes resultados de estabilidad, flujo y el porcentaje de vacíos y en la figura N°17 podemos apreciar los resultados de estabilidad promedio con respecto al cemento asfáltico donde se determinara el porcentaje óptimo para el diseño de la MAC – modificada y el flujo promedio de los porcentajes de 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, y 6.5% donde se determinó que el porcentaje óptimo es de 6.5% de cemento asfáltico ya que se encuentra dentro de los rangos de estabilidad (8.15KN) y flujo (8-14) de la metodología Marshall E-504.

4.2.2. Resultados de Estabilidad y Flujo de la Mezcla Modificada

Tabla 20. Resumen del Diseño de la Mezcla Asfáltica más la Incorporación de Aceite Quemado.

N°	N° de briqueta	Und	1A	2A	3A	1B	2B	3B	1C	2C	3C	4D	4D	4D
1	Porcentaje de aceite quemado	%	1			2.5			4			7		
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.5			6.5			6.5			6.5		
3	% Vacíos	%	4.79			4.55			4.83			5.48		
4	Diámetros briqueta	Cm	10.1	10.04	10.03	10.01	10.02	10.01	10.01	10.02	10.01	10.01	10.02	10.01
5	Altura de briqueta	Cm	6.67	6.82	6.83	6.75	6.95	6.39	7.68	6.38	6.72	6.83	6.72	6.55
6	Estabilidad	KN	8.25	8.67	8.51	8.94	9.18	8.97	9.35	11.52	10.24	10.54	12.67	12.76
7	Estabilidad promedio	KN	8.48			9.03			10.37			11.99		
8	Flujo	Mm	11.6	11.94	11.79	11.12	11.27	11.08	10.71	9.28	9.54	9.28	8.64	8.67
9	Flujo promedio	Mm	11.77			11.16			9.84			8.86		

Fuente: elaboración propia

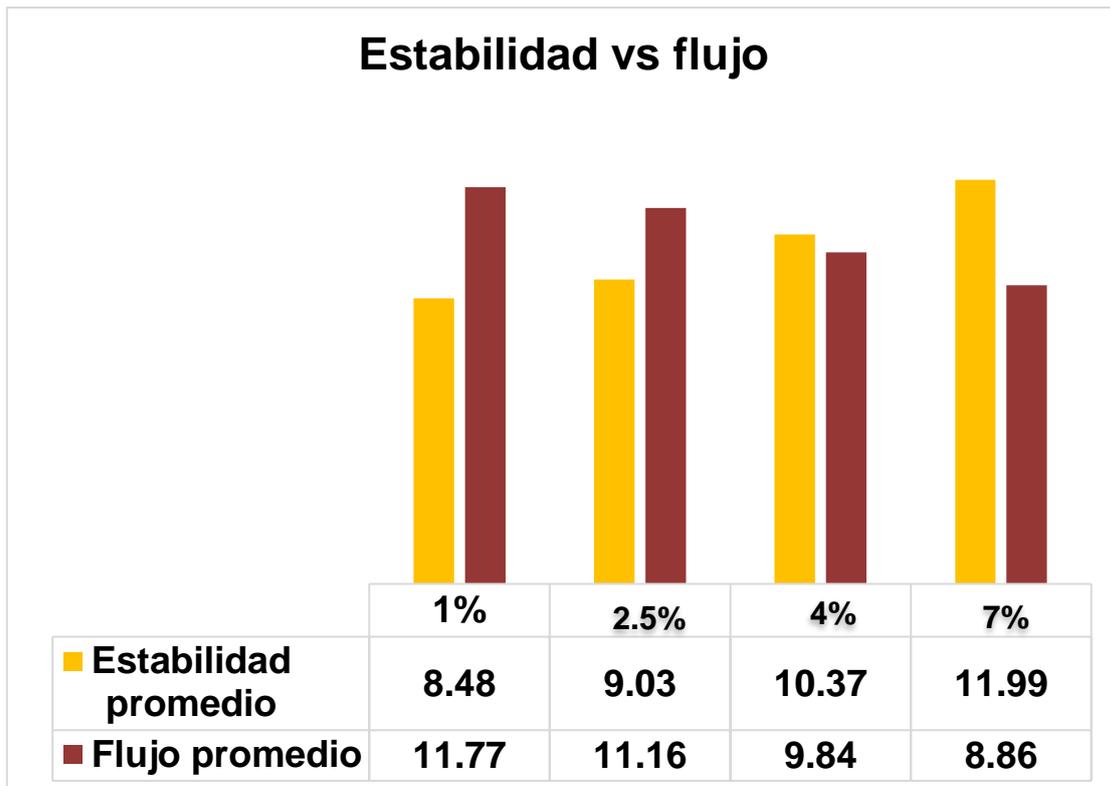


Figura 17. Estabilidad y flujo promedio de la mezcla modificada.

Interpretación: Como podemos apreciar en la tabla N°19 tenemos los datos obtenidos de las diversas evaluaciones realizadas a las briquetas las cuales se elaboraron con distintos porcentajes de aceite quemado de motor de vehículo incorporados a la MAC modificada (A, B, C y D) las cuáles cumplen según los rangos establecidos por la norma EG-2013 y la metodología Marshall donde nos indica que su estabilidad mínima debe ser de 8.15KN para un tránsito pesado y su flujo debe de estar dentro de 8 a 14, mediante nuestros resultados obtenidos y según la figura N°18 de estabilidad y flujo promedio tenemos: El grupo A de briquetas con la incorporación del 1% de aceite quemado de vehículos nos arroja un valor de estabilidad de 8.48KN y un flujo de 11.77 el cual cumple con los parámetros requeridos de la norma y la metodología Marshall, el grupo B de briquetas con una incorporación de 2.5% de aceite quemado de vehículos obtenemos un resultado de estabilidad de 9.03KN y su flujo promedio es de 11.16 este resultado también cumple con los parámetros establecidos ya que está por encima del mínimo, además tenemos el grupo C de briquetas con la incorporación de 4% de aceite quemado de vehículos en la cual se obtuvo el resultado de estabilidad de 10.37KN y su flujo de 9.84, y por último tenemos el

grupo D de briquetas con la adición de 7% de aceite quemado de vehículos donde la estabilidad tiene un valor de 11.99KN y su flujo es de 8.86 con ello verificamos que todos los porcentajes estudiados cumplen con los parámetros especificados en la norma EG-2013 y el método Marshall. Siguiendo con la exploración y haber obtenido los resultados de estabilidad de la muestra patrón y de los cuatro grupos de briquetas modificadas con la incorporación de aceite quemado de vehículo (A, B, C y D) procedemos a verificar la comparación de los resultados correspondientes que se han obtenido, asimismo recordemos que el diseño de la MAC fue elaborado con el 6.5% de cemento asfáltico PEN 85/100.

Tabla 21. Comparación de flujo y estabilidad de la muestra patrón y modificada

Parámetro de diseño	Und.	Diseño Patrón	Diseño con 1% de WEO	Diseño con 2.5% de WEO	Diseño con 4% de WEO	Diseño con 7% de WEO	Especificación EG-2013	Método Marshall
Golpes	N.º	75	75	75	75	75	75	75
Cemento Asfáltico	%	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5		
% vacíos	%	3.81	4.79	4.55	4.83	5.48	3-5	3-5
Estabilidad	KN	8.56	8.48	9.03	10.37	11.99	Min. 8.15	8
Flujo	Mm	8.3	11.77	11.16	9.84	8.86	8--14	8--14

Fuente: elaboración propia

Interpretación: Según la tabla N°20 los resultados obtenidos de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos de los diseños elaborados varían por la alteración que se realiza al incorporar los diferentes porcentajes como al adherir el 1 % de aceite quemado obtenemos una estabilidad de 8.48KN, y un flujo de 11.77mm, y el porcentaje de vacíos de 4.79%, en el segundo diseño al adicionar el 2.5% de aceite quemado se logra obtener una estabilidad de 9.03KN, y un flujo de 11.16mm, y el porcentaje de vacíos de 4.55%, en el tercer diseño con el 4% de aceite quemado obtenemos una estabilidad de 10.37KN y un flujo de 9.84mm, y el porcentaje de vacíos de 4.83 %, y al adicionar el 7% de aceite quemado de motor de vehículos nos da una estabilidad de 11.99KN y un flujo de 8.86mm, y el porcentaje de vacíos de 5.48%, Analizando los resultados que se han obtenido de los diferentes porcentajes investigados podemos afirmar que los diseños de

mezcla asfáltica en caliente con 1%, 2.5%,4% y 7% de aceite quemado de motor de vehículos cumple con los parámetros requeridos por metodología Marshal y la norma EG-2013, se determinó que el porcentaje óptimo de incorporación de aceite quemado de vehículo es del 4% ya que conserva las propiedades de estabilidad y flujo, además cumple con las especificaciones de la norma EG-2013 y la metodología Marshall.

V. DISCUSIÓN

- La caracterización de los materiales utilizados para el diseño de la mezcla asfáltica como los agregados, cemento asfáltico y el aceite quemado de motor de vehículos se realizaron los ensayos correspondientes con la finalidad de determinar si estos están aptos para su utilización, en cuanto al ensayo realizado de resistencia a la abrasión de los ángeles donde se obtuvo un valor promedio de 26.9% el cual cumple con la especificación que exige un 40% como máximo según la norma EG-2013. Esto se valida con la investigación de Mozos, Mozos y Gómez (2018) donde ellos ratifican que el valor adecuado para tener un pavimento en buen estado debe estar en los rangos de 25% a 38%.
- Para realizar las pruebas mediante el ensayo Marshall se elaboraron 2 grupos de briquetas, en el primer grupo se consideraron las briquetas de la muestra patrón para determinar el cemento asfáltico óptimo y en el segundo grupo las briquetas con la incorporación de aceite quemado de motor de vehículo (1%, 2.5%, 4% y 7%). El resultado de estabilidad de la muestra patrón se obtuvo 8.56kn y en la muestra modificada (R1+ el 1% de aceite quemado de motor de vehículo) se obtuvo como resultado de 8.48kN, donde se determinó que hay una variación de 0.08kN con respecto a la muestra patrón se concluye que al añadir el 1% de aceite quemado la estabilidad del diseño A disminuye, (R1+ el 2.5% de aceite quemado de motor de vehículo) se obtuvo como resultado de 9.03KN, donde se determinó que hay una variación de 0.5kn con respecto a la muestra patrón se concluye que la estabilidad del diseño B aumenta, (R1+ el 4% de aceite quemado de motor de vehículo) se obtuvo como resultado de 10.37KN donde se determinó que hay una variación de 1.81kn con respecto a la muestra patrón se concluye que la estabilidad del diseño C aumenta, (R1+ el 7% de aceite quemado de motor de vehículo) se obtuvo como resultado de 11.99kN donde se determinó que hay una variación de 3.43kn, de lo expuesto se evidencia que el porcentaje óptimo de aceite quemado de motor de vehículo para su utilización en mezclas asfálticas corresponde a 4%. Esto se valida con Montealegre, Varón y Ramos (2018) que manifiestan que con la incorporación del 3% de aceite quemado de vehículo es muy favorable dado que no presenta diferencias en

sus propiedades además cumple con los requerimientos que establece la norma EG-2013.

- Los resultados obtenidos de flujo, en la muestra patrón se obtuvo un resultado de 8.3mm y muestra modificada en los porcentajes de 1%, 2.5%, 4% y 7%. En la muestra modificada (R1+ el 1% de aceite quemado de motor de vehículo) se obtuvo como resultado de 11.77, en donde se determinó una variación de 3.47mm con respecto a la muestra patrón se concluye que al añadir el 1% de aceite quemado el flujo del diseño A aumenta; (R1+ el 2.5% de aceite quemado de motor de vehículo) se obtuvo como resultado de 11.16mm donde se determinó que hay una variación de 2.86mm con respecto a la muestra patrón se concluye que la estabilidad del diseño B aumenta; (R1+ el 4% de aceite quemado de motor de vehículo) se obtuvo como resultado de 9.84mm donde se determinó que hay una variación de 1.54 con respecto a la muestra patrón se concluye que la estabilidad del diseño C aumenta; (R1+ el 7% de aceite quemado de motor de vehículo) se obtuvo como resultado de 8.86mm donde se determinó que hay una variación de 0.56mm, de lo expuesto se evidencia que al incorporar un porcentaje mayor de aceite quemado de motor de vehículo el flujo disminuye ante ello consideramos que el porcentaje óptimo para la mezcla asfáltica es de 4% ya que no encontramos mucha variación con respecto a la muestra patrón.

VI. CONCLUSIONES:

- Se realizó la caracterización de los agregados grueso y fino donde también se hizo la dosificación de los mismos, los datos obtenidos mediante los ensayos como que se realizaron cumplieron con todos los parámetros exigidos en la EG-2013.
- La determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico PEN 85/100 a utilizar en nuestro diseño de mezcla en caliente se obtuvo mediante la elaboración 5 grupos de briquetas, cada grupo con distintos porcentajes de cemento asfáltico de los cuales se obtuvo como porcentaje óptimo de 6.5% el mismo que también tuvo que cumplir con parámetros exigidos por norma.
- En función a los resultados obtenidos de estabilidad se evidencia que en el porcentaje de 4% de aceite quemado hay una variación de 1.81KN y en el resultado de flujo una variación de 1.54mm en comparación a la muestra patrón. Tal y como lo hemos podido comprobar en el ensayo Marshall los datos obtenidos de estabilidad y flujo de la mezcla modificada que al incorporar 4% de aceite quemado de vehículo la estabilidad es de 10.37KN y el flujo de 9.84mm y el porcentaje de vacíos de 4.83% es por ello que se considera óptimo para su utilización dado que cumplen con la norma EG-2013.
- De acuerdo con nuestros datos obtenidos de los ensayos realizados concluimos que el porcentaje óptimo de aceite quemado de motor de vehículo para su incorporación en mezclas asfálticas en caliente es de un 4% ya que mantiene sus propiedades, en comparación a una mezcla convencional, por otro lado, cumplen con lo establecido por la norma EG-2013.

VII. RECOMENDACIONES:

- Se recomienda antes de hacer el diseño de una mezcla asfáltica en caliente se realicen los respectivos ensayos a los agregados verificando que estos cumplan con todas las normativas ASTM, AASHTO y los resultados obtenidos estén dentro de los parámetros que nos indican la norma, para determinar que los agregados están en condiciones óptimas para el diseño de una mezcla asfáltica en caliente.
- La incorporación de aceite quemado de motor de vehículos en la MAC desde el punto económico se analiza que sería un poco más elevada que la mezcla convencional, pero desde el punto ambiental es favorable y se recomienda su reutilización, dado que se daría un uso apropiado y así reduciríamos la contaminación que genera este residuo.
- De la investigación realizada se recomienda que se haga más investigaciones con respecto a la incorporación de WEO y así poder tener más resultados más favorables a futuro y esto pueda ser aplicadas a nivel nacional y en el mundo.

REFERENCIAS

AUTOMOTRIZ, blog de mecanica. [En línea]. *Ventajas y desventajas del aceite sintético*. 2020.

Autocosmos. 2011. [En línea] 2011. <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2011/11/11/que-pasaria-si-nunca-le-cambio-el-aceite-a-mi-auto>.

ALBORNOZ, Yucely. Manual de Prácticas de Laboratorio de Pavimento. cemento asfáltico parte II. [En línea] . 2014. pp. 37-44. Disponible en: <https://docplayer.es/83470874-Cemento-asfaltico-parte-ii-cemento-asfaltico-laboratorio-tutor-gioconda-g-de-celis-tesista-yucely-albornoz.html>.

ACEVEDO, Irene, Scielo.Aspectos Eticos en la Investigacion Cientifica. Ciencia y enfermería . en línea. junio 2002. vol. 8, núm. 1, págs. 15-18. [Accedido el 5 de junio de 2022].

BAUTISTA, Monica.. Caracteristicas del Asfalto en el comportamiento de mezclas asfálticas mdc-2 del invias. [En línea] 2012. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/3287>.

BLANCO, Farid, y Montañez Juan. Análisis del comportamiento físico – en mezclas asfálticas mdc-19 modificado con sodio y glucosa.2017

Behar, Daniel. 2008. Google Academic. [En línea] 2008. <http://www.rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>.

CABREJOS, Jehimy y Murga Jeery. Estabilización de afirmados con residuos de lubricantes vehicular en el camino rural del Centro Poblado de Cambio Puente – Chimbote. (título de ingeniero civil). Nuevo Chimbote. Universidad Nacional del Santa, 2021. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3659>.

CÁRDENAS, Diana.Evaluación de la resistencia mecánica de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con aceites lubricantes usados.Tesis (Magister en Ingeniería Ambiental). Colombia. [En línea] 2017. [Citadoel: 23 de abril de 2022.] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60083>.

CUTTI, Edgar. Aceites vegetales para reducción de temperatura de mezcla y su efecto en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas tibias para el diseño de la Av. Leoncio Prado Chilca - Huancayo 2019. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancayo. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6968/T010_4559_2399_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GALLEGO, Pedro y Campañoli, Sandra. 2017. SCIELO. Efecto del aceite quemado de motor sobre las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas que contienen RAP. [En línea] Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería . Núm. 109, pp. 13-20. 2017. <https://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci/article/view/34/30>.

GARNICA, Paul, “*et al.*”,.Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. Publicación técnica . en línea. 2005. No. 267. Instituto Mexicano del Transporte, 2005. 267. <https://trid.trb.org/view/1094813>

GÓMEZ, Jaison, Mosos, Ariel y Mosos, Carlos . Estudio de asfaltos y mezclas asfálticas modificadas con aceite residual de motor. Tesis (Título De Especialista en Ingeniería de Pavimentos). Bogotá. Universidad Católica de Colombia. 2018. Disponible en <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22533>

GONZÁLEZ, Duhamel, Melo, Oscar y Rodríguez, Jhon. 2019. . Comportamiento de mezclas asfálticas con pavimento reciclado y aceite usado de motor como rejuvenecedor. Tesis (Título de Ingeniero Civil). IBAGUE. Universidad Cooperativa de Colombia, 2019. p.35. [citado el 24 de abril 2022]. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/8329>.

LANDRENEAU, Kandace. Sampling strategies - California, 2019.

LÓPEZ , Raúl, “*et al.*”, Scielo , 2019. Validación de instrumentos como garantía de la credibilidad en las investigaciones científicas. Revista Cubana de Medicina Militar . en línea. 2019. vol. 48.

LUIS, Pedro. 2004. POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO .Scielo, Punto Cero [En línea]. 2004. vol. 09, núm. 08, págs. 69-74. Disponible en

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es

MARTÍNEZ, Carlos. Efectos de la adición de aceite usado de motor en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Ecuador. Universidad Técnica de Ambato, 2021. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33093>.

MONTEALEGRE, Fave, Gabriel, Varon y Ramos, Leidy. Impacto del aceite quemado de motor en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas que contienen pavimento asfáltico recuperado rap. Tesis (Título De Ingenieros Civiles). IBAGUE. Universidad Cooperativa De Colombia, 2018.p.16. Disponible en <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/6189>.

MANUAL DE CARRETERAS. Tomo-I. Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción (EG-2013) R.D. N° 22-2013 – MTC (Edición – Marzo de 2014).

NIÑO, Víctor. 2011. Google Academic. [En línea] 2011. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55118936/METODOLOGIA_DE_LA_INVESTIGACION_DISENO_Y_EJECUCION-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1624069937&Signature=f24nrZGQZinMwNxWuRpEe2gdjEmIEQP0WHWvnRdCfBO3RySHCswAUmIR3I~oY~NETeHBzErjo9HLRoA4156ua1p94QxmEAVPrq1z4ttyc.

ORTEGA, Wernher. Aceite quemado de vehículos para el mantenimiento de sus características mecánicas de mezclas asfálticas en caliente exhibido a tránsito prolongado en climas con bajas temperaturas, Huancayo 2020. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancayo. Universidad Continental, 202.p18.

PADILLA, Alejandro. Mezclas asfálticas. 2004. Vol. Cap.3. 2004, pp.39-64 [En línea]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14&isAllowed=y>.

TUFINO, Diana. Variación de resistencias vs. Edades y relación a/c con cemento Portland tipo I (sol). Universidad Ricardo Palma . en línea. 2010.

RAMÍREZ. Optimización de las mezclas asfálticas en frío utilizando Asfalto Liquido MC-30 y agregados de las canteras san Martín y Cerro Campana, Trujillo – La Libertad. Cientifi-k. en línea. 30 de junio de 2015. Vol. 3, núm. 1, págs. 77-84.

ANEXOS

Anexo N°3 : Matriz de operacionalización de variables

Tabla 22. Matriz de operacionalización de variable.

VARIABLE	DEF. CONCEPTUAL	DEF. OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE Aceite quemado de vehículos.	Aceite quemado de automóvil tipo SAE30 (15W30), uno de los dos aceites de mayor empleo en el departamento del Tolima. Los parámetros (densidad, gravedad API, viscosidad cinemática a 20 °C, contenido de cenizas sulfatadas, humedad, sólidos y punto de inflamación (gallego y Campañoli, 2018).	El aceite quemado de motor de vehículos comprende con la reutilización de dichos residuos para ello se evalúa sus características.	Porcentajes	1% aceite quemado	Intervalo
				2.5% aceite quemado	Intervalo
				4% aceite quemado	Intervalo
				7% aceite quemado	Intervalo
VARIABLE DEPENDIENTE Diseño de mezcla asfáltica en caliente	El asfalto modificado es una técnica usada en varios países con el fin de aprovechar los asfaltos en la pavimentación de vías, aspecto que se genera con la adición de polímeros a los asfaltos convencionales para mejorar sus características mecánicas; es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular); incrementando su adherencia a la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aún en presencia del agua.(Gamboa,2012)	las propiedades físicas y mecánicas tienden a medirse dependiendo a los materiales utilizados en las mezclas asfálticas.	Caracterización de los materiales.	Propiedades de los materiales	Razón
			Determinación de la dosificación de mezclado.	Porcentajes de los agregados (aceite quemado, cemento asfáltico, agregado fino y grueso).	Razón
			Evaluación del diseño de mezcla	Ensayo Marshall	Razón

Tabla 23. Matriz de consistencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES			TIPO DE INV.	DISEÑO DE INV.
			VARIABLE(S)	DIMENSIONES	INDICADORES		
¿Como influye la incorporación de aceite quemado de vehículos en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente?	La adición del aceite quemado de motor de vehículo modifica las propiedades mecánicas y físicas de la mezcla asfáltica en caliente, según la norma EG 2013 y por el método Marshall.	GENERAL	Aceite quemado de vehículos (independiente)	Porcentajes de aceite quemado	1% aceite quemado 2.5% aceite quemado 4% aceite quemado 7% aceite quemado	Explicativo - Experimental	Experimental
		Diseñar la mezcla asfáltica en caliente incorporando diferentes porcentajes de aceite quemado de vehículos.					
		ESPECÍFICOS	Diseño de una mezcla asfáltica en caliente (dependiente)	Caracterización de los materiales	Propiedades de los materiales		
		O.E.1. Determinar la caracterización de los materiales a utilizar para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con aceite quemado. O.E.2 Realizar el diseño de mezcla asfáltica modificada con porcentajes de 1%, 2.5%, 4% y 7%. O.E.3 Evaluar la estabilidad, flujo y densidad obtenidos mediante el ensayo Marshall. O.E.4 Determinar el porcentaje óptimo de aceite quemado para la conservación de las propiedades mecánicas y físicas de la mezcla asfáltica en caliente.					
Evaluación del diseño de mezcla	Ensayo Marshall (estabilidad, flujo y densidad)						

Anexo N°4 Validez y confiabilidad de instrumentos de recolección de datos

Anexo N°4.1. Matriz de evaluación de expertos para: Guía de observación N°01

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	Diseño de mezcla asfáltica en caliente incorporando aceite quemado de motor de vehículo, Trujillo			
Línea de investigación:	Diseño de Infraestructura Vial			
Apellidos y nombres del experto:	ING. Orbegoso Alayo, Jhilson Darlin			
El instrumento de medición pertenece a la variable:	Influencia del aceite quemado de vehículos			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		

Firma del experto:



JHILSON DARLIN
ORBEGOSO ALAYO
 Ingeniero Civil
 CIP N° 257748

Anexo 4.2: Matriz de evaluación de expertos para: Guía de observación N°02

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	Diseño de mezcla asfáltica en caliente incorporando aceite quemado de motor de vehículo, Trujillo
Línea de investigación:	Diseño de Infraestructura Vial
Apellidos y nombres del experto:	ING. Ruiz Méndez, Marlon Alexander
El instrumento de medición pertenece a la variable:	Influencia del aceite quemado de vehículos

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		

Firma del experto:



MARLON ALEXANDER RUIZ MÉNDEZ
ING. CIVIL
CIP. 60726

Anexo N°5 Ensayos de Caracterización del agregado

5.1. Análisis Granulométrico - Agregado Grueso

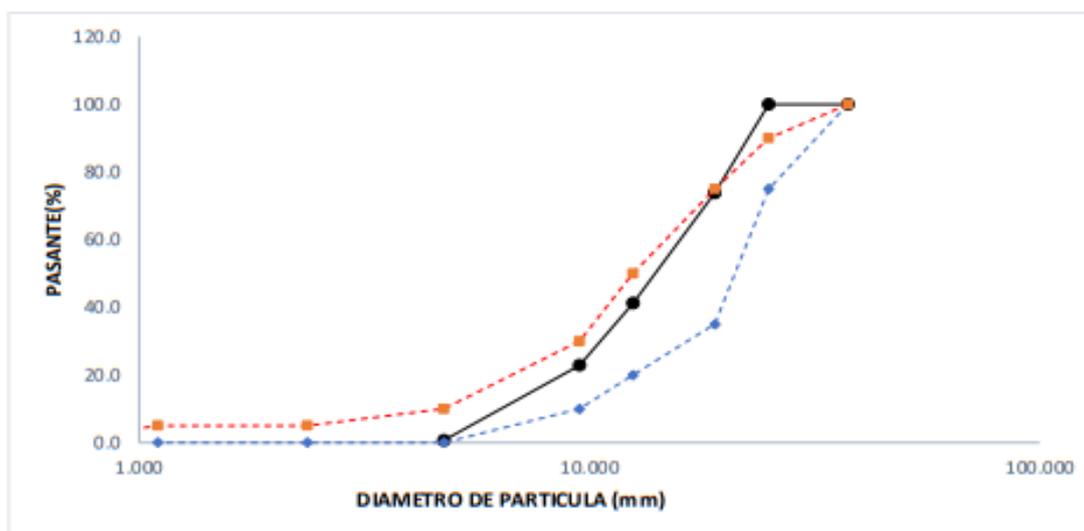


UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Materiales Cerámicos

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C 136	
PROYECTO	PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN

TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO TAMIZ (g.)	TAMIZ + MUESTRA (g.)	PESO RETENIDO (g.)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)			
						RETENIDO	PASANTE	L. Inferior	L. Superior
1 1/2"	37.500	205.4	205.40	0.00	0.00	0.0	100.0	100	100
1"	25.000	175.05	175.05	0.00	0.00	0.0	100.0	75	90
3/4"	19.000	171.01	685.45	514.44	26.19	26.2	73.8	35	75
1/2"	12.500	204.83	846.21	641.38	32.65	58.8	41.2	20	50
3/8"	9.500	186.32	545.95	359.63	18.31	77.1	22.9	10	30
Nº4	4.750	189.87	625.45	435.58	22.17	99.3	0.7	0	10
Nº8	2.360	177.56	190.98	13.42	0.68	100.0	0.0	0	5
Nº16	1.100	128.21	128.21	0.00	0.00	100.0	0.0	0	5
Nº30	0.600	124.67	124.67	0.00	0.00	100.0	0.0	0	0
Nº50	0.297	123.66	123.66	0.00	0.00	100.0	0.0	0	0
Nº100	0.149	115.14	115.14	0.00	0.00	100.0	0.0	0	0
Nº200	0.075	247.01	247.01	0.00	0.00	100.0	0.0		
FONDO	Fondo	218.84	218.84	0.00	0.00	100.0	0.0		
PESO TOTAL				1964.45	100	T.M.	1"		
						T.M.N.	3/4"		



Jorge Alejandro Escobedo Velásquez
ING. DE MATERIALES
E.C.P. N° 197384

5.1.1. Análisis Granulométrico -Tabla Resumen Agregado Resumen



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C 136	
PROYECTO	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHÍCULO, TRUJILLO
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN

Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa		
		Muestra	L. Inferior	L. Superior
1 1/2"	37.500	100.0	100	100
1"	25.000	100.0	75	90
3/4"	19.000	73.8	35	75
1/2"	12.500	41.2	20	50
3/8"	9.500	22.9	10	30
Nº4	4.750	0.7	0	10
Nº8	2.360	0.0	0	5
Nº16	1.100	0.0	0	5
Nº30	0.600	0.0	0	0
Nº50	0.297	0.0	0	0
Nº100	0.149	0.0	0	0
Nº200	0.075	0.0	-	-
Fondo	-	0.0	-	-

5.2. Determinación De Partículas Chatas Y Alargadas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Materiales Cerámicos

DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS ASTM D 4791	
PROYECTO	PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN SAC

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			PARTÍCULAS CHATAS		PARTÍCULAS ALARGADAS		PARTÍCULAS CHATAS y ALARGADAS		PARTÍCULAS NI CHATAS, NI ALARGADAS	
TAMIZ	Abertura	PESO (A) (g)	RETIENE (C) (%)	PASA (%)	PESO (E) (g)	(%)	PESO (F) (g)	(%)	PESO (G) (g)	(%)	PESO (H) (g)	(%)
(µg)	(mm)											
3 "	76.200											
2 "	50.800											
1 1/2 "	38.100											
1 "	25.400			100.00								
3 / 4 "	19.050	3439.0	1.30	98.70	75.48	0.62	54.15	0.44	43.40	0.35	3263.38	26.66
1 / 2 "	12.700	4929.5	39.20	59.60	68.40	0.56	58.20	0.48	50.11	0.41	4762.26	38.90
3 / 8 "	8.750	3874.5	32.20	27.14	70.94	0.58	75.00	0.61	43.05	0.35	3673.90	30.01
1 / 4 "	6.350	4174.9	30.70	9.31								
Nº 04	4.750	1351.6	28.80	0.34								
Peso Total de la Muestra (B)		17 769.4										
Peso de la Muestra de Ensayo (D) (Retenido 3/8")		12 243.0										

RESULTADOS (Promedio Ponderado)

PARTÍCULAS CHATAS	1.75 %
PARTÍCULAS ALARGADAS	1.53 %
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	1.12 %



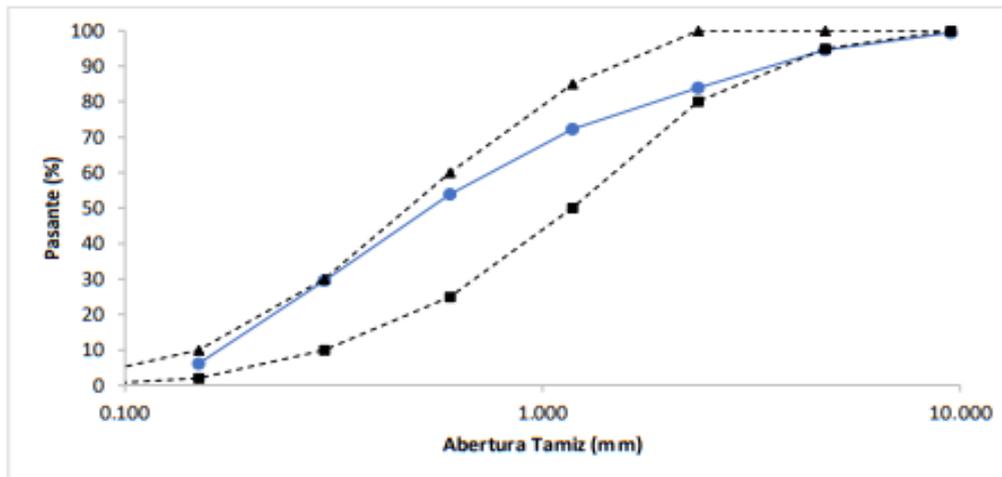
Jorge Alejandro Barrios Vilandino
ING. DE MATERIALES
E. CIP. N° 197384

5.3. Análisis Granulométrico - Agregado Fino



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO FINO NORMA ASTM C 136	
PROYECTO	PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN SAC

TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO TAMIZ (g.)	TAMIZ + MUESTRA (g.)	PESO RETENIDO (g.)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	
						RETENIDO	PASANTE
3/8"	9.500	186.32	190.13	3.81	1	1	99
Nº4	4.750	189.87	221.48	31.61	5	5	95
Nº8	2.360	177.56	248.15	70.59	11	16	84
Nº16	1.180	128.21	204.08	75.87	12	28	72
Nº30	0.600	124.67	245.15	120.48	18	46	54
Nº50	0.300	123.66	284.00	160.34	24	70	30
Nº100	0.150	115.14	268.45	153.31	23	94	6
Nº200	0.075	247.01	284.45	37.44	6	100	0
FONDO		218.84	221.75	2.91	0	100	0
PESO TOTAL				656.36		100	
				M. FINURA		2.67	



Jorge Alejandro Benavides Vilanova
ING. DE MATERIALES
E.C.P. N° 197384

5.3.1. Análisis Granulométrico -Tabla Resumen Agregado Fino.



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO FINO NORMA ASTM C 136	
PROYECTO	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHÍCULO, TRUJILLO
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN SAC

Tamiz	Abertura(mm)	Porcentaje Pasante		
		Muestra	L. Inferior	L. Superior
3/8"	9.5	0	0	0
N°4	4.75	6	1	5
N°8	2.36	30	5	25
N°16	1.18	54	25	65
N°30	0.6	72	55	75
N°50	0.3	84	75	94
N°100	0.15	95	94	100
N°200	0.075	99	100	100

5.4. Determinación de Equivalente De Arena.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Materiales Cerámicos

MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D-2419 AASHTO T176-00)

PROYECTO	:	PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE	:	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNÁ, MILER IVANER
CANTERA	:	SAN MARTIN - CHICAMA
MUESTRA	:	AGREGADO FINO

Muestra	1	2	3
Inicio	12:30	10:45	10:55
Termino	01:30	11:15	11:25
Tiempo de reposo	20 min	20 min	20 min
Lectura de finos	8.0	8.0	8.0
Lectura de arena	7.4	7.5	7.4
Eq. Arena (%)	92.5	93.8	92.5
Eq. Arena (%)		92.9	



Jorge Alejandro Bustillos Villacura
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384

5.5. Determinación de Sales Solubles



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Materiales Cerámicos

DETERMINACION DE SALES SOLUBLES EN SUELOS MTC E 219	
PROYECTO	PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN SAC

N°	Muestra	1	2	2
1	Nivel R + solución	50ml	50ml	50ml
2	Peso R + solución	68.91	69.84	68.41
3	Peso R + sal Resi	32.54	30.45	30.45
4	Peso de R	32.3	30.2	30.2
5	Peso residual	0.200	0.230	0.230
6	Peso agua evap	36.4	40.2	38.9
7	Sales solubles (%)	0.55	0.57	0.59
8	Promedio (%)		0.57	



Jorge Alejandro Barrios Vilarzeta
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384

5.6. Porcentaje de Caras Fracturadas



PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS ASTM D 5821	
PROYECTO	PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN SAC

Con Una Cara de Fractura

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa	Retenido	(g)	(g)	$\{(B / A) \cdot 100\}$	(%)	(C x D)
2"	1 / 1/2"					
1 / 1/2"	1"					
1"	3 / 4 "	1500	241.0	0.16	27.20	4.37
3 / 4 "	1/2"	1200	145.0	0.12	35.90	4.34
1/2"	3 / 8"	300	54.0	0.18	36.90	6.64
Total		3000	440.0	0.46	100.00	15.35

Porcentaje de Partículas con una Cara Fracturada (Total E / Total D) 15.4%

Con Dos Caras de Fractura

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa	Retenido	(g)	(g)	$\{(B / A) \cdot 100\}$	(%)	(C x D)
2"	1 / 1/2"					
1 / 1/2"	1"					
1"	3 / 4 "	1500	325.0	0.22	27.20	5.89
3 / 4 "	1/2"	1200	48.0	0.04	35.90	1.44
1/2"	3 / 8"	300	15.0	0.05	36.90	1.85
Total		5000	2587.5	0.31	100.00	9.17

Porcentaje de Partículas con dos o mas Caras de Fractura (Total E / Total D) 9.2%



Jorge Alejandro Barrios Vitaruena
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197354

5.7. Desgaste Abrasivo de los Ángulos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Materiales Cerámicos

DESGASTE ABRASIVO DE LOS ANGELES ASTM C 131	
PROYECTO	PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN SAC

PRUEBAS	1
GRADACIÓN USADA	B
No. ESFERAS	11
No. REVOLUCIONES	500
Pa = PESO MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO, G.M.S	5,000
Pb = PESO MUESTRA SECA DESPUES DEL ENSAYO Y DESPUES DE LAVAR SOBRE TAMIZ No. 12	3,654
Pa - Pb = PERDIDA	1,346
% DESGASTE = $\frac{Pa - Pb}{Pa} \times 100$	26.9%
ESPECIFICACIÓN : MENOR DE	40%

CUMPLE SI NO

TAMANOS ISO Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA, G.M.S.		A	B	C	D	E	F	G
PASA	RETENIDO							
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	# 3			2500				
# 3	# 4			2500				
# 4	# 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
No. DE REVOLUCIONES		500	500	500	500	1000	1000	1000



Jorge Alejandro Barrios Vilaverde
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384

5.8. Durabilidad De Agregados ATM-C88



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Materiales Cerámicos

DURABILIDAD DE AGREGADOS ASTM C 88	
PROYECTO	PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN SAC

AGREGADO GRUESO							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
2"	1 1/2"	D-1	-	-	-	-	-
1 1/2"	1"	D-2	-	-	-	-	-
1"	3/4"	D-3	2300.0	2435.0	2.60	14	0.36
3/4"	1/2"	D-4	1000.0	978.0	2.20	16	0.35
1/2"	3/8"	D-5	500.0	478.0	4.40	11	0.48
3/8"	N°4	D-6	300.0	268.0	10.67	25	2.67
TOTAL :						66.00	3.86

CANTERA (ARENA)

AGREGADO FINO							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
3/8"	N°4	1A	100.0	97.0	3.00	17	0.51
N°4	N°8	2A	100.0	95.0	5.00	19	0.95
N°8	N°16	5A	100.0	78.0	22.00	19	4.18
N°16	N°30	3A	100.0	89.0	11.00	19	2.09
N°30	N°50	4A	100.0	87.0	13.00	9	1.17
N°50	N°100					7	0.00
N°100	--					10	0.00
TOTAL :						100.00	8.90



Jorge Alejandro Barralón Villaveja
ING. DE MATERIALES
CIP N° 197354

5.9. Adherencia de Bandeja



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Materiales Cerámicos

ADHERENCIA EN BANDEJA I.N.V E 740	
PROYECTO	PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE	PLASENCIA VELASQUEZ, PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNA, MILER IVANER
CANTERA	SAN MARTIN SAC

DATOS	1	2	3
CANTIDAD DE MUESTRA #	50	50	50
CANTIDAD DE CEMENTO ASFALTICO ml	100	100	100
TEMPERATURA DE CA (°C)	140	140	140
# DE PARTICULAS RECUBIERTAS	48	48	48
# DE PARTICULAS NO RECUBIERTAS	2	2	2
ADHERENCIA (%)	96	96	96
ADHERENCIA (%)	96.0		



Jorge Alejandro Barrantes Villaraza
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384

Anexo N°6 Método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Materiales Cerámicos

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D-1559

PROYECTO : PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO A - R1
AUTORES : PLASENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO
RODRIGUEZ HORNA MILER IVANER

Determinación de las Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

ASFALTO		AGREGADOS			Arena (gr)
		45.0%	0.0%	0.0%	55.0%
% de Asfalto	Asfalto (gr)	Grava de 3/4" (gr)	Grava de 1/2" (gr)	Grava de 3/8" (gr)	
4.50%	54	515.70	0.00	0.00	630.30
5.00%	60	513.00	0.00	0.00	627.00
5.50%	66	510.30	0.00	0.00	623.70
6.00%	72	507.60	0.00	0.00	620.40
6.50%	78	504.90	0.00	0.00	617.10
7.00%	84	502.20	0.00	0.00	613.80
7.50%	90	499.50	0.00	0.00	610.50
8.00%	96	496.80	0.00	0.00	607.20

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Específica de Bulk de la Mezcla Compactada

% de Asfalto	ESPESOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS"				
	Altura de las Probetas o Briquetas				
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	H ₄ (cm)	Promedio (cm)
4.50%	6.74	6.73	6.72	6.74	6.73
5.00%	6.39	6.4	6.39	6.38	6.39
5.50%	6.46	6.45	6.47	6.45	6.46
6.00%	6.58	6.59	6.57	6.58	6.58
6.50%	6.75	6.76	6.74	6.74	6.75
7.00%	6.51	6.52	6.51	6.52	6.52
7.50%	6.81	6.82	6.81	6.81	6.81
8.00%	6.75	6.76	6.74	6.74	6.75

% Asfalto	DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA				
	M _s	M _{SS}	M _{SUM}	G (kg/m ³)	G _{mb}
4.50%	1164	1182	679.5	2316.42	2.316
5.00%	1172	1194	684.8	2301.65	2.302
5.50%	1176	1196	691.8	2332.41	2.332
6.00%	1159	1185	695.7	2368.69	2.369
6.50%	1148	1176	687.5	2350.05	2.350
7.00%	1168	1187	682.3	2314.25	2.314
7.50%	1176	1192	679.5	2294.63	2.295
8.00%	1184	1198	687.4	2318.84	2.319

Determinación de la Estabilidad y Flujo

% Asfalto	Lectura del Dial	Estabilidad KN	Indice de Flujo (PULG)	Indice de Flujo (mm)
4.50%	10.9	6.11	0.169	4.29
5.00%	52	7.19	0.243	6.18
5.50%	27	7.56	0.286	7.26
6.00%	90	8.57	0.374	9.51
6.50%	126	6.81	0.340	8.64
7.00%	126	5.27	0.266	6.75
7.50%	138	4.85	0.194	4.94
8.00%	152	3.67	0.121	3.07



Jorge Alejandro Barrios Vitorino
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



ENSAJO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UBICACION TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL CONCRETO ASFALTO - MÉTODO A
AUTORES PLASENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO
RODRIGUEZ HORNA MILLER IVANER

Gravedad Específica en Agregados Gruesos		Gravedad Específica en Agregados Finos		Gravedad Específica del Cemento Afáltico	
Gravedad Específica Seca Aparente	$G_{s,a} = 2.4520$	Gravedad Específica Seca Aparente	$G_{s,a} = 2.5180$	Gravedad Específica del Cemento Afáltico	$G_s = 1.0250$
Gravedad Específica Seca Bulk	$G_{s,b} = 2.8350$	Gravedad Específica Seca Bulk	$G_{s,b} = 2.5160$	Tipo de cemento Afáltico según el Grado de Penetración:	45-100
Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca	$G_{s,m} = 2.4410$	Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca	$G_{s,m} = 2.5440$	Densidad del cemento Afáltico (kg/m ³)	$P_{1000} = 1025.0000$
% de Agregado Grueso	AP _g = 45.00%	% de Agregado Fino	AP _f = 55.00%	Gravedad Específica del Cemento Afáltico	$G_s = 1.0250$
Gravedad Específica Seca Bulk de la Combinación de Agregados		$G_{s,b} = 2.6682$			
Gravedad Específica Seca Aparente de la Combinación de Agregados		$G_{s,a} = 2.6164$			

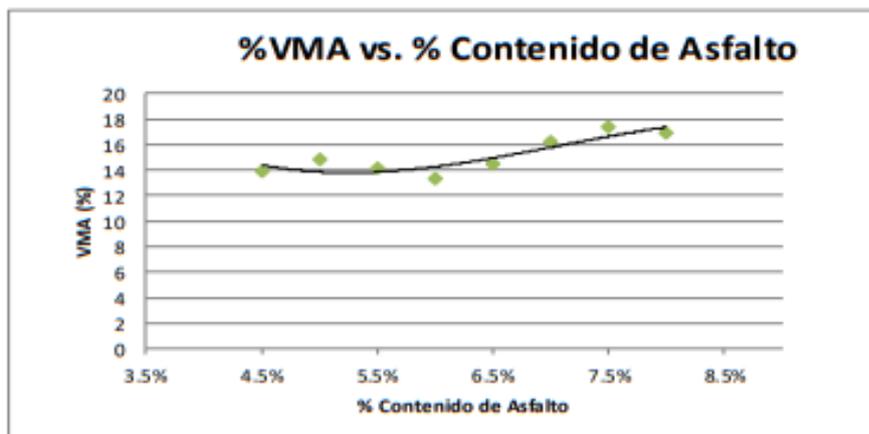
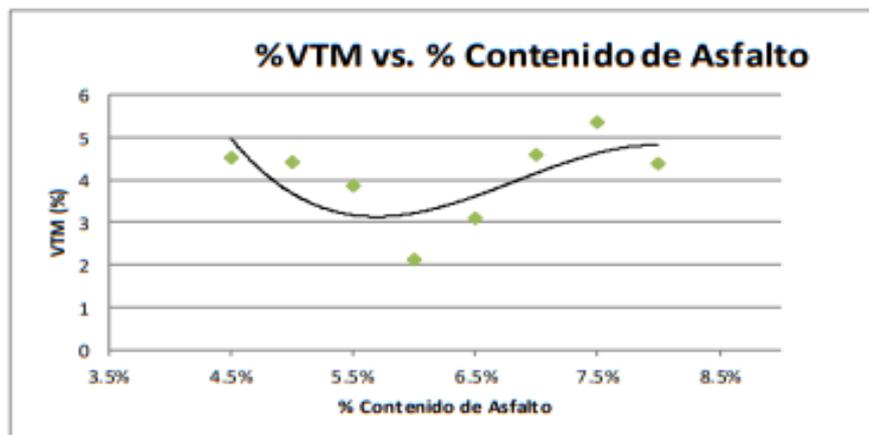
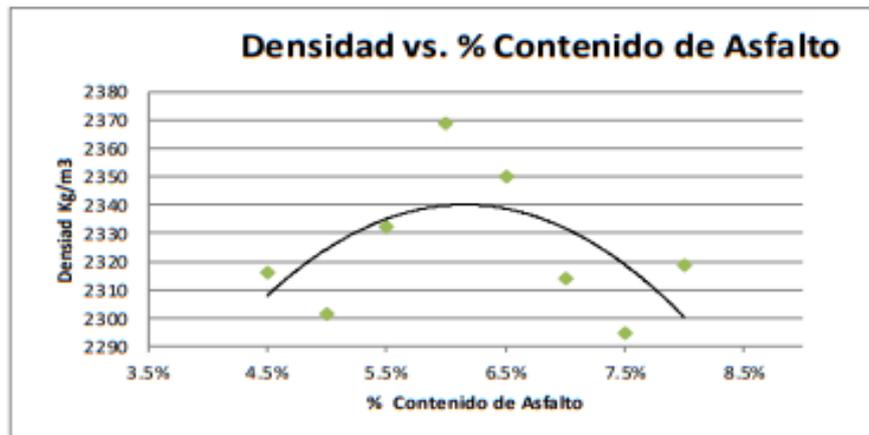
INDICACION MARSHALL

2.59

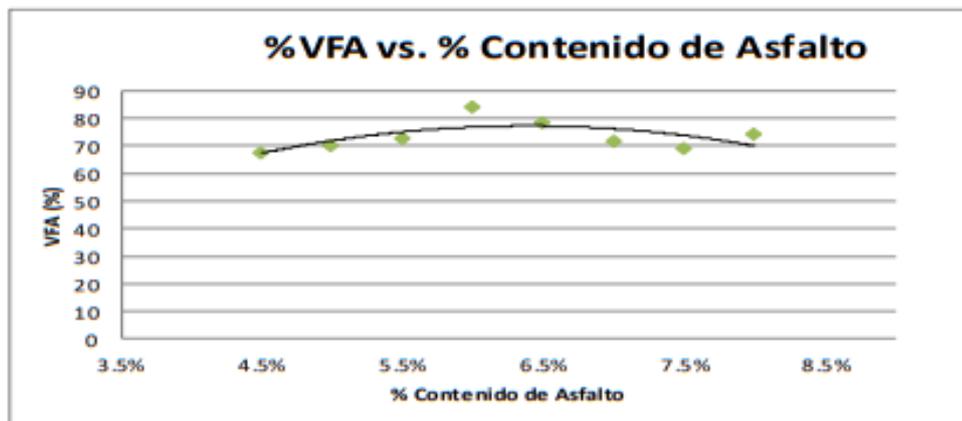
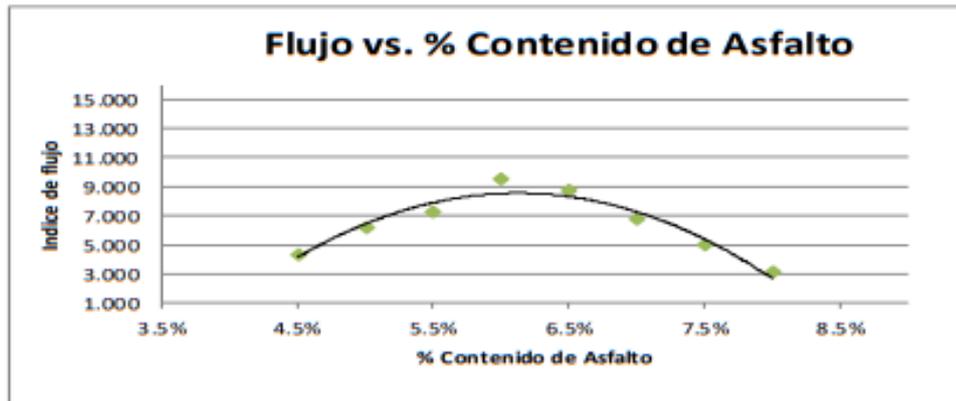
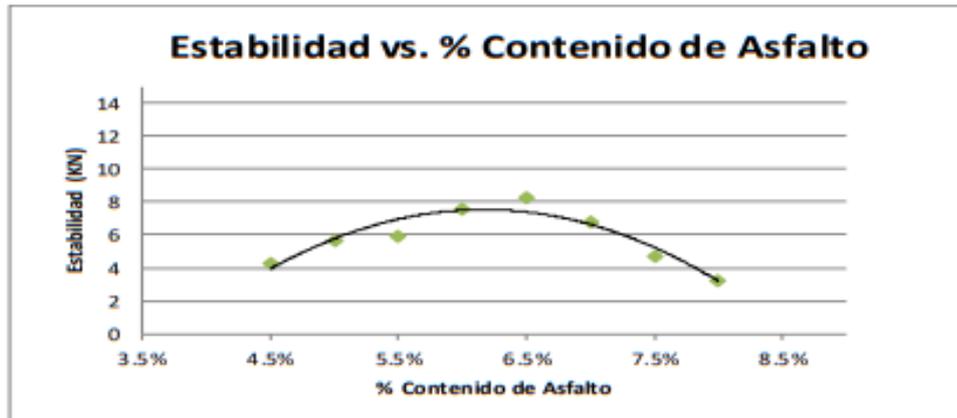
% de Asfalto a	Altura de las Briquetas (cm)	Peso de las Briquetas		Volumen (cm ³)	Densidad Real G	Gravedad Específica Bulk de la muestra Compactada $G_{s,m}$	Gravedad Específica Teórica Máxima $G_{s,m}$	Gravedad Específica Efectiva del Agregado $G_{s,e}$	Porcentaje de Absorción de Asfalto P_{ab}	Porcentaje de Asfalto Efectivo P_{ae}	% Vacíos en el Agregado Mineral VMA	% Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada a YTM	% Vacíos de Llenos de Asfalto VFA	Estabilidad Marshall			Ind. Rigidez			
		M_1 (gr)	M_2 (gr)											Modos (gr)	Estabilidad del Deal	Estabilidad KN		Factor de Corrección	Estabilidad de Flujo (mm)	Indice de Flujo (pulg)
4.5%	6.750	1164.000	1182.000	679.500	592.500	2316.418	2.316000	2.425	2.592	0.371	4.145	13.878	4.511	67.894	10.900	4.850	0.886	4.297	25.44202356	
5.0%	6.300	1172.000	1194.000	684.000	599.200	2301.650	2.302000	2.408	2.592	0.371	4.647	14.847	4.499	70.300	52.000	6.110	0.938	5.731	6.180	23.55532956
5.5%	6.400	1176.000	1196.000	691.000	594.200	2322.400	2.322000	2.425	2.634	1.003	4.532	14.191	3.835	72.975	27.000	7.100	0.820	5.961	7.260	20.85758367
6.0%	6.500	1159.000	1185.000	695.700	489.300	2368.690	2.369000	2.420	2.650	1.235	4.839	13.291	2.107	84.144	90.000	7.560	1.003	7.583	9.510	20.25236257
6.5%	6.750	1148.000	1176.000	687.500	488.500	2350.051	2.350000	2.425	2.679	1.657	4.951	14.444	3.093	78.587	126.000	8.570	0.965	8.270	8.640	24.31240218
7.0%	6.520	1168.000	1187.000	692.300	594.700	2314.246	2.314000	2.425	2.703	1.989	5.150	16.206	4.577	71.753	126.000	6.810	1.003	6.830	6.750	25.70264123
7.5%	6.810	1176.000	1192.000	679.500	512.500	2294.634	2.295000	2.425	2.727	2.324	5.350	17.340	5.361	69.084	138.000	5.270	0.896	4.722	4.940	24.27668487
8.0%	6.750	1184.000	1198.000	687.400	510.600	2318.841	2.319000	2.425	2.752	2.663	5.550	16.927	4.371	74.176	152.000	3.670	0.886	3.252	3.070	26.90263954



Juan Antonio Guerrero Vitorales
ING. DE MATERIALES
C.P. N° 107294



Jorge Alejandro Gentes Vilanova
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197394



Jorge Alejandro Benites Vitorica
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 107384



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO A - R2
AUTORES : PLASENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO
RODRIGUEZ HORNA MILER IVANER

De terminación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

		Peso total de la Briqueta:		1200	gr
ASFALTO		AGREGADOS			
% de Asfalto	Asfalto (gr)	45.0%	0.0%	0.0%	55.0%
		Grava de 3/4" (gr)	Grava de 1/2" (gr)	Grava de 3/8" (gr)	Arena (gr)
4.50%	54	515.70	0.00	0.00	630.30
5.00%	60	513.00	0.00	0.00	627.00
5.50%	66	510.30	0.00	0.00	623.70
6.00%	72	507.60	0.00	0.00	620.40
6.50%	78	504.90	0.00	0.00	617.10
7.00%	84	502.20	0.00	0.00	613.80
7.50%	90	499.50	0.00	0.00	610.50
8.00%	96	496.80	0.00	0.00	607.20

De terminación del Espesor, De msidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

ESPESOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS"					
% de Asfalto	Altura de las Probetas o Briquetas				
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	H ₄ (cm)	Promedio (cm)
4.50%	6.82	6.83	6.81	6.83	6.82
5.00%	6.94	6.95	6.96	6.94	6.95
5.50%	6.75	6.74	6.75	6.76	6.75
6.00%	6.42	6.43	6.41	6.42	6.42
6.50%	6.79	6.78	6.77	6.76	6.78
7.00%	6.82	6.81	6.83	6.81	6.82
7.50%	6.46	6.45	6.44	6.46	6.45
8.00%	6.77	6.76	6.74	6.74	6.75

DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA					
% Asfalto	M _s	M ₁₅₅	M ₁₁₀	G (kg/m3)	G _{mb}
4.50%	1158	1176	687.3	2369.55	2370
5.00%	1172	1188	679.8	2306.18	2306
5.50%	1167	1187	681.1	2306.78	2307
6.00%	1153	1179	685.3	2335.43	2335
6.50%	1153	1194	679.4	2240.58	2241
7.00%	1174	1186	689.2	2363.12	2363
7.50%	1181	1199	682.4	2286.10	2286
8.00%	1169	1182	677.8	2318.52	2319

De terminación de la Estabilidad y Flujo

% Asfalto	Lectura del Dial	Estabilidad KN	Indice de Flujo (PULG)	Indice de Flujo (mm)
4.50%	109	5.45	0.139	3.52
5.00%	52	6.25	0.252	6.41
5.50%	27	7.88	0.317	8.04
6.00%	90	8.94	0.389	9.88
6.50%	126	7.81	0.326	8.29
7.00%	126	5.65	0.255	6.48
7.50%	138	3.51	0.221	5.61
8.00%	152	3.07	0.168	4.27



Jorge Augusto Escobedo Vitorica
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 191284



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UBICACION TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL CONCRETO ASFALTO - MÉTODO A
AUTORES PLASENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO
RODRIGUEZ HORNIA MILLER IVANER

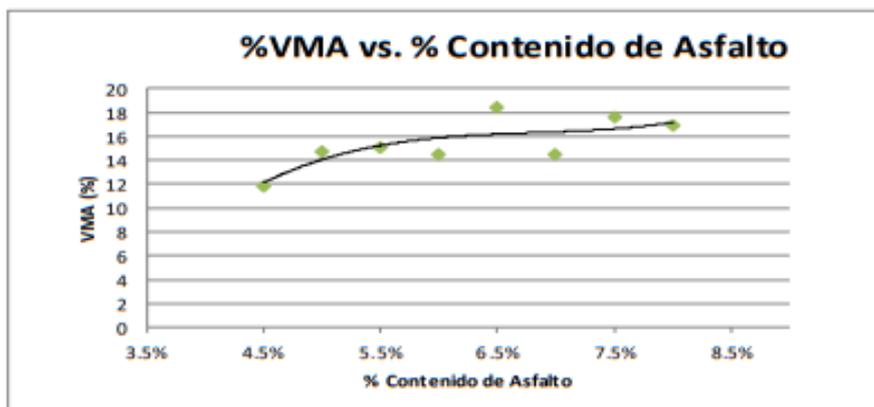
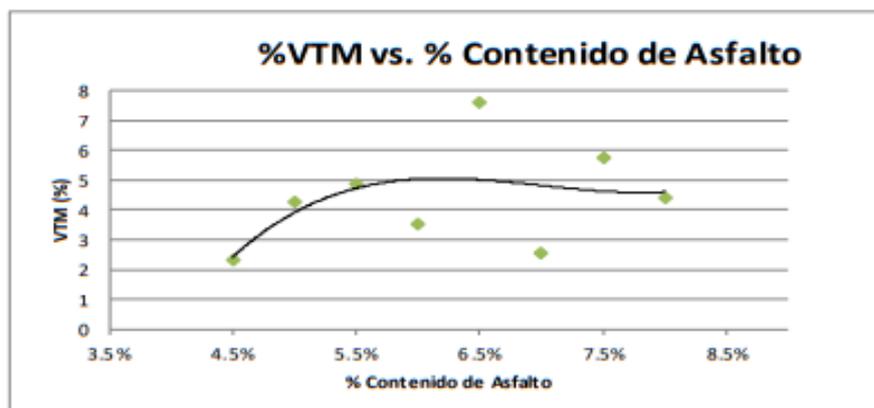
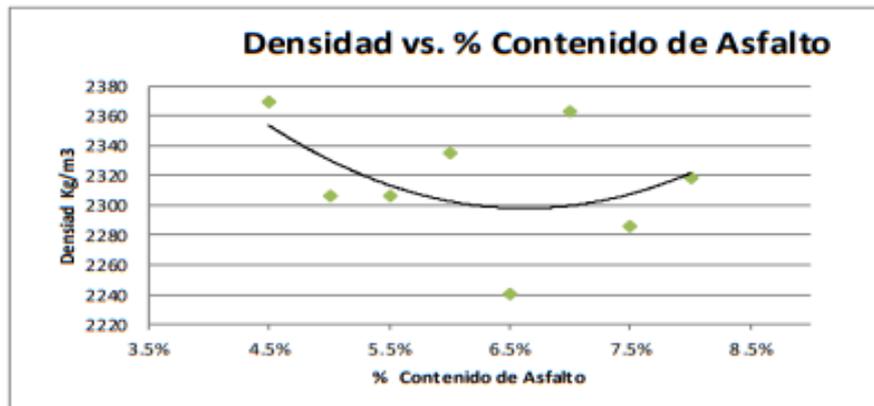
DOSEIFICACION MARSHALL

Gravedad Específica en Agregados Gruesos		Gravedad Específica en Agregados Finos		Gravedad Específica del Cemento Adulterio	
Gravedad Específica Seca Aparente	$G_{s,ap} = 2.6520$	Gravedad Específica Seca Aparente	$G_{s,ap} = 2.5880$	Tipo de cemento Adulterio según el Grado de Penetración:	85-100
Gravedad Específica Seca Bulk	$G_{s,bk} = 2.6510$	Gravedad Específica Seca Bulk	$G_{s,bk} = 2.5380$	Densidad del cemento Adulterio (kg/m^3)	$P_{adulterio} = 1025.0000$
Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca de Agregados	$G_{s,ss} = 2.6410$	Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca de Agregados	$G_{s,ss} = 2.5440$	Gravedad Específica del Cemento Adulterio	$G_c = 1.0250$
% de Agregado Grueso	$\%P_g = 45.00\%$	% de Agregado Fino	$\%P_f = 55.00\%$		
Gravedad Específica Seca Bulk de la Combinación de Agregados		$G_{s,bk} = 2.5682$			
Gravedad Específica Seca Aparente de la Combinación de Agregados		$G_{s,ap} = 2.6164$			

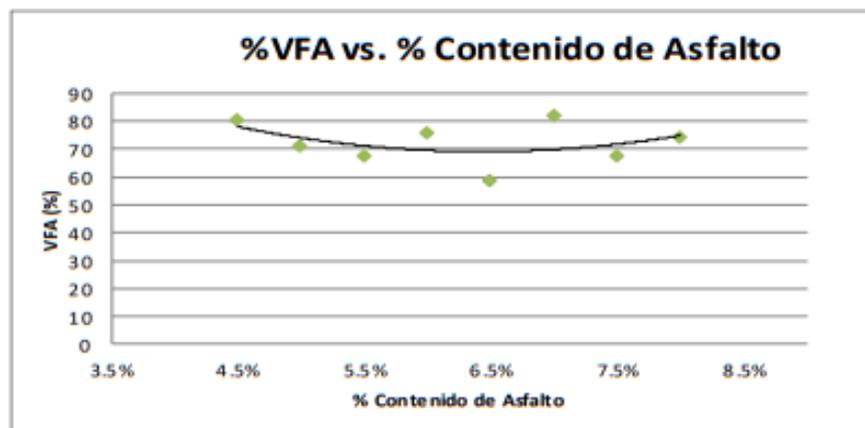
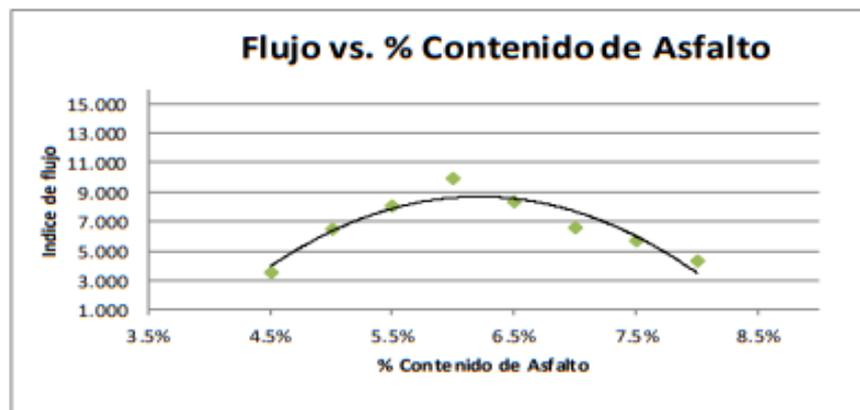
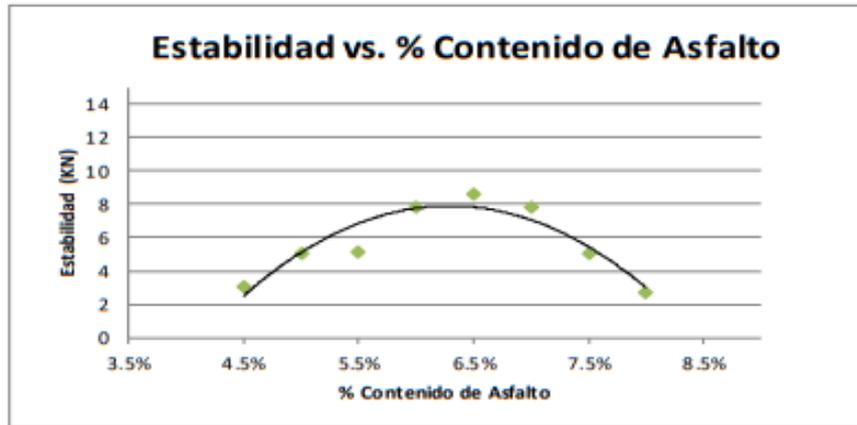
% de Adulterio	Altura de las Briquetas h (mm)	Peso de las Briquetas			Densidad Real G	Gravedad Específica de Bulk de la mezcla Compactada G_{mb}	Gravedad Específica Máxima Teórica G_{mm}	Gravedad Específica Directa del Agregado G_d	Porcentaje de Adulterio Absorbido P_a	Porcentaje de Adulterio Efectivo P_e	% Vacíos en el Agregado VMA	% Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada a VMA V_a	% Vacíos de Uniones de Adulterio VFA	Estabilidad Marshall			Índice de Flujo (mm)	Índice de Flujo (psig)	Índ. Rigidez	
		M_1 (gr)	M_{100} (gr)	M_{200} (gr)										Lección del Bul	Estabilidad KN	Factor de Corrección				Estabilidad KN
4.5%	6.20	1158.000	1176.000	687.300	2369.550	2.370000	2.425	2.592	0.371	4.145	11.870	2.285	80.752	10.900	3.510	0.886	3.520	0.139	22.37269353	
5.0%	6.50	1172.000	1188.000	679.800	2366.100	2.366000	2.408	2.592	0.371	4.447	14.499	4.243	71.131	12.000	5.450	0.938	5.112	6.410	0.252	20.28611111
5.5%	6.750	1167.000	1187.000	681.300	2366.700	2.367000	2.425	2.654	1.003	4.552	15.111	4.866	67.708	27.000	6.250	0.829	5.181	8.040	0.317	16.34487222
6.0%	6.420	1153.000	1179.000	683.300	2335.430	2.335000	2.420	2.650	1.255	4.839	14.535	3.512	75.835	30.000	7.880	1.003	7.904	9.880	0.389	20.31794062
6.5%	6.780	1153.000	1194.000	679.400	2340.580	2.340000	2.425	2.670	1.657	4.651	18.412	7.588	58.700	126.000	8.940	0.965	8.627	8.290	0.326	26.46349063
7.0%	6.520	1174.000	1186.000	689.200	2363.120	2.363000	2.425	2.703	1.989	5.159	14.430	2.557	82.263	126.000	7.810	1.003	7.033	6.480	0.255	30.71033333
7.5%	6.450	1181.000	1199.000	682.400	2366.100	2.366000	2.425	2.727	2.324	5.559	17.664	5.752	67.550	138.000	5.650	0.896	5.062	5.610	0.251	22.90678333
8.0%	6.750	1169.000	1182.000	677.800	2318.520	2.319000	2.425	2.752	2.663	5.559	16.927	4.371	74.176	132.000	3.070	0.886	2.720	4.270	0.168	16.19099524



LABORATORIO DE MATERIALES CERÁMICOS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
CIP N° 101204



Jorge Alejandro Barrios Vitorica
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197364



Jorge Alejandro Barrios Wáruwa
ING. DE MATERIALES
E.C.P. N° 197304



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO A - R3
AUTORES : PLASENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO
RODRIGUEZ HORNA MILER IVANER

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

ASFALTO		AGREGADOS			gr
% de Asfalto	Asfalto (gr)	45.0%	0.0%	0.0%	55.0%
		Grava de 3/4" (gr)	Grava de 1/2" (gr)	Grava de 3/8" (gr)	Arena (gr)
4.50%	54	515.70	0.00	0.00	630.30
5.00%	60	513.00	0.00	0.00	627.00
5.50%	66	510.30	0.00	0.00	623.70
6.00%	72	507.60	0.00	0.00	620.40
6.50%	78	504.90	0.00	0.00	617.10
7.00%	84	502.20	0.00	0.00	613.80
7.50%	90	499.50	0.00	0.00	610.50
8.00%	96	496.80	0.00	0.00	607.20

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Específica de Bulk de la Mezcla Compactada

% de Asfalto	Altura de las Probetas o Briquetas					Promedio (cm)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	H ₄ (cm)	H ₅ (cm)	
4.50%	6.81	6.82	6.83	6.81	6.81	6.82
5.00%	6.75	6.76	6.74	6.76	6.76	6.75
5.50%	6.49	6.48	6.47	6.49	6.48	6.48
6.00%	6.86	6.87	6.88	6.87	6.87	6.87
6.50%	6.69	6.68	6.67	6.69	6.68	6.68
7.00%	6.73	6.72	6.73	6.72	6.73	6.73
7.50%	6.47	6.48	6.49	6.48	6.48	6.48
8.00%	6.59	6.58	6.57	6.59	6.58	6.58

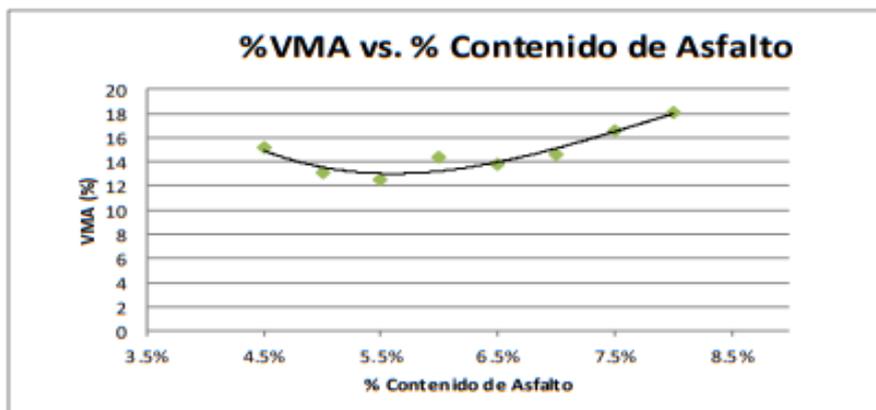
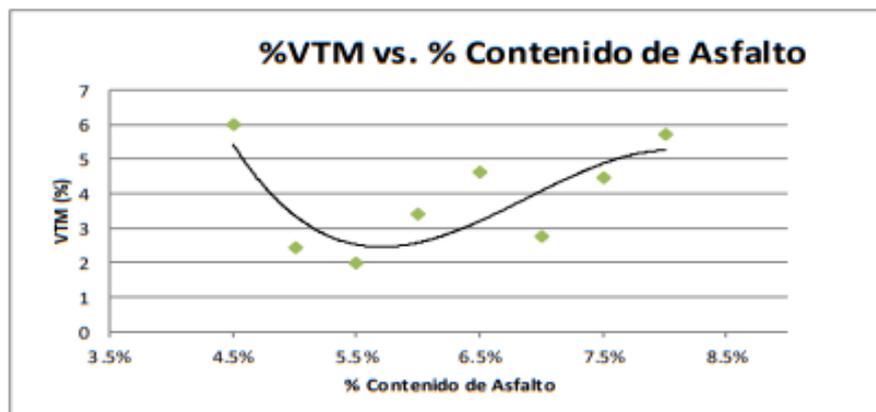
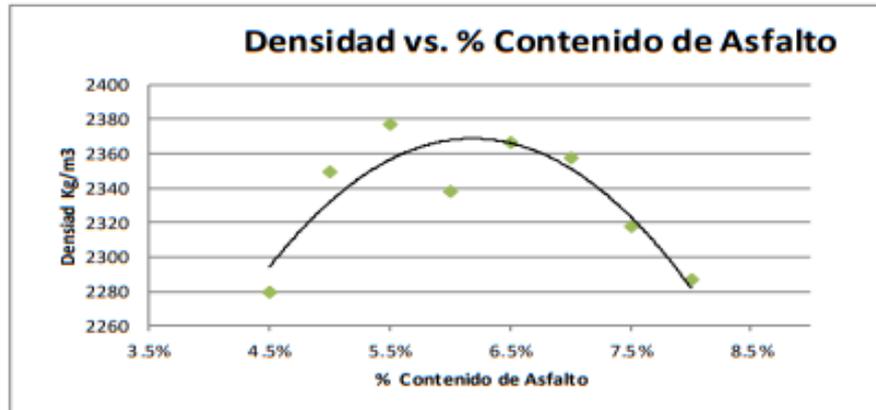
% Asfalto	DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA				
	M _s	M _{sec}	M _{total}	G (kg/m ³)	G _{sup}
4.50%	1182	1198	679.5	2279.65	2.280
5.00%	1175	1186	683.9	2349.53	2.350
5.50%	1148	1167	684.1	2377.30	2.377
6.00%	1143	1171	682.2	2338.38	2.338
6.50%	1149	1175	689.5	2366.63	2.367
7.00%	1176	1186	687.2	2357.66	2.358
7.50%	1145	1174	679.9	2317.34	2.317
8.00%	1179	1197	681.4	2286.66	2.287



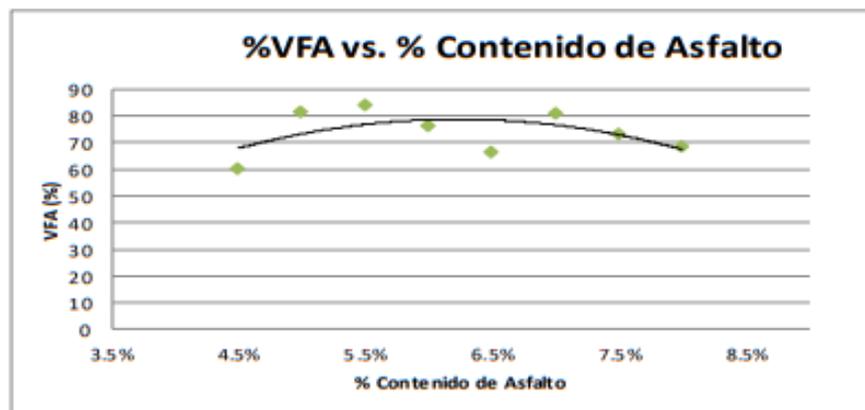
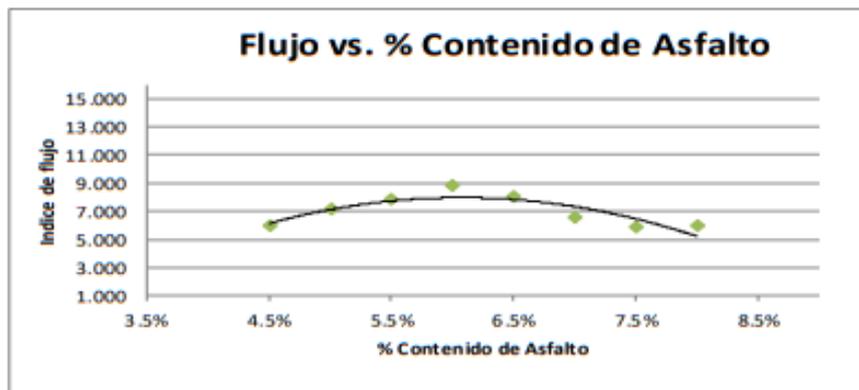
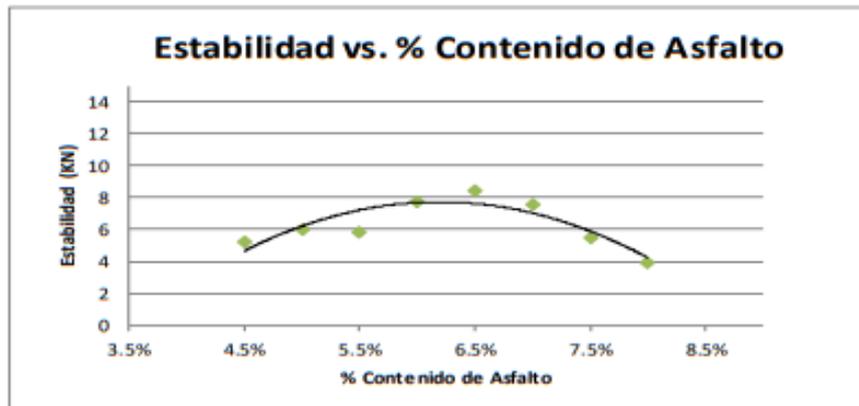
Jorge Alejandro Barrios Velasco
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197394

Determinación de la Estabilidad y Flujo

% Asfalto	Lectura del Dial	Estabilidad KN	Indice de Flujo (PULG)	Indice de Flujo (mm)
4.50%	109	6.45	0.233	5.91
5.00%	52	7.05	0.279	7.08
5.50%	27	7.74	0.307	7.81
6.00%	90	8.78	0.346	8.79
6.50%	126	7.58	0.314	7.97
7.00%	126	6.21	0.257	6.52
7.50%	138	5.94	0.229	5.81
8.00%	152	4.51	0.233	5.93



Jorge Alejandro Barrios Vitorica
ING. DE MATERIALES
R. C. P. N° 197354



Jorge Alejandro Barrios Vitorica
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197304

Anexo:



**ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559**

PROYECTO : PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO A + % ACEITE QUEMADO - R1
AUTORES : PLASENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO
RODRIGUEZ HORNA MILER IVANER

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

Peso total de la Briqueta:			1200			gr
ASFALTO			AGREGADOS			
% de Aceite Quemado	Aceite Quemado (gr)	Asfalto (gr)	45.0%	0.0%	0.0%	55.0%
			Grava de 3/4" (gr)	Grava de 1/2" (gr)	Grava de 3/8" (gr)	Arena (gr)
1.00%	0.72	66.3	509.84	0.00	0.00	623.14
2.50%	1.8	58.5	512.87	0.00	0.00	626.84
4.00%	2.88	39	521.15	0.00	0.00	636.97
7.00%	5.04	19.5	528.96	0.00	0.00	646.50

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

ESPOSOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS"					
% de Aceite Quemado	Altura de las Probetas o Briquetas				Promedio (cm)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	H ₄ (cm)	
1.00%	6.66	6.68	6.69	6.66	6.67
2.50%	6.74	6.75	6.74	6.75	6.75
4.00%	6.94	6.93	6.92	6.93	6.93
7.00%	6.82	6.84	6.82	6.83	6.83

DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA

% Aceite Quemado	M _s	M _{SSS}	M _{SUM}	G (kg/m ³)	G _{mb}
1.00%	1176	1194	687.2	2320.44	2.320
2.50%	1159	1185	689.3	2338.11	2.338
4.00%	1172	1187	681.2	2317.12	2.317
7.00%	1154	1196	687.5	2269.42	2.269

Determinación de la Estabilidad y Flujo

% Aceite Quemado	Lectura del Dial	Estabilidad KN	Indice de Flujo (PULG)	Indice de Flujo (mm)
1.00%	10.9	8.25	0.456	11.58
2.50%	52	8.94	0.438	11.12
4.00%	27	9.35	0.422	10.71
7.00%	90	10.54	0.365	9.28



Jorge Alejandro Barrios Warrivas
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 107394



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UBICACION TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL MEZCLA ASFÁLTICA - MÉTODO A + % ACEITE QUEMADO - RI
AUTORES FLORENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO RODRIGUEZ HORNIA MILLER IVANER

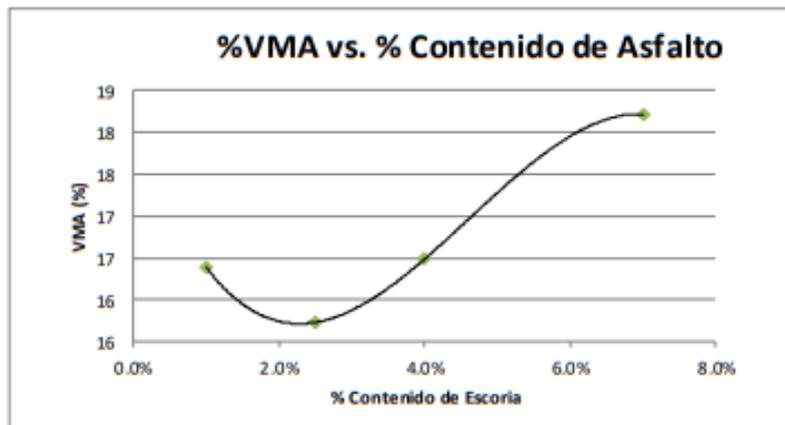
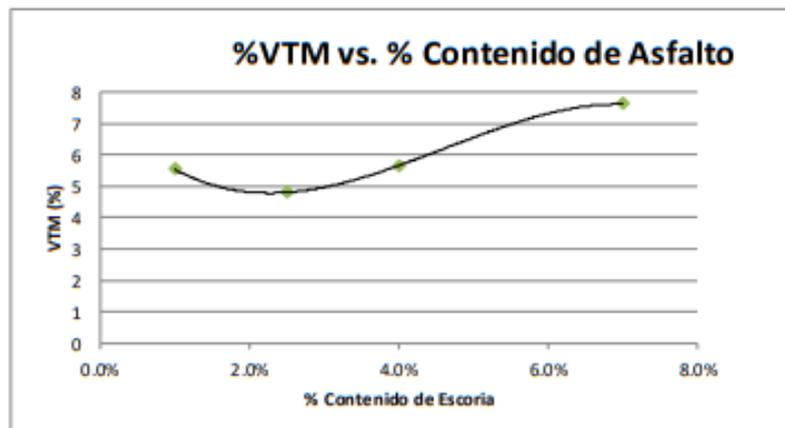
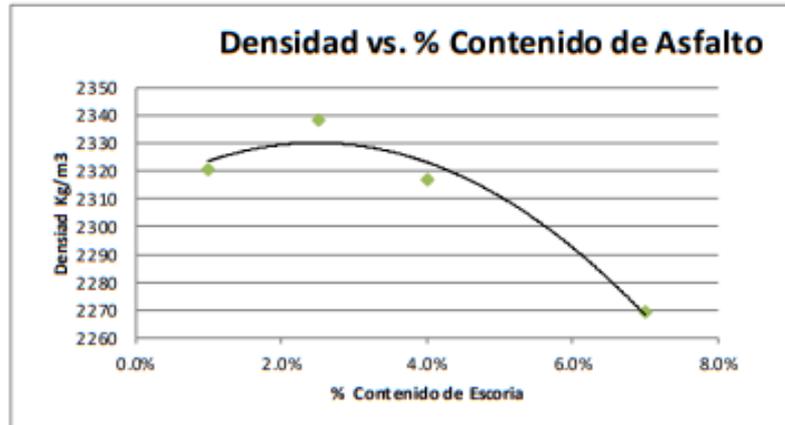
POSICIONACION MARSHALL

Gravedad Específica en Agregados Gruesos G_{se} = 2.6529	Gravedad Específica en Agregados Finos G_{sf} = 2.5180	Gravedad Específica del Cemento Asfáltico Tipo de cemento Asfáltico según el Grado de Penetración: 85-100
Gravedad Específica Seca Aparente G_{sa} = 2.6356	G_{sa} = 2.5160	Densidad del cemento Asfáltico (kg/m ³) P_{asf} = 1025.0000
Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca de Bulk G_{sb} = 2.6416	G_{sb} = 2.5440	Gravedad Específica del Cemento Asfáltico G_p = 1.0250
% de Agregado Grueso AG_{gr} = 60.00%	% de Agregado Fino AG_{fi} = 39.00%	Porcentaje de Adulterio $\%_{adul}$ = 6.50%
Gravedad Específica Seca Bulk de la Combinación de Agregados $G_{sb} = 2.5941$	2.61	
Gravedad Específica Seca Aparente de la Combinación de Agregados $G_{sa} = 2.6303$		

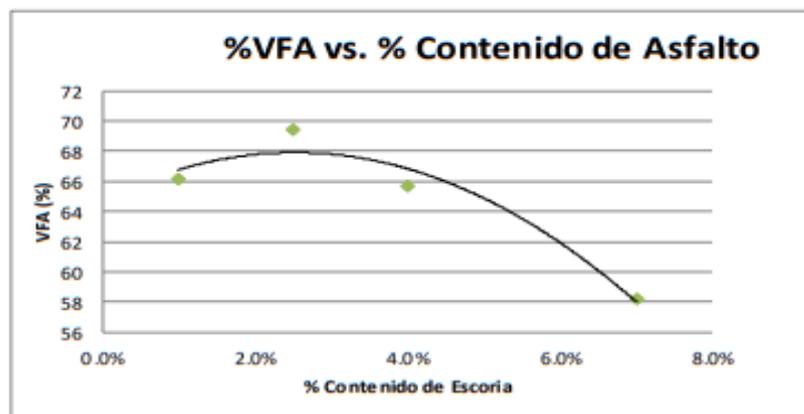
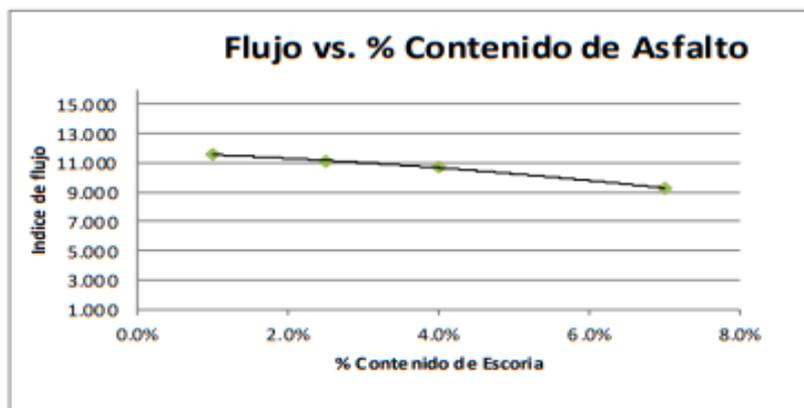
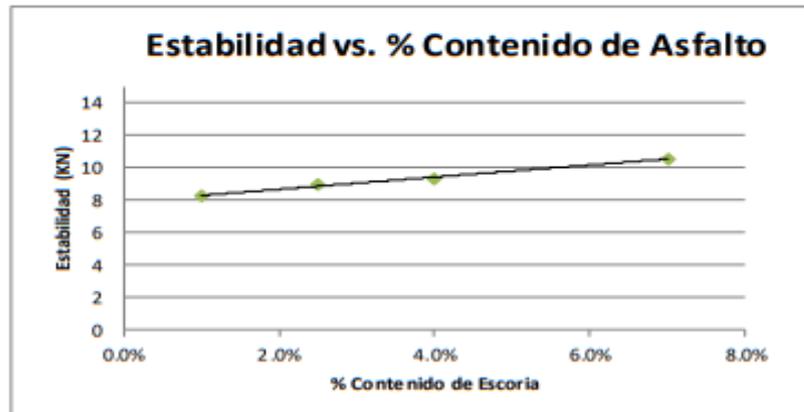
% de Aceite Quemado	Altura de la Briqueleta (cm)	Peso de las Briqueletas			Volumen Real G (cm ³)	Gravedad Específica de la Mezcla Compensada G_{mc}	Gravedad Específica Teórica Máxima G_{tm}	Gravedad Específica Efectiva del Agregado G_{ee}	Porcentaje de Absorción de los Agregados P_{ab}	Porcentaje de Eficacia P_e	% Vacíos en la Mezcla Mineral VMA	% Vacíos de Aire en la Mezcla Compensada a VTM VFA	Estabilidad Marshall			Ind. Rigidez	
		M ₁ (gr)	M ₂ (gr)	M ₃ (gr)									Estabilidad del Dial KN	Estabilidad Factor de Corrección KN	Estabilidad Factor de Corrección (psig)		
1.0%	6.670	1176.000	1194.000	687.200	586.800	2320.442	2.456	2.720	1.829	4.790	16.380	66.193	10.900	8.250	8.250	11.580	18.09384515
2.5%	6.750	1159.000	1185.000	689.300	495.700	2338.108	2.456	2.720	1.829	4.790	15.731	4.805	69.458	8.940	8.940	11.120	20.42040257
4.0%	7.680	1172.000	1187.000	681.200	505.800	2317.121	2.456	2.720	1.829	4.790	16.488	5.660	65.674	27.000	9.350	10.710	22.1749012
7.0%	8.830	1154.000	1196.000	687.500	508.500	2289.420	2.456	2.720	1.829	4.790	18.218	7.614	58.206	90.000	10.540	9.280	28.84869132



Ing. Florencia Velasquez Percey
Laboratorio de Materiales Cerámicos
UNUT - Trujillo



Jorge Alejandro Barrios Vilarueta
ING. DE MATERIALES
E.C.P. N° 197384



Jorge Alejandro Gamboa Vilanova
ING. DE MATERIALES
E.C.P. N° 107384

anexo:



**ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559**

PROYECTO : PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO A + % ACEITE QUEMADO - R2
AUTORES : PLASENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO
RODRIGUEZ HORNA MILER IVANER

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

Peso total de la Briqueta:			1200			gr
ASFALTO			AGREGADOS			
% de Aceite Quemado	Aceite Quemado (gr)	Asfalto (gr)	45.0%	0.0%	0.0%	55.0%
			Grava de 3/4" (gr)	Grava de 1/2" (gr)	Grava de 3/8" (gr)	Arena (gr)
1.00%	0.72	66.3	509.84	0.00	0.00	623.14
2.50%	1.8	58.5	512.87	0.00	0.00	626.84
4.00%	2.88	39	521.15	0.00	0.00	636.97
7.00%	5.04	19.5	528.96	0.00	0.00	646.50

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

ESPESOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS"					
% de Aceite Quemado	Altura de las Probetas o Briquetas				
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	H ₄ (cm)	Promedio (cm)
1.00%	6.82	6.81	6.83	6.82	6.82
2.50%	6.94	6.95	6.94	6.95	6.95
4.00%	6.38	6.39	6.37	6.37	6.38
7.00%	6.72	6.73	6.71	6.73	6.72

DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA					
% Aceite Quemado	M _s	M _{SSS}	M _{SUM}	G (lg/m ³)	G _{mb}
1.00%	1159	1186	679.6	2288.70	2.289
2.50%	1172	1194	684.2	2298.94	2.299
4.00%	1163	1176	689.3	2389.56	2.390
7.00%	1157	1185	687.1	2323.76	2.324

Determinación de la Estabilidad y Flujo

% Aceite Quemado	Lectura del Dial	Estabilidad KN	Indice de Flujo (PULG)	Indice de Flujo (mm)
1.00%	10.9	8.67	0.470	11.94
2.50%	52	9.18	0.444	11.27
4.00%	27	11.52	0.365	9.28
7.00%	90	12.67	0.340	8.64



Jorge Rodríguez Barreto Vilaverde
ING. DE MATERIALES
E.C.P. N° 187384



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1659

PROYECTO : PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD

MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO A + % ACEITE QUEMADO - R2

AUTORES : PLASENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO

RODRIGUEZ HORNA MILLER IVANER

DOSEIFICACION MARSHALL

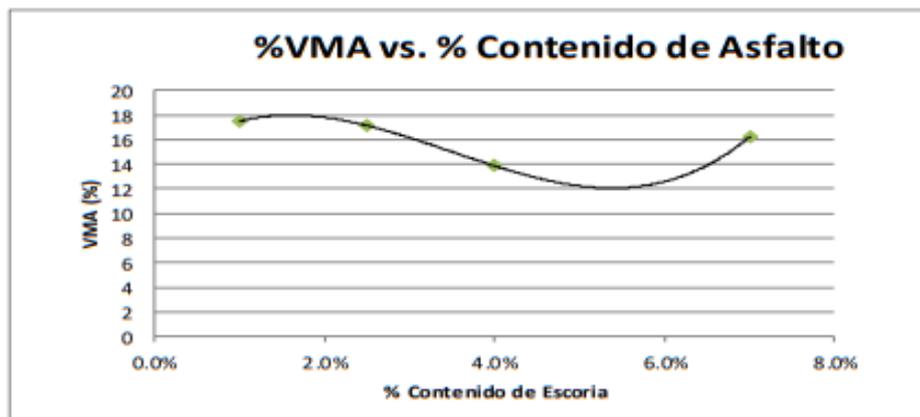
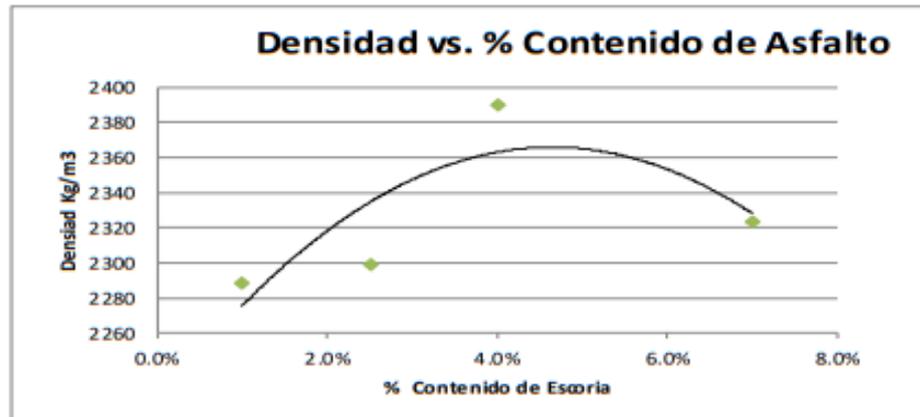
Gravedad Especifica en Agregados Gruesos		Gravedad Especifica en Agregados Fines		Gravedad Especifica del Cemento Asfaltico	
Gravedad Especifica Seca Aparante	$G_{se} = 2.6520$	Gravedad Especifica Seca Aparante	$G_{sf} = 2.5888$	Tipo de cemento Asfaltico según el Grado de Penetracion:	85-100
Gravedad Especifica Seca Bulk	$G_{sb} = 2.6350$	Gravedad Especifica Seca Bulk	$G_{sbf} = 2.5168$	Densidad del cemento Asfaltico (kg/m ³)	$P_{cma} = 1025.8600$
Gravedad Especifica Saturada	$G_{sa} = 2.6410$	Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca	$G_{safs} = 2.5448$	Gravedad Especifica del Cemento Asfaltico	$G_p = 1.0250$
Gravedad Especifica Seca de Bulk	$G_{sb} = 41.00\%$	% de Agregado Fino	$g_{af} = 30.00\%$	Porcentaje de Asfalto	$\%_{asfalto} = 6.50\%$
Gravedad Especifica Seca Bulk de la Combinacion de Agregados		$G_{sb} = 2.5941$			
Gravedad Especifica Seca Aparante de la Combinacion de Agregados		$G_{sa} = 2.6303$			

2.61

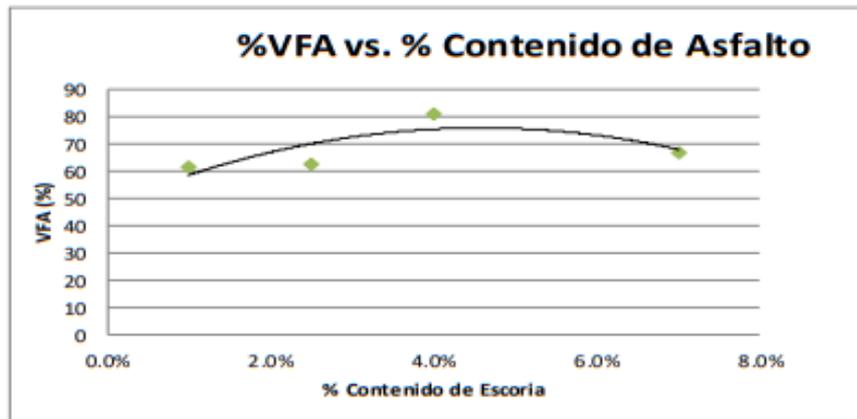
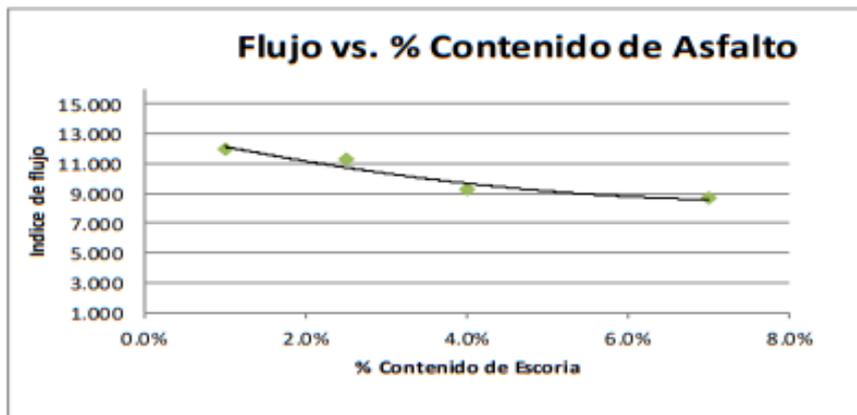
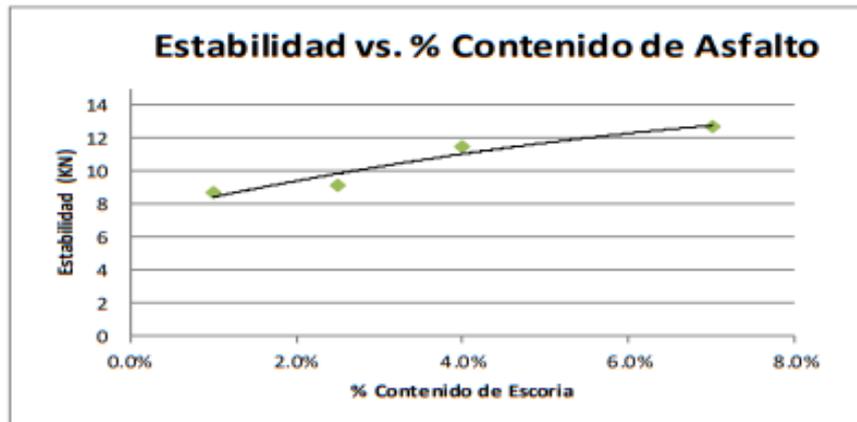
% de Aceite Quemado	Altura de las Briquetas (cm)	Peso de las Briquetas		Volumen (cm ³)	Densidad Real G	Gravedad Especifica de Bulk de la mezcla Compactada	Gravedad Especifica de la mezcla Maxima	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado	Gravedad Especifica Efectiva de Asfalto Absorbido	Porcentaje de Asfalto Efectivo	% Vacios en el Agregado Mineral	% Vacios de Aire en la Mezcla Compensada a VIM	% Vacios de Linas de Asfalto	Estabilidad Marshall				Ind. de Flujo (psi)	Ind. Rigidez	
		M ₁ (gr)	M ₂ (gr)											Estabilidad KN	Factor de Correccion	Estabilidad KN	Estabilidad de Flujo			Estabilidad de Flujo
1.0%	6.320	1159.000	1186.000	579.600	2288.705	2.290000	2.456	2.720	1.829	4.700	17.497	6.500	61.138	10.900	8.670	0.886	8.670	11.940	0.470	18.44370663
2.5%	6.950	1172.000	1194.000	604.200	2298.941	2.290000	2.456	2.720	1.829	4.700	17.136	6.393	62.696	52.000	9.180	0.938	9.180	11.270	0.444	20.68960728
4.0%	6.380	1163.000	1176.000	609.300	2309.562	2.300000	2.456	2.720	1.829	4.700	13.857	2.687	80.606	27.000	11.520	0.829	11.520	9.280	0.365	31.53101746
7.0%	6.720	1157.000	1165.000	607.100	2323.760	2.320000	2.456	2.720	1.829	4.700	16.215	5.375	66.806	90.000	12.070	1.003	12.070	8.640	0.340	37.24743159



Supervisado por:
Ing. J. Velasco Velasco
CIP N° 197304



Jorge Alejandro Barrios Vitorino
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197354



Jorge Alejandro Escobedo Vilanova
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO A + % ACEITE QUEMADO - R3
AUTORES : PLASENCIA VELASQUEZ PERCY RONALDO
RODRIGUEZ HORNA MILER IVANER

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

Peso total de la Briqueta:			1200			gr
ASFALTO			AGREGADOS			
% de Aceite Quemado	Aceite Quemado (gr)	Asfalto (gr)	45.0% Grava de 3/4" (gr)	0.0% Grava de 1/2" (gr)	0.0% Grava de 3/8" (gr)	55.0% Arena (gr)
1.00%	0.72	66.3	509.84	0.00	0.00	623.14
2.50%	1.8	58.5	512.87	0.00	0.00	626.84
4.00%	2.88	39	521.15	0.00	0.00	636.97
7.00%	5.04	19.5	528.96	0.00	0.00	646.50

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

ESPESOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS"					
% de Aceite Quemado	Altura de las Probetas o Briquetas				
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	H ₄ (cm)	Promedio (cm)
1.00%	6.82	6.81	6.83	6.84	6.83
2.50%	6.39	6.38	6.41	6.38	6.39
4.00%	6.71	6.72	6.72	6.74	6.72
7.00%	6.54	6.55	6.56	6.54	6.55

DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA					
% Aceite Quemado	M _S	M _{SSS}	M _{SUM}	G (kg/m ³)	G _{mb}
1.00%	1175	1187	694.8	2387.24	2.387
2.50%	1184	1196	689.6	2338.07	2.338
4.00%	1186	1197	682.5	2305.15	2.305
7.00%	1179	1183	678.9	2338.82	2.339

Determinación de la Estabilidad y Flujo

% Aceite Quemado	Lectura del Dial	Estabilidad KN	Indice de Flujo (PULG)	Indice de Flujo (mm)
1.00%	10.9	8.51	0.464	11.79
2.50%	52	8.97	0.436	11.08
4.00%	27	10.24	0.376	9.54
7.00%	90	12.76	0.341	8.67



Jorge Alejandro Barrios Valencia
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



ENSAYO DE MARSHALL

ASTM D-1559

PROYECTO: PORCENTAJE DE ACEITE QUEMADO DE MOTOR DE VEHICULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

UBICACION: TRUJILLO - LA LIBERTAD

MATERIAL: MEZCLA ASFÁLTICA - MÉTODO A + % ACEITE QUEMADO - R1

AUTORES: FLORENCIA VELAZQUEZ PERCY ROSALDO

BOBBIQUEZ IRIBNA MELERIVANER

BOBBIQUEZ IRIBNA MELERIVANER

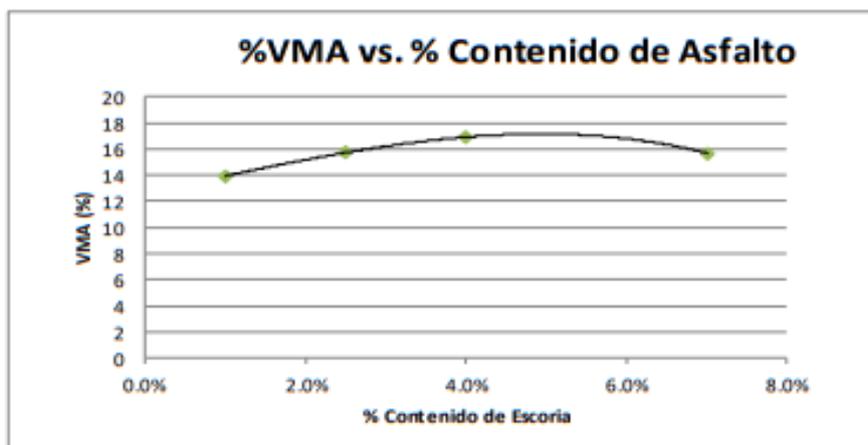
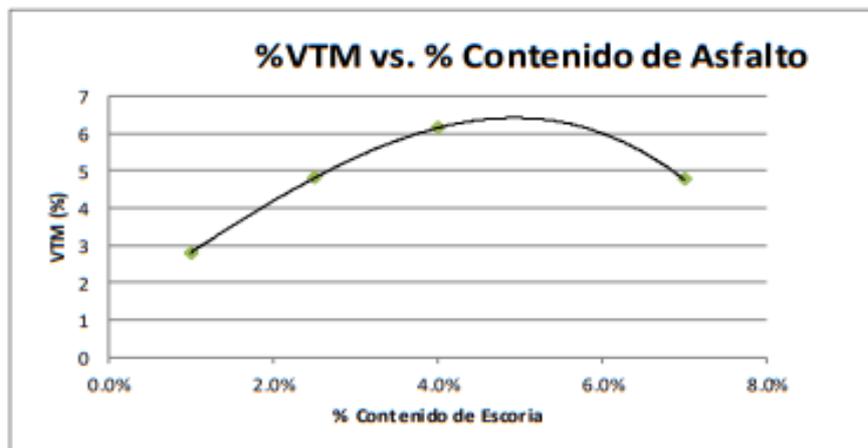
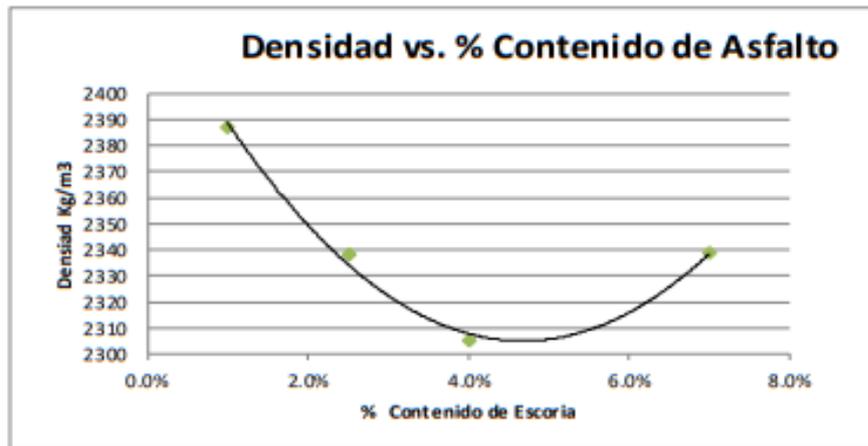
<p>Gravedad Específica en Agregados Gruesos $G_{se} = 2.6539$</p> <p>Gravedad Específica en Agregados Finos $G_{sf} = 2.6539$</p> <p>Gravedad Específica en Mezcla $G_m = 2.6419$</p> <p>% de Agregado Fino MP = 80.00%</p>	<p>Gravedad Específica en Agregados Fines $G_{se} = 2.5884$</p> <p>Gravedad Específica en Agregados Gruesos $G_{sf} = 2.5844$</p> <p>Gravedad Específica en Mezcla $G_m = 2.5444$</p> <p>% de Agregado Fino MP = 80.00%</p>	<p>Gravedad Específica del Cemento Asfáltico Tipo de cemento Asfáltico según el Grado de Penetración Densidad del cemento Asfáltico (g/cm³) $\rho_{ca} = 1.0218000$</p> <p>Gravedad Específica del Cemento Asfáltico $G_c = 1.0259$</p> <p>Porcentaje de Aditivo $\%_{ad} = 6.50\%$</p>
<p>Gravedad Específica en Agregados de Agregados $G_{se} = 2.5944$</p>		
<p>Gravedad Específica en Agregados de la Combinación de Agregados $G_{se} = 2.6313$</p>		

2.44

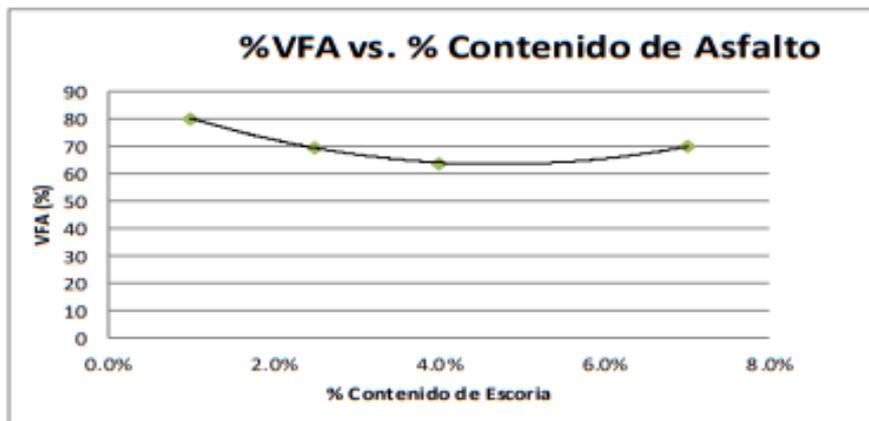
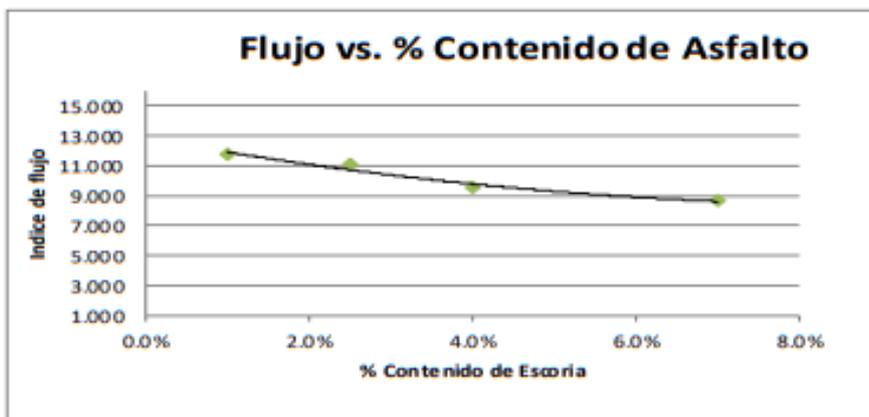
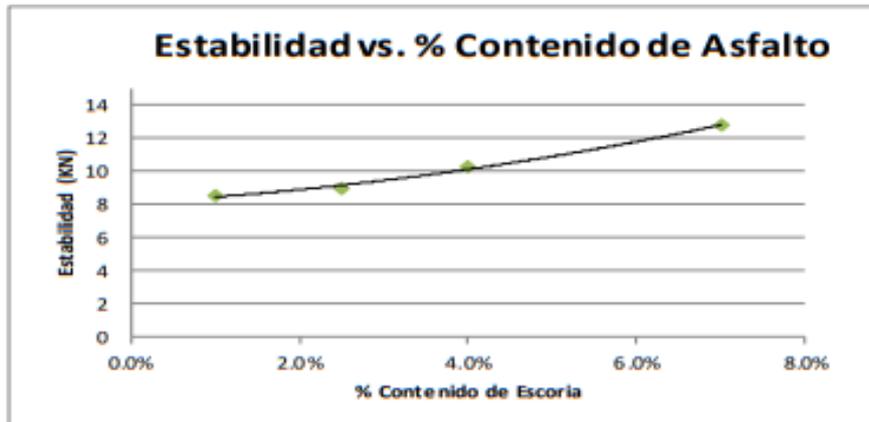
% de Aceite Quemado	Alteza de la Quebrantada (mm)	Peso de las Mezclas			Densidad Real (g/cm ³)	Gravedad Específica de la Mezcla Compuesta G_m	Gravedad Específica de la Mezcla de los Agregados G_{ma}	Gravedad Específica de los Agregados G_{se}	Porcentaje de Aceite de Mezcla P_a	Porcentaje de Aceite de Mezcla de los Agregados P_{af}	% de Aceite en el Mezcla Compuesta VMA	% de Aceite en la Mezcla de los Agregados VFA	Estabilidad Marshall			Indice de Flujo (psi)	Indice de Flujo (mm)	Ind. Rigidez
		M_1 (g)	M_2 (g)	M_{total} (g)									Levantamiento del Hilo (mm)	Estabilidad de Curva (KN)	Rango de Corrección (mm)			
0.0%	6.528	1175.000	1157.000	482.250	2.687281	2.635000	2.656	2.720	1.128	4.790	13.925	2.069	99.003	26.900	0.313	0.086	0.464	31.126823
2.5%	6.529	1184.000	1166.000	489.450	2.710000	2.656	2.720	1.128	4.790	13.925	4.805	69.458	52.600	0.370	0.030	0.426	0.426	26.5629529
4.0%	6.528	1186.000	1167.000	492.500	2.687131	2.656	2.720	1.128	4.790	13.925	6.140	61.643	37.600	0.248	0.029	0.248	0.176	27.26371682
7.0%	6.528	1179.000	1163.000	504.100	2.688032	2.656	2.720	1.128	4.790	13.925	4.764	69.443	60.000	0.364	1.001	0.470	0.141	27.2621744



BOBBIQUEZ IRIBNA MELERIVANER
INGENIERA DE MATERIALES
C.0117 101205



Jorge Alejandro Estrada Valencia
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



Jorge Alejandro Barrios Valencia
ING. DE MATERIALES
E.C.P. N° 197594

Anexo N°7 Procedimiento y cálculos

7.1. Diseño de mezcla asfáltica

En el presente estudio se empleará el método Marshall el cual es aplicable para elaboración de mezclas cuyo agregado tenga como tamaño máximo nominal de 1 pulgada (25.0 mm.), caso contrario si el agregado es de mayor tamaño se usará el molde de 6 pulgadas de diámetro. Las briquetas a elaborar con aceite de motor usado, se someterán a ensayos de estabilidad y flujo serán comparados en función del comportamiento de la mezcla con el asfalto base y con la modificación en porcentajes 1,2.5,4 y 7 por ciento, los 27 ensayos de laboratorio permitirán el análisis de resultados.

7.2. Mezcla de agregados

Para la elaboración de pistas es fundamental realizar una granulometría correcta, de manera que se obtenga una carpeta de rodadura de buena calidad, y una buena calidad de materiales y estas cumplan con las especificaciones en las cuales se destacan el porcentaje de vacíos, el porcentaje de vacíos llenos de asfalto, estabilidad, fluencia, etc. Todas el cual dependen de la granulometría.

Para obtener la granulometría deseada se calcula mediante la formula

Ecuacion 1 Aproximación del contenido de asfalto

$$p = 0.035 * a + 0.045 * b + X * c + F$$

Donde:

P= % de asfalto en peso de la mezcla

a= % de agregado retenido en el tamiz 1/2"

b= % de agregado que pasa el tamiz 1/2" y es retenido en el # 200

c= % de agregado que pasa el tamiz # 200

7.2.1. Granulometría de los agregados

Para realizar los ensayos con respecto al análisis granulométrico del agregado fino y grueso, se recoleto una muestra combinada de la cantera san Martin, ubicado al costado del panamericano norte, la muestra fue

llevada a laboratorio de la UNT donde se realizó el tamizado de las muestras.

7.2.2. Determinación y dosificación de cemento asfáltico

Para el diseño de las mezclas asfálticas se realizó en el laboratorio de la universidad nacional de Trujillo, lo primero que se determinó fue el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, por el cual se realizó un tanteo de muestras para el diseño de la mezcla convencional mediante la metodología Marshall para encontrar el cemento óptimo lo cual evaluamos desde el 4.5% incrementando +0.5% hasta llegar a 6.5% de C.A. se procedió con la elaboración de las briquetas, y para ello aplicamos la siguiente fórmula

$$p = 0.035 * a + 0.045 * b + X * c + F$$

Donde:

P= % de asfalto en peso de la mezcla

a= % de agregado retenido en el tamiz 1/2"

b= % de agregado que pasa el tamiz 1/2" y es retenido en el # 200

c= % de agregado que pasa el tamiz # 200

x= se considera de acuerdo al porcentaje que pasa hasta el tamiz N°200

$$X \begin{cases} 0.15^{\circ}c, \text{ cuando } 11-15 \% \text{ pasa tamiz N}^{\circ} 200 \\ 0.18^{\circ}c, \text{ cuando } 6-10 \% \text{ pasa tamiz N}^{\circ} 200 \\ 0.2^{\circ}c, \text{ cuando } < 5\% \text{ pasa tamiz N}^{\circ} 200 \end{cases}$$

para ello aplicaremos los datos para calcular el porcentaje óptimo

a=69.19, b=67.47, c=1.72

$$p = 0.035 * 69.19 + 0.045 * 67.47 + 0.2 * 1.72 + 0.85$$

$$p = 6.5$$

Para este ensayo utilizaremos la dosificación para un porcentaje de 6.5%.

7.2.3. Preparación y Elaboración de briquetas cilíndricas

Ya realizado la dosificación de cemento asfáltico y agregados se procede con la elaboración de briquetas, primero se hace el mezclado hasta obtener una mezcla homogénea para luego verterlo en el molde y posteriormente dar 75 golpes por cada cara para compactarlo, se retira y se pone en la máquina de desmoldear para retirar la briketa y dejarlo reposar por un

periodo de 24 horas para tomar el peso y luego someterse al baño maría por un tiempo de 30 minutos y posterior a ello se realiza los ensayos Marshall

Tabla 24. Dosificación de cemento asfáltico 6.5%

Descripción	CA-5		
	6.5		
Cemento asfáltico			
Peso de la briqueta	1148	1153	1149
Peso de la briqueta al agua por 60´	1176	1194	1175
Peso de la briqueta desplazada	687.5	679.4	689.5
Volumen de la briqueta por desplazamiento	488.5	514.6	485.5
P.e Bulk	2.350	2.241	2.367
Peso específico Máximo – Rice		2.319	

Fuente: elaboración propia

7.2.4. Realización de cálculos método Marshall

a) Volumen de la briqueta

Ecuacion 2 Ecuación de volumen

$$V = P. bH2O - P. desplazada$$

$$V1 = 1176 - 687.5 = 488.5$$

$$V1 = 1194 - 679.4 = 514.6$$

$$V1 = 1175 - 689.5 = 485.5$$

b) valor de densidad bulk

Ecuacion 3 Densidad bulk

$$D = M/V$$

$$D1 = 1148/488.5 = 2.350$$

$$D2 = 1153/514.6 = 2.241$$

$$D3 = 1149/485.5 = 2.367$$

c) Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm), Ensayo RICE

En este ensayo emplea

Ecuacion 4 Peso específico

$$G''mm = \frac{A}{A + D - C}$$

Donde:

A= Peso en el aire de la mezcla asfáltica secada al horno.

B= Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua a 25 °C ± 1°C (77°F).

C= Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua y Mezcla Asfáltica a 25 °C.

$$G''mm = \frac{1205.2}{1205.2 + 8187 - 6047} = 2.63$$

d) Contenido de asfalto efectivo

$$Pba = 100 * \left(\frac{Gbe - Gsb}{Gsb * Gse} \right) * Gb$$

Donde:

Gse= Contenido de asfalto efectivo, porcentaje de la masa total de la mezcla.

Gb= Contenido de asfalto, porcentaje de la masa total de la mezcla.

Gba= Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

Gs= Contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla

e) Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (VFA)

$$VFA = \frac{VMA - Va}{VMA}$$

VFA= Vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA= Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total.

Va= Vacíos de aire en mezclas compactadas, porcentaje del volumen total

f) Determinación de Estabilidad y flujo

6.1.2. Diseño de mezcla asfáltica con incorporación de weo

Para el diseño de mezcla asfáltica convencional se incorporó aceite quemado de motor de vehículos con los porcentajes de 1%, 2.5%, 4% y 7% con respecto al peso de la muestra y el contenido óptimo de 6.5% de cemento asfáltico.

PANEL FOTOGRÁFICO:



Figura 18. Ubicación Cantera san Martín



Figura 19. Selección de Agregado grueso cantera san Martín



Figura 20. Selección de Agregado fino cantera san Martín



Figura 21. Máquina de abrasión de los ángulos



Figura 22. Pesado de cemento asfáltico



Figura 23. Mezclado de agregados.



Figura 24. Mezcla homogénea



Figura 25. Moldeado de briqueta



Figura 26. Desmoldeado de briqueta



Figura 27. Briquetas



Figura 28. Prensa Marshall



Figura 29. Rotura de briquetas