

FACULTAD DE INGENIERÍA
Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“USO DEL VIDRIO MOLIDO PARA LA MEJORA DE LA DURABILIDAD EN PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CARRETERA DE LA AV. TORRES DE NIEVERIA, DISTRITO DE LURIGANCHO, PROVINCIA DE LIMA – 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Miriam Estrella Rosadio Calderon
Luis Andres Gamio Macedo

Asesor:

Mg. Ing. Jvan Jovanovic Aguirre
<https://orcid.org/0000-0003-1609-1704>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Erick Humberto Rabanal Chavez
	Nombre y Apellidos

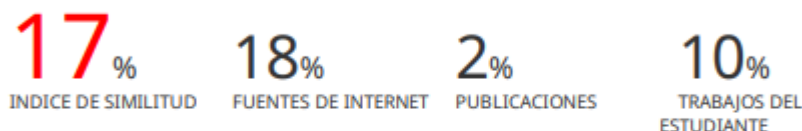
Jurado 2	José Alexander Ordoñez Guevara
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Jvan Jovanovic Aguirre
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

USO DEL VIDRIO MOLIDO PARA LA MEJORA DE LA DURABILIDAD EN PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CARRETERA DE LA AV. TORRES DE NIEVERIA, DISTRITO DE LURIGANCHO, PROVINCIA DE LIMA – 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
5	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	andina.pe Fuente de Internet	1%
7	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	revista.religacion.com Fuente de Internet	1%
<hr style="border: 2px solid black;"/>		
9	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas Apagado Excluir coincidencias < 1%
Excluir bibliografía Apagado

DEDICATORIA

A Dios

Dedicamos nuestra tesis a Dios, porque ha guiado nuestros pasos y camino hacia el éxito. Ha estado con nosotros en cada momento, cuidándonos y dándonos fortalezas para continuar y no rendirnos ante las adversidades que se nos presentaron en todo este tiempo.

A mis padres y seres queridos

Luis:

Este trabajo se lo dedico a mis padres por apoyarme siempre en cada proyecto que trazo en mi vida, por siempre impulsarme a superarme y nunca dejarme desistir. Gracias por todo, son y serán siempre mi motivación para avanzar en mi vida.

Miriam:

Dedico mi tesis con todo mi corazón a mis padres, ya que me brindaron su apoyo incondicionalmente y sin ellos no lo habría logrado. Su bendición a lo largo de mi vida me lleva y protege por el camino del bien. Agradecer por sus consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles sobre todo con los recursos necesarios para estudiar. También a mi tío por ayudarme y apoyarme para conseguir mis objetivos con perseverancia y empeño.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial al Mg. Ing. Jvan Jovanovic Aguirre por contribuir con nuestra formación académica y darnos el tiempo adecuado para el desarrollo de la presente tesis. Brindándonos los consejos necesarios para desarrollar con éxito la presente investigación.

También agradecer a la universidad, los profesores y compañeros en general, por toda esta etapa universitaria.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Objetivos.....	16
1.4. Hipótesis.....	16
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	18
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	24
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	49
CONCLUSIONES.....	58
REFERENCIAS.....	59
ANEXOS.....	63
ANEXO 1- PANEL FOTOGRÁFICO.....	64

Índice de tablas

Tabla 1. Guía de documentación.....	20
Tabla 2. Guía de observación.....	21
Tabla 3. Tamaño de muestra.	22
Tabla 4. Análisis Granulométrico del agregado grueso.	24
Tabla 5. Método de ensayo para determinar el Contenido de Humedad.	25
Tabla 6. Gravedad específica y absorción de los agregados.	26
Tabla 7. Peso unitario y vacío de los agregados.	26
Tabla 8. Abrasión Los Ángeles.....	27
Tabla 9. Sales solubles totales.....	27
Tabla 10. Determinación de partículas chatas y alargadas.....	28
Tabla 11. Determinación de Caras Fracturadas.	28
Tabla 12. Determinación de Caras Fracturadas.	29
Tabla 13. Análisis Granulométrico por Tamizado.	30
Tabla 14. Equivalente de Arena.	31
Tabla 15. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad.	32
Tabla 16. Gravedad específica y absorción de los agregados.	32
Tabla 17. Peso unitario y vacío de los agregados.	33
Tabla 18. Sales solubles totales.....	33
Tabla 19. Inalterabilidad de los agregados – Datos del ensayo.	34
Tabla 20. Índice de durabilidad de agregados.....	34
Tabla 21. Análisis Granulométrico.	35
Tabla 22. Resultados del diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 4.5% de cemento asfáltico.	36
Tabla 23. Resultados del diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 5% de cemento asfáltico.	37
Tabla 24. Resultados del diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 5.5% de cemento asfáltico.	38
Tabla 25. Resultados del diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 6% de cemento asfáltico.	39
Tabla 26. Resumen de los diseños de mezcla asfáltica convencional.	40
Tabla 27. Características para el diseño Marshall.....	44
Tabla 28. Dosificación para el diseño de mezcla modificado.....	45
Tabla 29. Resultados del diseño de mezcla asfáltica modificada con la adición del 9% de vidrio molido.	46
Tabla 30. Resultados del diseño de mezcla asfáltica modificada con la adición del 12% de vidrio molido.	47
Tabla 31. Resultados del diseño de mezcla asfáltica modificada con la adición del 15% de vidrio molido.	48
Tabla 32. Resumen de los diseños de mezcla asfáltica modificada.	53
Tabla 33. Parámetros de Diseño de la Tesis de Abel G.	54
Tabla 34. Parámetros de Diseño de la Tesis de Melendrez.....	55

Índice de figuras

Figura 1. Piel de cocodrilo (Juan de Dios R. & Lesly Y, 2018)	10
Figura 2 . Vaciado del polvo de vidrio reciclado (Grupo Bitafal, 2021)	11
Figura 3. Falla por ahuellamiento en el pavimento (Iveth Guzmán, 2016)	12
Figura 5. Falla por ahuellamiento y piel de cocodrilo en el pavimento (Ralph Zapata ,2017)	14
Figura 6. Falla por desintegración de peladuras (MNC MEDIOS, 2021).....	15
Figura 7. Desintegración por desprendimiento de agregados (Rolando Gonzales, 2019)	15
Figura 8 Moldes de briquetas usadas en el laboratorio	19
Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso.	25
Figura 9. Curva granulométrica del agregado fino.	31
Figura 11. Determinación del peso unitario.	40
Figura 12. Determinación del porcentaje de vacíos.	41
Figura 13. Determinación de vacíos de agregado mineral.	41
Figura 14. Determinación de vacíos llenos de cemento asfáltico.	42
Figura 15. Determinación de polvo/asfalto.	42
Figura 16. Determinación del flujo.	43
Figura 17. Determinación de la estabilidad.....	43
Figura 18. Gráfico comparativo de pesos unitarios.	49
Figura 19. Gráfico comparativo de vacíos.	50
Figura 20. Gráfico comparativo de vacíos en el agregado mineral.....	50
Figura 20. Gráfico comparativo de vacíos llenos en el cemento asfáltico.	51
Figura 22. Gráfico comparativo de flujo.....	51
Figura 23. Gráfico comparativo de estabilidad.	52
Figura 24. Gráfico comparativo de polvo / asfalto.	52

RESUMEN

Esta investigación abordó el tema del uso de vidrio molido para la mejora de la durabilidad en pavimentos flexibles, debido a que existen diversas fallas como el agrietamiento, fisuramiento, un mal diseño de la mezcla asfáltica, la contaminación y/o falta de mantenimiento del pavimento, en el Perú. El objetivo principal de la investigación fue mejorar la durabilidad de los pavimentos flexibles mediante la adición de vidrio molido en las mezclas asfálticas. Para ello se llevó a cabo una campaña experimental y aplicativa, en la cual se ensayaron 03 briquetas de asfalto caliente con vidrio molido en 9%, 03 briquetas de asfalto caliente con vidrio molido en 12% y 03 briquetas de asfalto caliente con vidrio molido en 15%, para reducir el agregado fino. Finalmente, los resultados permitieron concluir que en todos los casos se dio la mejora de la estabilidad del pavimento flexible. Así mismo, una comparación de los resultados obtenidos con las de otras alternativas de diferente porcentaje de vidrio molido, permitió posicionar que el uso del 15% de vidrio molido en reducción del agregado fino, brinda un mayor incremento en la estabilidad y durabilidad del pavimento flexible, en el Perú.

PALABRAS CLAVES: Vidrio molido, pavimento flexible, durabilidad, estabilidad, agregado fino

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel Internacional

Las carreteras son parte fundamental en el desarrollo económico y social de cada país, ya que en su mayoría conforman parte de la estructura vial de transporte que sirve como medio de conexión entre ciudades, pueblos, entre otros. El transporte por carretera es el más importante de Brasil, debido a que la mayor parte del movimiento de carga y pasajeros ocurre a través de vehículos de carretera. Datos recientes muestran que el 61% del transporte de carga y el 95% del transporte de pasajeros se realiza en la red vial del país (CNT 2019). Asimismo, en EE. UU., aproximadamente el 66% y el 88% de la carga y los pasajeros, se transporta a través de la red de carreteras (Ziari et al, 2020)

Por otro lado, algunos de los problemas más comunes en los pavimentos son el agrietamiento, la piel de cocodrilo, el cambio abrupto de temperatura y las diferentes cargas a las que están sometidas (Figura 1). La temperatura del pavimento de asfalto es mucho más alta que la temperatura en el verano cuando se expone a la radiación solar. En este caso, la resistencia al corte de la mezcla asfáltica se reduce y hace que se debilite su resistencia a la deformación permanente o al surco. La formación de surcos traerá efectos negativos significativos sobre la seguridad del tráfico y la estabilidad de la estructura del pavimento; mientras que en climas fríos se tiende a rigidizar y aparecen las fisuras transversales (YF Du et all, 2018).



Figura 1. Piel de cocodrilo (Juan de Dios R. & Lesly Y, 2018)

Según Anjali, et al (2021) las altas temperaturas del pavimento originan la isla de calor urbano (UHI) que es un fenómeno térmico y este produce un deterioro en los pavimentos. Por otro lado, la eliminación de materiales de desecho no biodegradables, como el vidrio, es un importante problema de investigación y una grave amenaza para el medio ambiente.

La parte ambiental en la construcción de una carretera debería ser primordial, no obstante, la realización de esta junto con la obtención de los materiales a utilizar genera un impacto ambiental negativo. Con la difusión de la cultura del consumismo en todo el mundo, los materiales de desecho se han convertido en un problema ambiental común en muchos países. Se puede reciclar una mayor cantidad de materiales de desecho y, por lo tanto, no es lógico quemarlos o desecharlos en vertederos. Por tanto, el reciclaje de residuos ha recibido una gran atención en muchos países desarrollados e incluso es la piedra angular de una industria madura (R. Mallick et al, 2015).



Figura 2 . Vaciado del polvo de vidrio reciclado (Grupo Bitafal, 2021)

A nivel Nacional

El Perú en el año 2019 tuvo un reporte de la red de vía nacional 27054km de carretera pavimentada (MTC), pero el 12% del total no se encuentran en un buen estado debido a fallas como el agrietamiento, fisuramiento, un mal diseño de la mezcla asfáltica, la contaminación y/o falta de mantenimiento.

El distrito de La Victoria en el año 2016, entre el 70% y 80% de las pistas se encontraban deterioradas, debido a que no se realizaba ningún mantenimiento como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3. Falla por ahuellamiento en el pavimento (Iveth Guzmán, 2016)

En el año 2018, la Contraloría General de la República del Perú detectó un perjuicio económico por 1 millón 535,908 soles en la ejecución del servicio de implementación de pavimentos para diversas vías metropolitanas, contratado por la Empresa Municipal Administradora de Peaje de Lima (Emape), según informó la entidad de control. Asimismo, se evidenció la presunta responsabilidad civil y administrativa de un exservidor y dos exfuncionarios de Emape. El referido servicio, cuyo monto contractual ascendía a 7 millones 469,499.83 soles, se llevó a cabo en 14 intervenciones que comprendían vías metropolitanas que recorrían los distritos de Jesús María, La Molina, La Victoria, Magdalena del Mar, Pueblo Libre, Santa Anita y Santiago de Surco.

Esta situación tuvo un impacto negativo en las obras realizadas, generando problemas como el hundimiento longitudinal, grietas causadas por fatiga (similar a la apariencia de la piel de un cocodrilo), exudación, deformación de la superficie y desplazamiento lateral, con un grado significativo de gravedad, en varias áreas donde se llevó a cabo el proyecto. Estos problemas afectaron tanto la circulación de vehículos como la seguridad peatonal, así como la calidad del pavimento. Las áreas afectadas por estas deficiencias estructurales se encuentran en los distritos de La Molina y Santa Anita.

ANDINA. (2019). Detectan perjuicio de más de S/ 15 millones en obras contratadas por EMAPE.<https://andina.pe/agencia/noticia-detectan-perjuicio-mas-s-15-mllns-obras-contratadas-emappe-774035.aspx>



Figura 1. Fuente: Contraloría del Perú

En el año 2017 las carreteras Sullana – Talara, Piura – Catacaos y la Av. Progreso, presentaron fallas debido al desborde del río Piura ocasionado por el fenómeno del niño.



Figura 4. Falla por ahuellamiento y piel de cocodrilo en el pavimento (Ralph Zapata ,2017)

Actualmente en la ciudad de Moyobamba entre el cruce del Jr. Alonso de Alvarado y Jr. Emilio Acosta, la calle se encuentra en deterioro presentando hundimientos en los contornos de la tapa de un buzón. Esto se ocasionó ya que la calle es muy transitada por diferentes medios de transporte.



Figura 5. Falla por desintegración de peladuras (MNC MEDIOS, 2021)

En el año 2019 en las calles y avenidas de la ciudad de Trujillo debido a la falta de mantenimiento por más de dos años, las pistas se presentaban en estado deplorables.



Figura 6. Desintegración por desprendimiento de agregados (Rolando Gonzales, 2019)

1.2. Formulación del problema

Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación se ha planteado la siguiente interrogante:

¿Es posible optimizar la durabilidad del pavimento flexible con la aplicación de vidrio molido?

1.3. Objetivos

Objetivo General

Mejorar la durabilidad de pavimentos flexibles mediante la adición de vidrio molido en mezclas asfálticas.

Objetivos Específicos

- Recolectar información técnica y literaria acerca de ensayos sobre mejoras mecánicas del pavimento.
- Realizar los ensayos de laboratorio para el mejoramiento mecánico del pavimento flexible y comparar con resultados de otra investigación.
- Diseñar una guía práctica y fácil para la implementación del uso de vidrio molido al 9%, 12% y 15% en reemplazo del agregado fino en mezclas asfálticas.

1.4. Hipótesis

El uso de vidrio molido permitirá mejorar las propiedades del pavimento flexible con la aplicación de vidrio molido para obtener mejoras en las propiedades mecánicas del pavimento.

JUSTIFICACIÓN

La construcción de pavimentos es necesario para la comunicación de ciudades, sin embargo, en muchos casos la realización de dicha obra causa una alta contaminación ambiental. En el Perú las implementaciones de los métodos ecológicos para la construcción, no ha sido tomado muy en cuenta o con seriedad. En ese sentido, la importancia del presente trabajo radica en la evaluación del efecto del vidrio molido en pavimentos como reemplazo de agregado fino en porcentajes, asimismo, realizaremos ensayos para determinar si esta mejora las propiedades mecánicas del pavimento. Con esto no solo se reducen costos, sino que se contribuye con el cuidado del medio ambiente al usar un material reciclable

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de estudio

El presente estudio, en función de su enfoque, se clasifica como un estudio experimental, aplicativo y cuantitativo, ya que evalúa el efecto del uso del vidrio molido en los pavimentos flexibles y se obtendrán datos numéricos que serán resultado de los ensayos realizados en el laboratorio.

Especímenes de Estudio

En la investigación, los especímenes de estudio quedaron definidas por 18 briquetas; 09 briquetas de asfalto caliente convencional que serán agrupados en grupos de 03 los cuales servirán para encontrar el porcentaje de asfalto óptimo para el diseño de mezcla MTC (2016). Las 09 briquetas restantes estuvieron constituidas por 03 briquetas de asfalto caliente con vidrio molido en 9%, 03 briquetas de asfalto caliente con vidrio molido en 12% y 03 briquetas de asfalto caliente con vidrio molido en 15%, para reducir el agregado fino (Ver Anexo 1 - Panel Fotográfico). Las dimensiones de las briquetas son 10.2 x 6.7 cm.



Figura 7 Moldes de briquetas usadas en el laboratorio

Los materiales involucrados en la construcción de los especímenes son:

- Cemento asfáltico proveniente del proveedor PetroPerú, ya que pasa por un proceso de refinamiento para que así pueda cumplir con los requisitos establecidos por AASSTHO para la realización de las mezclas asfálticas.
- Vidrio molido, es una sustancia brillante y transparente, se obtiene de diferentes cosas como las botellas, bombillos, luces, cerámicas, lunas, etc. La trituración del vidrio elimina los bordes puntiagudos, ya que no genera peligro para los vehículos que circulan por la vía.
- Tamiz de granulometría, sirve para separar agregados de diferentes tamaños, en nuestro caso usaremos agregados de la malla N° 16.
- Agregados pétreos, están conformados por rocas trituradas, arena proveniente de las rocas o de su desintegración misma, grava, arcillas, entre otros.

- El betún asfáltico, es un ligante procedente de la destilación del petróleo. Se caracteriza por tener un comportamiento viscoelástico dependiente de la temperatura y una gran estabilidad química. También se denomina betún de penetración debido a que es esta propiedad la que sirve para su clasificación.

Técnicas de Recolección de Datos

En el presente trabajo se usaron como técnicas la documentación, ya que con los resultados obtenidos haremos una comparación entre la mezcla común y la que contiene vidrio triturado, además usaremos datos de otras investigaciones científicas para también poder comparar los resultados. Para esta técnica se usará como instrumento la guía de documentación tal como se muestra en la tabla 1, la cual servirá para registrar datos como el porcentaje de vidrio que se usó, el cemento asfáltico del diseño de mezcla, el flujo, entre otros datos.

Tabla 1. Guía de documentación.

Parámetros de diseño					
VIDRIO MOLIDO	%				
CEMENTO ASFÁLTICO	%				
PESO UNITARIO	kg/m ³				
VACIOS	%				
V.M.A	%				
V.LL.C.A	%				
FLUJO	mm				
ESTABILIDAD	kN				

Fuente: Elaboración propia

También se usó la técnica de observación porque se elaboró una mezcla asfáltica convencional y otra mezcla asfáltica con vidrio triturado o fibras de vidrio que reemplazaron al 9%, 12% y 15% de agregado fino. Para esta técnica se usó como instrumento la guía de observación tal como se muestra en la tabla 2, la cual servirá para registrar datos como el porcentaje de vidrio que se usó, el cemento asfáltico del diseño de mezcla, el flujo, entre otros datos.

Tabla 2. Guía de observación.

Parámetros de diseño					
VIDRIO MOLIDO	%				
CEMENTO ASFÁLTICO	%				
PESO UNITARIO	kg/m³				
VACIOS	%				
V.M.A	%				
FLUJO	mm				
ESTABILIDAD	kN				

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de Recolección de Datos

Los especímenes serán los ensayos que se llevarán a cabo en los laboratorios y estarán compuestos por las mezclas de asfalto caliente con vidrio molido, así como por el asfalto convencional. Los ensayos a los que serán sometidos son los siguientes:

- El ensayo de Granulometría con la Norma: MTC E 502, AASHTO T-27, INEN 696: Cuya finalidad sirve para determinar la curva granulometría de los agregados mediante un proceso de clasificación del agregado por su tamaño nominal, los cuales se usarán diversos tamices para los agregados grueso y fino. El cual nos hace referencia que la cantidad de agregado y el agregado grueso se considerará de acuerdo a lo establecido en la tabla N° 1 del Manual de Ensayo de Materiales MTC E 502.

Tabla 3. Tamaño de muestra.

Tamaño nominal máximo del agregado		Masa mínima de la muestra kg
mm	pulg	
4,75	(Nº 4)	0,5
9,5	3/8"	1,0
12,5	1/2"	1,5
19,0	3/4"	2
25,0	1"	3
37,5	1 1/2"	4

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales MTC E 502.

- Equivalente de arena con las Normas: AASHTO T-176, ASTM D 2419-09. Determina qué cantidad de polvo o material no apto se tiene en la muestra de agregados finos y arena.
- Desgaste por abrasión en la máquina de los ángeles Normas: ASTM C 131-09,

AASHTO T-96, INEN 860-861. Determina la resistencia a la fractura que tiene el material, por medio del desgaste y la fricción entre partículas.

Ensayos de asfalto:

- El ensayo de ductilidad ASTM D 113-07. Determina si el asfalto en el tiempo de vida útil, resistirá al cambio de temperaturas o a las diferentes cargas a las que será sometido, para evitar que se produzcan fisuramientos, debido que la ductilidad es la capacidad que tiene un material para deformarse y volver a su estado original después de ser sometido a una fuerza.
- Punto de chispa ASTM D 92-12B. Determina la temperatura máxima del asfalto sin que sea inflamable. Además, sirve para ver a qué temperatura envejecerá la mezcla.
- El ensayo de Viscosidad ASTM D 4402- D4402M. Determina la temperatura del mezclado y la de compactación, a mayor temperatura la viscosidad el asfalto es menor.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

Agregado Grueso

En la tabla 4 se observan los datos de los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados al agregado grueso en el laboratorio, para así poder determinar si el material es apto o no para la elaboración de la mezcla asfáltica. Teniendo como resultado que los agregados extraídos de la cantera Pancho Medina (Huambacho) - distrito de Samanco, se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma (Manual de Ensayo de Materiales), siendo estos aptos para el diseño.

Tabla 4. Análisis Granulométrico del agregado grueso.

TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm.)	PESO RET. (gr)	RETENIDO		PASANTE (%)	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
			PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)			
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						Tamaño Maximo : 3/4" pulg.
2"	50.800						Humedad : 0.69 %
1 1/2"	38.100				100.0		Piedra : 97.7 %
1"	25.400				100.0		Arena : 2.3 %
3/4"	19.050	672.3	6.8	6.8	93.2		Modulo de Fineza : 6.8 -
1/2"	12.700	3591.4	36.4	43.2	56.8		
3/8"	9.525	2837.2	28.7	71.9	28.1		
1/4"	6.350						
No. 4	4.760	2547.2	25.8	97.7	2.3		Peso Especifico : 2.662 gr/cm ³
No. 8	2.360	230.2	2.3	100	0.0		Absorcion : 1.03 %
No. 10	2.000						P. U. S : 1345 kg/m ³
No. 16	1.190						P. U. C : 1491 kg/m ³
No. 20	0.834						Sales solubles : 0.01 %
No. 30	0.600						
No. 40	0.420						Abrasion : 10.6 %
No. 50	0.300						Part. Chatas y Alarg. : 4.74 %
No. 60	0.250						Caras fracturadas : 87.8 %
No. 80	0.177						
No. 100	0.149						PESO TOTAL (Gr) : 9878.3
No. 200	0.075						SUCS : GW
-200							

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

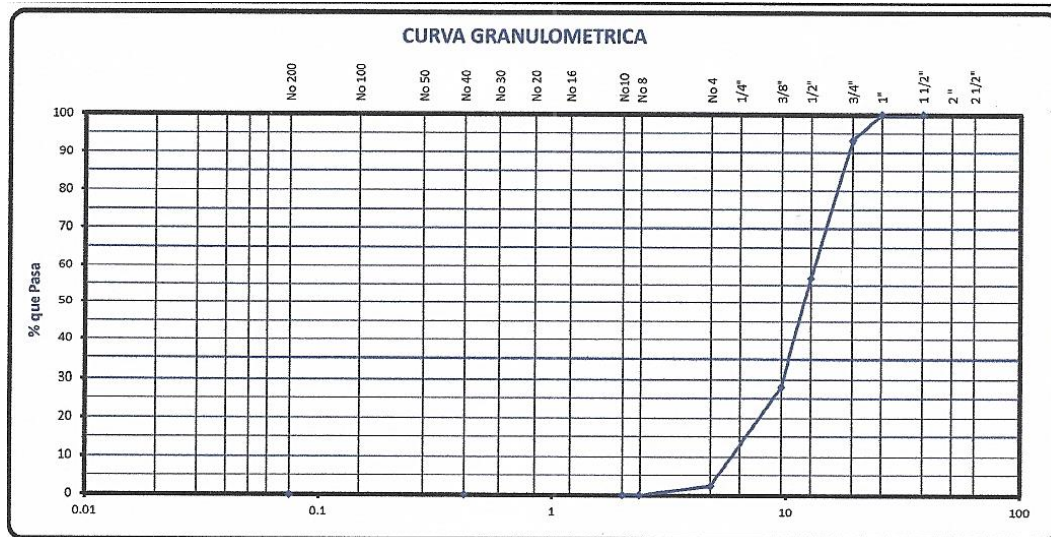


Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso.

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 5, se pueden observar los resultados del ensayo contenido de humedad que sirve para determinar la relación entre el peso del agua en una masa dada del suelo y el peso de las partículas sólidas.

Tabla 5. Método de ensayo para determinar el Contenido de Humedad.

DATOS					
DESCRIPCION	UND.	MUESTRA. - 1			PROMEDIO
Recipiente	N°	1			
Recipiente + Suelo Humedo	gr.	2000.00			
Recipiente + Suelo Seco	gr.	1986.35			
Peso del Recipiente	gr.	0.00			
Peso del Agua	gr.	13.65			
Peso del Suelo Seco	gr.	1986.35			
Humedad	%	0.69			0.69

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 6, se puede observar los resultados del ensayo gravedad específica y absorción de los agregados, logrando calcular el volumen ocupado por el agregado y su condición de saturación con la superficie seca.

Tabla 6. Gravedad específica y absorción de los agregados.

AGREGADO GRUESO MTC E 206						
A	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire)	(gr)	5000.0	5000.0		
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua)	(gr)	3122.0	3122.0		
C	Vol. de masa + vol de vacíos = A-B	(gr)	1878.0	1878.0		
D	Peso material seco en estufa (105°C)	(gr)	4948.0	4950.0		
E	Vol. de masa = C- (A - D)	(cm³)	1826.0	1828.0		PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = D/C	(gr/cm³)	2.635	2.636		2.635
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	(gr/cm³)	2.662	2.662		2.662
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	(gr/cm³)	2.710	2.708		2.709
	Absorción = ((A - D) / D * 100)	(%)	1.051	1.010		1.031

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 7, se pueden observar los resultados del ensayo de peso unitario y vacío de los agregados, logrando calcular la densidad total del agregado grueso.

Tabla 7. Peso unitario y vacío de los agregados.

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO							
CANTERA :							
MUESTRA :							
MOLDE :	N°	SUELTO			VARILLADO		
DETERMINACION N°		1	2	3	4	5	6
Peso del molde más agregado seco	(gr)	28050	28110	28080	30125	30182	30150
Peso del molde	(gr)		8993			8993	
Peso del agregado seco (gr)	(gr)	19057	19117	19087	21132	21189	21157
Volúmen del molde	(cm³)		14187			14187	
Peso específico Bulk del agregado	(gr/cm³)		2.662			2.662	
Absorción del agregado	(%)		1.03			1.03	
Peso Unitario en condición SSS	(kg/m³)	1357	1361	1359	1505	1509	1507
Vacios en el agregado	(%)	49.4	49.3	49.4	43.9	43.8	43.9
Peso Unitario en condición Seca	(kg/m³)	1343	1348	1345	1490	1494	1491
Peso Unitario Seco promedio	(kg/m³)		1345			1491	

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 8, se puede observar los resultados del ensayo de Abrasión Los Ángeles, logrando calcular el porcentaje de desgaste del agregado grueso.

Tabla 8. Abrasión Los Ángeles.

METODO		PESOS Y GRANULOMETRIAS REQUERIDOS				PESOS Y GRANULOMETRIAS EMPLEADOS			
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	A	B	C	D	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250 ± 25							
1"	3/4"	1250 ± 25							
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10				2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10				2501 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10					
1/4"	Nº 4			2500 ± 10					
Nº 4	Nº 8				5000 ± 10				
PESO TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10		5001 ± 10		
Nº de Esferas		12	11	8	6		11		
Peso de las Esferas (gr)		390 - 445	391 - 445	392 - 445	393 - 445		391 - 445		
Peso Retenido en la malla Nº 12					(gr)		4,472		
Peso que pasa en la malla Nº 12					(gr)		528.9		
Desgaste					(%)		10.6%		

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 9, se pueden observar los resultados del ensayo de sales solubles totales, logrando determinar el porcentaje de cloruros y sulfatos.

Tabla 9. Sales solubles totales.

MUESTRA GRAVA		1	2	
Peso de Tara	(gr)	170.23	169.12	
Peso tara + agua + sal	(gr)	219.33	220.01	
Peso tara + sal	(gr)	170.24	169.13	
Peso sal	(gr)	0.005	0.010	
Peso agua	(gr)	49.10	50.88	
Sales solubles totales	(%)	0.010	0.020	
Promedio de Sales Solubles Tot. (%)		0.015		

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 10, se pueden observar los resultados del ensayo para la determinación de las partículas chatas y alargadas, logrando obtener el porcentaje de partículas planas, alargadas o plano – alargadas.

Tabla 10. Determinación de partículas chatas y alargadas.

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS					
TAMIZ	ABERTURA	RETENIDO ORIGINAL (%)	PESO MUESTRA (gr)	NUMERO DE PARTICULAS	EN PESO			NUMERO DE PARTICULAS		
(pulg)	(mm)				PESO (gr)	%	CORREGIDO	PARTICULAS	%	CORREGIDO
3"	76.200									
2 1/2"	63.500									
2"	50.800									
1 1/2"	38.100									
1"	25.400									
3/4"	19.050									
1/2"	12.700	36.4	1149.0	200	55.7	4.9	1.77	16	8.0	2.91
3/8"	8.750	28.7	375.2	200	38.8	10.3	2.97	33	16.5	4.74
1/4"	6.350									
Total:		65.1	1524	400	95		4.74	49		7.65

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 11, se pueden observar los resultados del ensayo para la determinación de Caras Fracturadas, logrando obtener el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras del agregado grueso.

Tabla 11. Determinación de Caras Fracturadas.

CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS						
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO DE LA MUESTRA (A) (gr)	PESO MUESTRA CON CARAS FRACT. (B) (gr)	PORCENTAJE DE CARAS FRACT. B/A*100 (C) (%)	RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL (D) (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACT. C*D (E)
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	1500.3 g	1480.3 g	98.7%	6.8%	671.0
3/4"	1/2"	500.6 g	480.3 g	95.9%	36.4%	3492.2
1/2"	3/8"	200.3 g	150.0 g	74.9%	26.7%	2149.3
TOTAL		2201.2			71.9%	6312.5
% con una o más caras fracturadas (E/D)						87.8%

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 12, se pueden observar los resultados del ensayo para la determinación de Caras Fracturadas, logrando obtener el porcentaje, en peso, del material que presente dos o más caras fracturadas de las muestras del agregado grueso.

Tabla 12. Determinación de Caras Fracturadas.

CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS						
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO DE LA MUESTRA (A) (gr)	PESO MUESTRA CON CARAS FRACT. (B) (gr)	PORCENTAJE DE CARAS FRACT. B/A*100 (C) (%)	RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL (D) (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACT. C*D (E)
1 1/2"	1"				0.0%	
1"	3/4"	1500.3 g	856.0 g	57.1%	6.8%	388.0
3/4"	1/2"	500.6 g	250.0 g	49.9%	36.4%	1817.8
1/2"	3/8"	200.3 g	102.0 g	50.9%	28.7%	1461.4
TOTAL		2201.2			71.9%	3667.2
% con dos o más caras fracturadas (E/D)						51.0%

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

Agregado Fino

En la tabla 13, se observan los datos de los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados al agregado fino en el laboratorio, para así poder determinar si el material es apto o no para la elaboración de la mezcla asfáltica. Teniendo como resultado que los agregados extraídos de la cantera Pancho Medina (Huambacho) - distrito de Samanco, se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma (Manual de Ensayo de Materiales), siendo estos aptos para el diseño.

Tabla 13. Análisis Granulométrico por Tamizado.

TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm.)	PESO RET. (gr)	RETENIDO		PASANTE (%)	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
			PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)			
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						Tamaño Máximo : 1/4" pulg.
2"	50.800						Humedad : 0.86 %
1 1/2"	38.100						Piedra : 6.2 %
1"	25.400						Arena : 93.8 %
3/4"	19.050						Modulo de Fineza : 3.60 -
1/2"	12.700						Malla 200 : 3.9 %
3/8"	9.525						Equiv. Arena : 83 %
1/4"	6.350				100.0		Peso Especifico : 2.685 gr/cm ³
No. 4	4.760	52.4	6.2	6.2	93.8		Absorcion : 0.79 %
No. 8	2.360	253.6	29.8	36.0	64.0		P. U. S : 1489 kg/m ³
No. 10	2.000	62.3	7.3	43.3	56.7		P. U. C : 1642 kg/m ³
No. 16	1.190	154.2	18.1	61.4	38.6		Sales solubles : 0.02 %
No. 20	0.834						Durabilidad : 11.66 %
No. 30	0.600	124.5	14.6	76.0	24.0		
No. 40	0.420	49.1	5.8	81.8	18.2		
No. 50	0.300	39.7	4.7	86.5	13.5		
No. 60	0.250	44.5	5.2	91.7	8.3		Indice de durabilidad : 74.7 %
No. 80	0.177						
No. 100	0.149	21.7	2.6	94.3	5.7		PESO TOTAL (Gr) : 850.0
No. 200	0.075	39.7	4.7	99.0	1.0		SUCS : SP
-200		8.3					

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

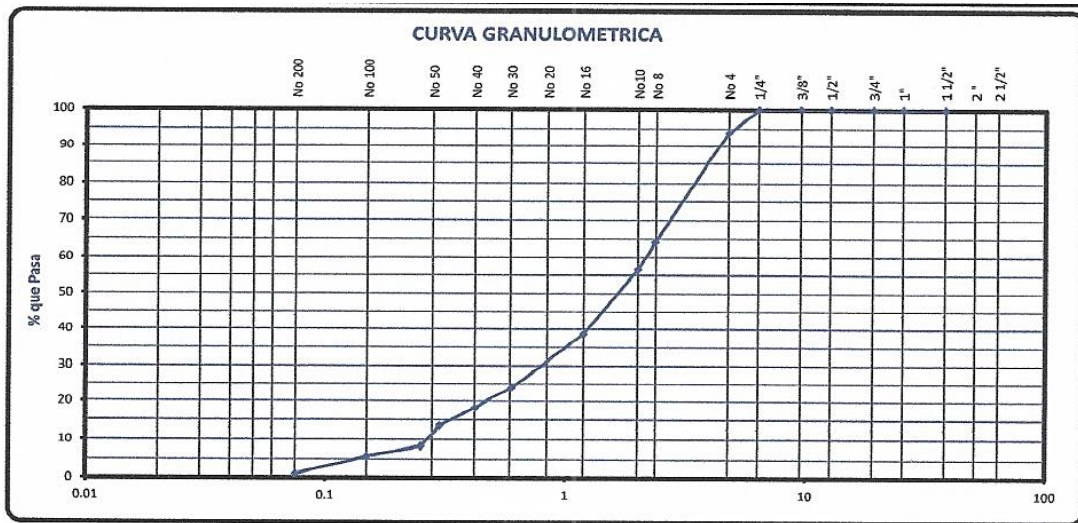


Figura 9. Curva granulométrica del agregado fino.

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 14, se pueden observar los resultados del ensayo de equivalente de arena, determinando las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los agregados que pasan el tamiz N°4.

Tabla 14. Equivalente de Arena.

DESCRIPCION		IDENTIFICACION			Promedio %
		1	2	2	
Tamaño máximo (pasa tamiz N°4)	(mm)	4.76	4.76	4.76	
Hora de entrada a saturación		12:00	12:02	12:04	
Hora de salida de saturación (mas 10')		12:10	12:12	12:14	
Hora de entrada a decantación		12:12	12:14	12:16	
Hora de salida de decantación (mas 20')		12:32	12:34	12:36	
Altura máxima de material fino	(plg)	4.30	4.30	4.20	
Altura máxima de la arena	(plg)	3.60	3.55	3.50	
Equivalente de Arena	(%)	84	83	83	83

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 15, se pueden observar los resultados del ensayo contenido de humedad que sirve para determinar la relación entre el peso del agua en una masa dada del suelo y el peso de las partículas sólidas.

Tabla 15. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad.

DATOS					
DESCRIPCION	UND.	MUESTRA. - 1			PROMEDIO
Recipiente	Nº	1			
Recipiente + Suelo Humedo	gr.	900.00			
Recipiente + Suelo Seco	gr.	892.30			
Peso del Recipiente	gr.	0.00			
Peso del Agua	gr.	7.70			
Peso del Suelo Seco	gr.	892.30			
Humedad	%	0.86			0.86

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 16, se pueden observar los resultados del ensayo gravedad específica y absorción de los agregados, logrando calcular el volumen ocupado por el agregado y su condición de saturación con la superficie seca.

Tabla 16. Gravedad específica y absorción de los agregados.

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE LOS AGREGADOS					
AGREGADO FINO MTC E 205					
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)	(gr)	500.00	500.00	
B	Peso Frasco + agua	(gr)	673.00	673.00	
C	Peso Frasco + agua + A	(gr)	1173.00	1173.00	
D	Peso del Mat. + agua en el frasco	(gr)	986.00	987.50	
E	Vol de masa + vol de vacío = C-D	(gr)	187.00	185.50	
F	Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C)	(gr)	496.20	496.00	
G	Vol de masa = E - (A - F)	(cm³)	183.20	181.50	PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = F/E	(gr/cm³)	2.65	2.67	2.664
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	(gr/cm³)	2.674	2.695	2.685
	Pe aparente (Base Seca) = F/G	(gr/cm³)	2.709	2.733	2.721
	Absorción = ((A - F)/F)*100	(%)	0.766	0.806	0.786

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 17, se pueden observar los resultados del ensayo de peso unitario y vacío de los agregados, logrando calcular la densidad total del agregado fino.

Tabla 17. Peso unitario y vacío de los agregados.

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO							
DETERMINACION N°		SUELTO			VARILLADO		
		1	2	3	4	5	6
Peso del molde más agregado seco	(gr)	6903	6910	6915	7325	7346	7350
Peso del molde	(gr)	2713			2713		
Peso del agregado seco (gr)	(gr)	4190	4197	4202	4612	4633	4637
Volúmen del molde	(cm ³)	2818			2818		
Peso específico Bulk del agregado	(gr/cm ³)	2.685			2.685		
Absorción del agregado	(%)	0.79			0.79		
Peso Unitario en condición SSS	(kg/m ³)	1499	1501	1503	1649	1657	1658
Vacios en el agregado	(%)	44.5	44.4	44.3	38.9	38.6	38.6
Peso Unitario en condición Seca	(kg/m ³)	1487	1489	1491	1637	1644	1645
Peso Unitario Seco promedio	(kg/m ³)	1489			1642		

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 18, se pueden observar los resultados del ensayo de sales solubles totales, logrando determinar el porcentaje de cloruros y sulfatos.

Tabla 18. Sales solubles totales.

MUESTRA ARENA	3	4	
Peso de Tara	(gr)	98.90	98.86
Peso tara + agua + sal	(gr)	147.31	148.02
Peso tara + sal	(gr)	98.91	98.87
Peso sal	(gr)	0.010	0.010
Peso agua	(gr)	48.40	49.15
Sales solubles totales	(%)	0.021	0.020
Promedio de Sales Solubles Tot. (%)		0.021	

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 19, se pueden observar los resultados del ensayo de inalterabilidad de los agregados, logrando determinar la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o de magnesio.

Tabla 19. Inalterabilidad de los agregados – Datos del ensayo.

TAMIZ	PESO REQUERIDO (gr)	TAMAÑO DEL ARIDO	GRANUL. ORIGINAL % RET.	PESO FRACCIÓN		PASANTE DESPUES DEL ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL %	PERDIDA CORREGIDA %	
				ANTES DEL ENSAYO (gr)	DESPUES DEL ENSAYO (gr)				
INALTERABILIDAD DEL AGREGADO FINO									
3/8"	Nº 4	100	No 4	5.8	100.0	75.4	24.6	50.72	2.93
Nº 4	Nº 8	100	No 8	18.1	100.0	81.3	18.7	18.68	3.39
Nº 8	Nº 16	100	No 16	17.4	100.0	81.3	18.7	18.70	3.26
Nº 16	Nº 30	100	No 30	20.5	100.0	87.6	12.4	12.40	2.54
Nº 30	Nº 50	100	No 50	22.2	100.0	93.6	6.4	6.40	1.42
Nº 50	Nº 100	100	No 100	10.7	100.0	90.2	9.8	9.80	1.05
< Nº 100				61.0					
TOTALES				150.0	600	434.0			11.66

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 20, se pueden observar los resultados del ensayo de sales solubles totales, logrando determinar la durabilidad del agregado fino.

Tabla 20. Índice de durabilidad de agregados.

INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO					
TAMAÑOS DE MALLAS			AGITACION DE MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA DESTILADA (ml)	MUESTRA LATA (ml)
PASA	RETENIDO	PESO (gr)	(10 minutos)		
# 4	fondo	500	10'	1000.0	85

DESCRIPCION	IDENTIFICACION				
	Nº DE ENSAYO	1	2	PROMEDIO	
Hora de entrada a saturación		11:12	11:22		
Hora de salida de saturación (mas 10')		11:22	11:32		
Hora de entrada a decantación		11:34	11:44		
Hora de salida de decantación (mas 20')		11:54	12:04		
Altura máxima de la arcilla (pulg.0.1")		4.30	4.40		
Altura máxima de la arena (pulg.0.1")		3.20	3.30		
Indice de Durabilidad (Df = L.arena/L.arcilla*100)		74.4	75.0		74.7

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

Resultados de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente Convencional

En la tabla 21, se observan los datos de los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados al diseño de mezcla asfáltica en el laboratorio, para así poder determinar si el material es apto o no para la elaboración de la mezcla asfáltica. Teniendo como resultado que los agregados extraídos de la cantera Pancho Medina (Huambacho) - distrito de Samanco, se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma (Manual de Ensayo de Materiales), siendo estos aptos para el diseño.

Tabla 21. Análisis Granulométrico.

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	Peso Retenido	Porcentaje			Formula de trabajo	ESPECIFICACIÓN MAC-2		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
			Retenido	Acumulado	Pasante				
3"	76.200								
2 1/2"	63.000							Peso total 7999.0 g	
2"	50.000							Fracción finos : 0.0 g	
1 1/2"	37.500								
1"	25.000				100				
3/4"	19.000	100.0	1.3	1.3	98.7	100	100		
1/2"	12.500	1032.2	12.9	12.9	87.1	80	100		
3/8"	9.500	634.5	7.9	20.9	79.1	70	88		
1/4"	6.350								
# 4	4.750	1695.2	21.2	42.1	57.9	51	68	Observaciones :	
# 8	2.360							Según especificación técnica MTC EG -2013 (Sección 423)	
# 10	2.000	1034.9	13.0	55.0	45.0	38	52	Pavimento de concreto asfáltico en caliente.	
# 16	1.180							Mezcla agregados diseño asfalto MAC-2	
# 30	0.600								
# 40	0.420	2066.9	25.9	80.9	19.1	17	28	Arena zarandeada 49.0 %	
# 50	0.300				100.0				
# 100	0.150							Grava triturada 35.0 %	
# 200	0.075	487.4	6.1	97.0	3.0	4	8	Cemento portland 1.0 %	
>200		237.5	3.0	100.0					

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

A continuación, se presentan los diferentes diseños de mezcla asfáltica en caliente convencional, para así poder definir el óptimo contenido de cemento asfáltico. Se diseñaron 9 briquetas con diferentes cantidades de cemento asfáltico de acuerdo a los porcentajes establecidos de manera creciente en porcentajes de 0.5% de la masa total del peso de la briqueta (1192 gr en promedio).

En la tabla 22, se pueden observar los ensayos realizados mediante el Método Marshall, para un diseño de mezcla asfáltico en caliente convencional con 4.5% de cemento asfáltico.

Tabla 22. Resultados del diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 4.5% de cemento asfáltico.

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	98.7	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRICQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					4.5			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					40.19			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					54.36			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.95			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.098			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1190.8	1193.6	1195.2		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1193.7	1195.5	1198.6		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				689.7	690.1	689.3		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				504.0	505.4	509.3		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.363	2.362	2.347	2.357	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.553			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				7.5	7.5	8.1	7.7	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.748			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.45			
22	% de Asfalto Efectivo					3.12			
23	Relación Polvo/Asfalto					1.0			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				14.7	14.7	15.3	14.9	14
25	% Vacios llenos con C.A.				49.2	49.0	47.0	48.4	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				13.0	13.0	12.0	12.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1952	1686	1001		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.00		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				2030	1753	1001	1595	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				6248	5394	3338	4993	1700 - 1000

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 23, se pueden observar los ensayos realizados mediante el Método Marshall, para un diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 5% de cemento asfáltico.

Tabla 23. Resultados del diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 5% de cemento asfáltico.

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	98.7	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.0			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.98			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					54.07			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla					0.95			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1191.2	1191.3	1194.2		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1193.2	1193.5	1196.7		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				690.2	693.1	692.2		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				503.0	500.4	504.5		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.368	2.381	2.367	2.372	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.523			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				6.1	5.6	6.2	6.0	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.735			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.28			
22	% de Asfalto Efectivo					3.79			
23	Relacion Filler/Betun					1.2			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				14.9	14.5	15.0	14.8	14
25	% Vacios llenos con C.A.				58.9	61.1	58.7	59.5	
26	Flujo 0,01*(0,25 mm)				13.0	14.0	14.0	13.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1383	1521	1561		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1438	1582	1623	1548	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				4425	4519	4638	4527	1700 - 4000

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 24, se pueden observar los ensayos realizados mediante el Método Marshall, para un diseño de mezcla asfáltico en caliente convencional con 5.5% de cemento asfáltico.

Tabla 24. Resultados del diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 5.5% de cemento asfáltico.

INFÓRME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PAGA MATERIAL	100.0	98.7	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 23	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.5			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.77			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					53.79			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.94			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1192.9	1190.4	1192.9		
13	Peso de la briqueta al agua por 60° (gr)				1194.9	1190.8	1194.6		
14	Peso de la briqueta desplazado (gr)				694.0	694.0	693.7		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				501.0	496.8	500.9		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.381	2.396	2.382	2.386	
17	Peso Especifico Maximo - Rize (ASTM D 2041)					2.496			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				4.6	4.0	4.6	4.4	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.725			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.14			
22	% de Asfalto Efectivo					4.42			
23	Relacion Filler/Betun					1.4			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				14.9	14.4	14.9	14.7	14
25	% Vacios llenos con C.A.				69.2	72.2	69.3	70.2	
26	Flujo 0,01" (0,25 mm)				14.0	15.0	14.0	14.3	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1336	1434	1282		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1389	1491	1333	1404	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3968	3976	3809	3918	1700 - 4000

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

En la tabla 25, se pueden observar los ensayos realizados mediante el Método Marshall, para un diseño de mezcla asfáltico en caliente convencional con 6% de cemento asfáltico.

Tabla 25. Resultados del diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 6% de cemento asfáltico.

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	98.7	87.1	70.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					6.0			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.56			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					53.50			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla					0.94			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1192.6	1191.9	1192.8		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1192.9	1192.1	1193.0		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				692.3	692.2	693.2		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				500.6	499.8	499.8		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.382	2.385	2.386	2.384	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.474			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				3.7	3.6	3.5	3.6	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.722			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.10			
22	% de Asfalto Efectivo					4.97			
23	Relacion Filler/Betun					1.0			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				15.3	15.2	15.2	15.2	14
25	% Vacios llenos con C.A.				75.8	76.2	76.6	76.2	
26	Flujo 0.01" (0.25 mm)				16.0	15.0	15.0	15.3	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1336	1314	1327		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1389	1367	1380	1379	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3473	3645	3680	3599	1700 - 4000

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

DATOS DE LAS PROPORCIONES				
% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0
P.U. BRIQUETA	2.357	2.372	2.386	2.384
VACIOS	7.7	6.0	4.4	3.6
V.M.A.	14.9	14.8	14.7	15.2
V.LL.A	48.4	59.5	70.2	76.2
POLVO / ASF.	1.0	1.2	1.4	1.6
FLUJO	12.7	13.7	14.3	15.3
ESTABILIDAD	1595.0	1547.7	1404.3	1379

Tabla 26. Resumen de los diseños de mezcla asfáltica convencional.

Fuente Elaboración propia

Una vez obtenido los resultados de los diferentes porcentajes de adición de cemento asfáltico, se realizaron las gráficas correspondientes para el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a utilizarse para el diseño de mezcla asfáltica

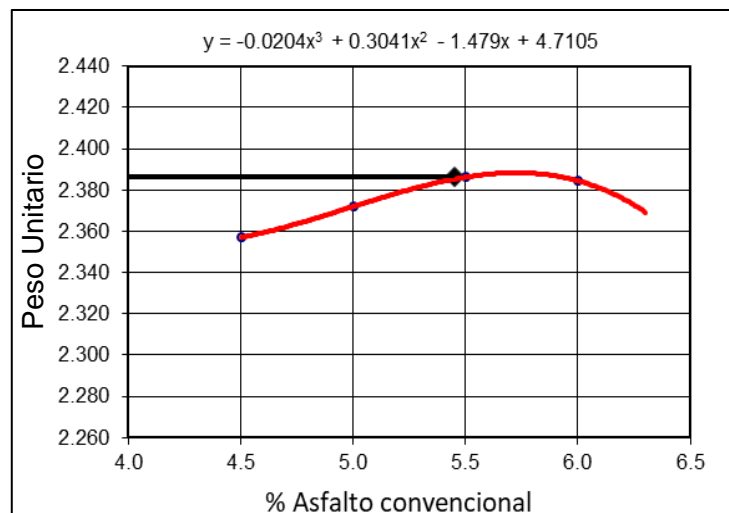


Figura 10. Determinación del peso unitario.

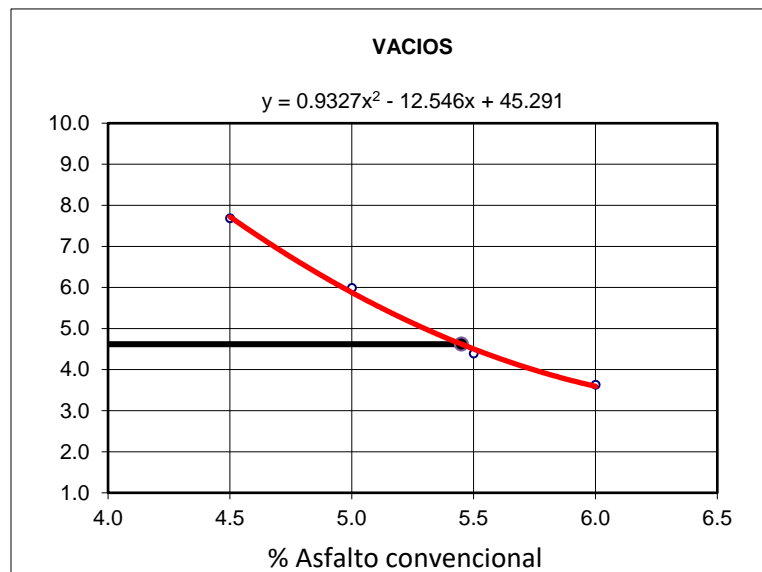


Figura 11. Determinación del porcentaje de vacíos.

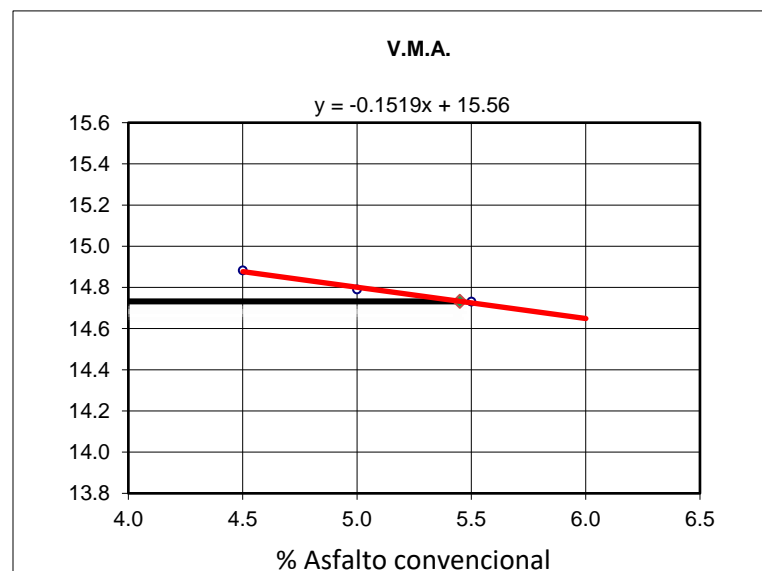


Figura 12. Determinación de vacíos de agregado mineral.

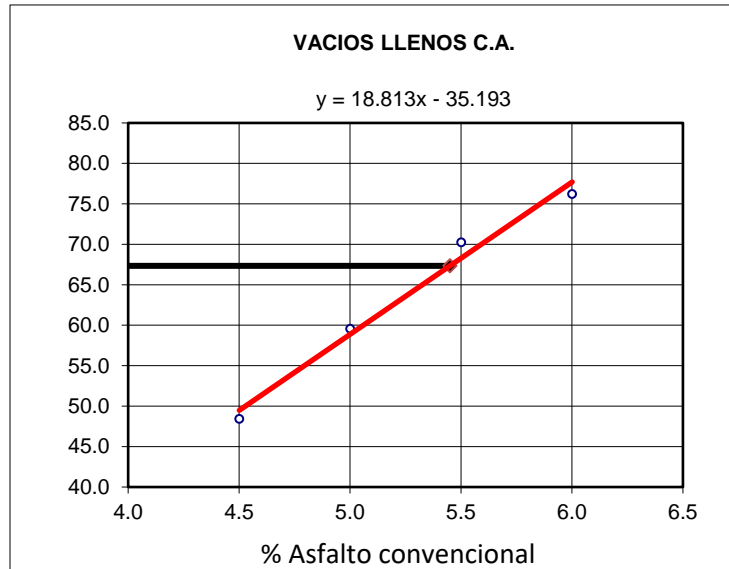


Figura 13. Determinación de vacíos llenos de cemento asfáltico.

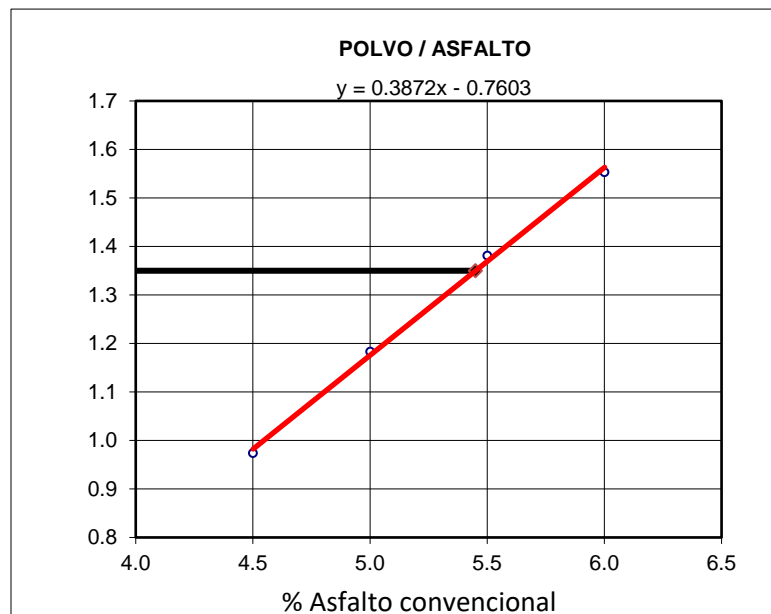


Figura 14. Determinación de polvo/asfalto.

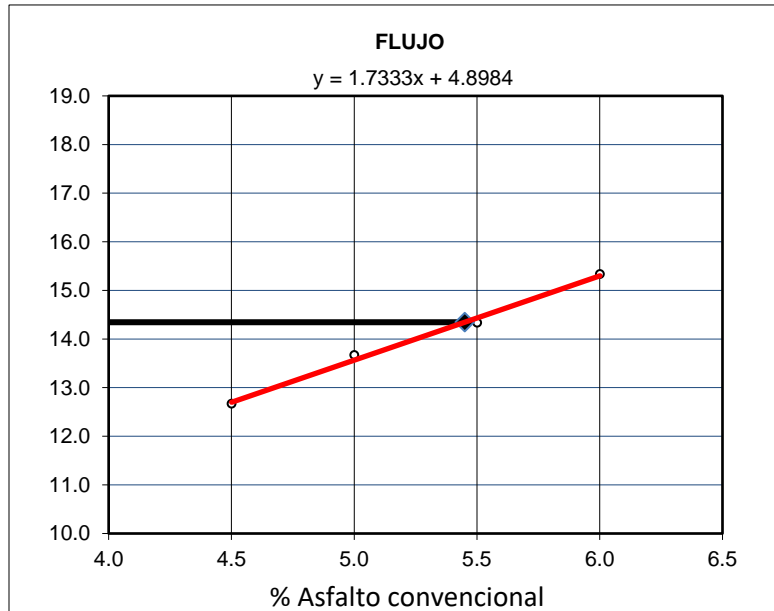


Figura 15. Determinación del flujo.

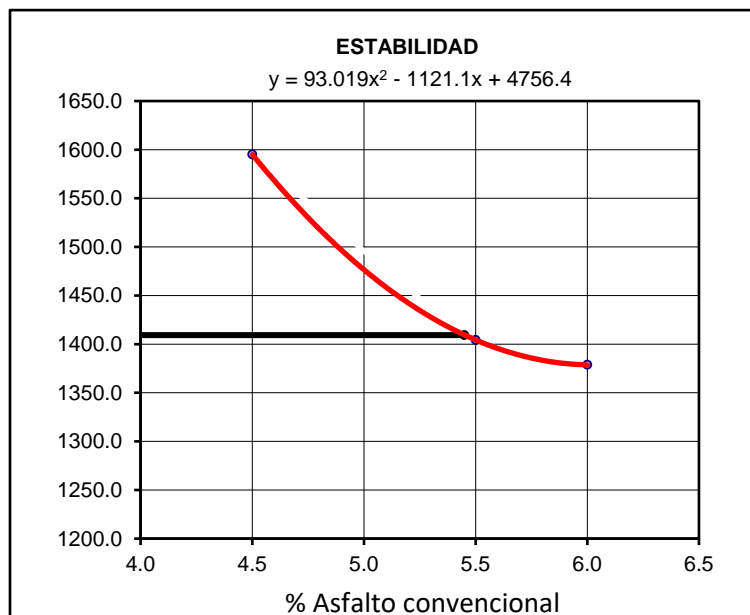


Figura 16. Determinación de la estabilidad.

Con los gráficos anteriores, se logró determinar el porcentaje óptimo de asfalto para el diseño Marshall. A continuación, en la tabla 27, se presentará el resumen para las características del diseño.

Tabla 27. Características para el diseño Marshall.

<u>CARACTERISTICAS MARSHALL</u>		
GOLPES	75	75
% C. A.	5.45	
P. UNITARIO	2.386	
VACIOS	4.6	3 - 5
V.M.A.	14.7	14.0
V. LL.C.A.	67.3	
POLVO / ASFALTO	1.3	0.6 - 1.3
FLUJO	14	8 - 14
ESTABILIDAD	1409	8.15 kN.
ESTABILIDAD/ FLUJO	3930	1700 - 4000

Según los resultados de los ensayos realizados con los diferentes porcentajes de cemento asfáltico, se determinó que el contenido óptimo de asfalto es de 5.45% de cemento asfáltico, con lo cual se realizaron 3 briquetas para cada porcentaje de adición de vidrio molido reciclado como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Dosificación para el diseño de mezcla modificado.

MATERIALES	PORCENTAJES %
Agregado Grueso	39.78
Agregado Fino	53.82
Cemento Asfáltico	5.45
Cemento Portland	0.95
Vidrio Molido	9, 12 y 15

A continuación, en la tabla 29, se muestran los diseños de mezcla de asfalto modificado en reemplazo del agregado fino al 9%, 12% y 15%.

Tabla 29. Resultados del diseño de mezcla asfáltica modificada con la adición del 9% de vidrio molido.

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	98.7	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA Nº					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.45			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.79			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					53.82			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.95			
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1178.2	1184.1	1178.3		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1180.3	1187.6	1182.2		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				684.0	688.0	685.0		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				496.3	499.6	497.2		
16	Peso específico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.374	2.370	2.370	2.371	
17	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)					2.496			
18	% de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				4.9	5.0	5.0	5.0	3 - 5
19	Peso Específico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Específico Efectivo Agregado total					2.723			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.11			
22	% de Asfalto Efectivo					4.40			
23	Relación Filler/Betun					1.38			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				15.1	15.3	15.3	15.2	14
25	% Vacíos llenos con C.A.				67.7	67.0	66.9	67.2	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				14.0	14.0	15.0	14.3	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1662	1728	1735		
28	Factor de estabilidad				1.09	1.04	1.09		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1812	1797	1891	1833	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				5176	5135	5043	5118	1700 - 4000

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

Tabla 30. Resultados del diseño de mezcla asfáltica modificada con la adición del 12% de vidrio molido.

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	98.7	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.45			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.79			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					53.82			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.95			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1181.8	1181.6	1183.0		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1183.5	1182.7	1184.2		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				691.0	692.0	691.0		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				492.5	490.7	493.2		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.400	2.408	2.398	2.402	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.496			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				3.9	3.5	3.9	3.8	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.723			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.11			
22	% de Asfalto Efectivo					4.40			
23	Relacion Filler/Betun					1.38			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				14.2	13.9	14.2	14.1	14
25	% Vacios llenos con C.A.				72.9	74.6	72.6	73.4	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				14.0	14.0	14.0	14.0	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1825	1826	1815		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1898	1899	1888	1895	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				5423	5426	5393	5414	1700 - 4000

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

Tabla 31. Resultados del diseño de mezcla asfáltica modificada con la adición del 15% de vidrio molido.

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	98.7	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.45			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.79			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					53.82			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.95			
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueeta cm								
12	Peso de la briqueeta al aire (gr)				1194.1	1196.2	1195.4		
13	Peso de la briqueeta al agua por 60' (gr)				1196.2	1197.3	1198.6		
14	Peso de la briqueeta desplazada (gr)				704.0	705.0	706.0		
15	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (13-14)				492.2	492.3	492.6		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (12/15)				2.426	2.430	2.427	2.428	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.496			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				2.8	2.6	2.8	2.7	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.723			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.11			
22	% de Asfalto Efectivo					4.40			
23	Relacion Filler/Betun					1.38			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				13.3	13.1	13.2	13.2	14
25	% Vacios llenos con C.A.				78.9	79.8	79.1	79.3	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				13.8	13.5	13.7	13.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1912	1896	1878		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1988	1972	1953	1971	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				5764	5842	5703	5770	1700 - 4000

Fuente: GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES – Mecánica de Suelos y Pavimentos.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La figura 18 representa los resultados obtenidos en este ensayo. Estos resultados son esenciales para determinar las proporciones adecuadas de mezclas de concreto hidráulico y para realizar conversiones entre masa y volumen. En base a los datos obtenidos en este ensayo, podemos concluir que los pesos unitarios (que se refieren a la densidad o peso por unidad de volumen) para las mezclas con un contenido de material del 12% y 15%, son mayores en comparación con las mezclas que tienen un 9% y el modelo convencional.

Esta diferencia se debe a que las mezclas con un 12% y 15% de contenido de material, se introduce una mayor cantidad de material en un volumen específico a comparación con las otras mezclas mencionadas. En otras palabras, estas mezclas son más densas porque contienen más material por unidad de volumen. Esta información es crucial para asegurar que las mezclas de concreto hidráulico se preparen de manera adecuada y cumplan con los estándares necesario sen términos de densidad y propiedades físicas.

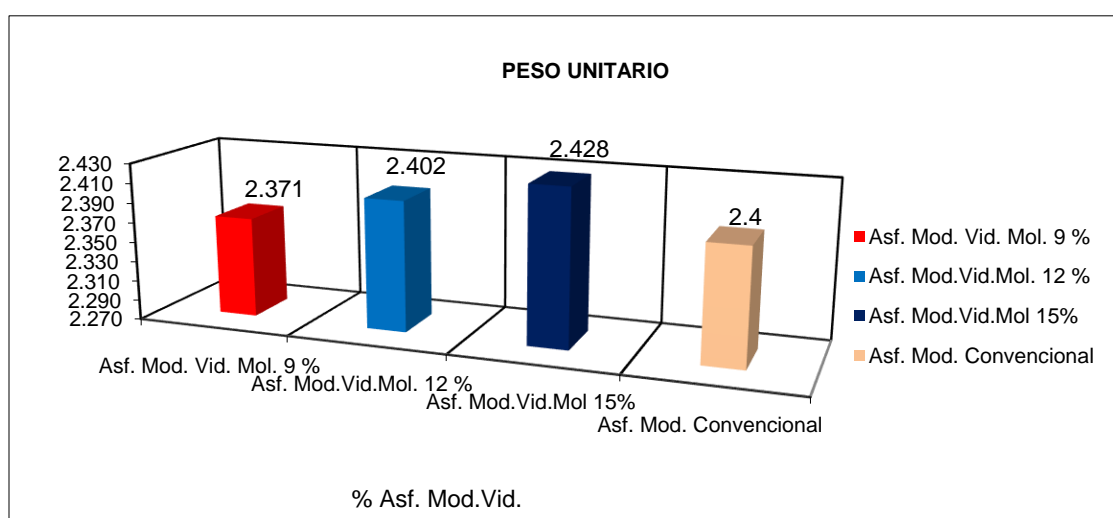


Figura 17. Gráfico comparativo de pesos unitarios.

En la figura 19, los resultados obtenidos en este ensayo sirven para evaluar la durabilidad, ya que, a menor porcentaje de vacíos, mayor será su durabilidad. Como se observa, el diseño con 15% de vidrio molido obtuvo un menor porcentaje de vacíos.

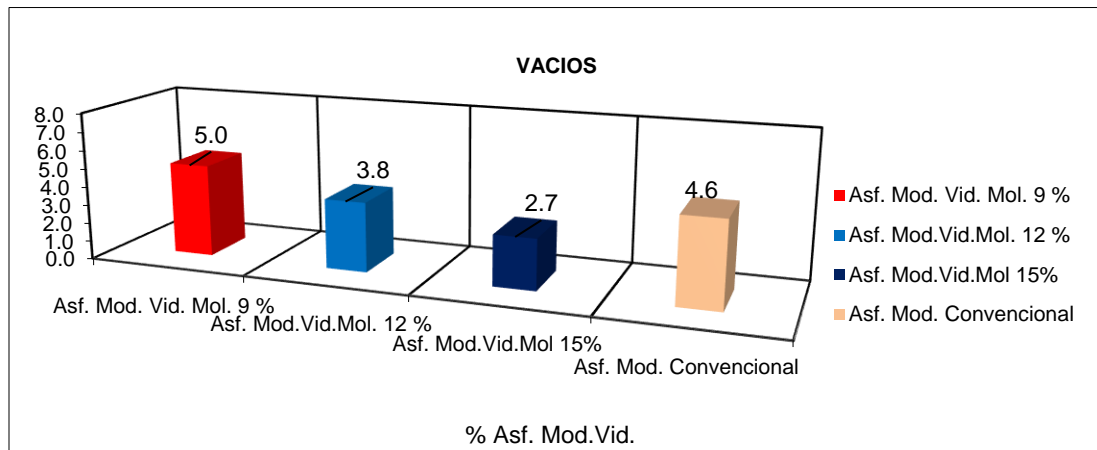


Figura 18. Gráfico comparativo de vacíos.

Como se observa en la figura 20, el diseño con 15% presenta un menor espaciado intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, con un menor porcentaje de V.M.A. se tiene un mayor volumen para el asfalto. Con un incremento en el asfalto, la mezcla se vuelve más manejable y se puede compactar con mayor facilidad.

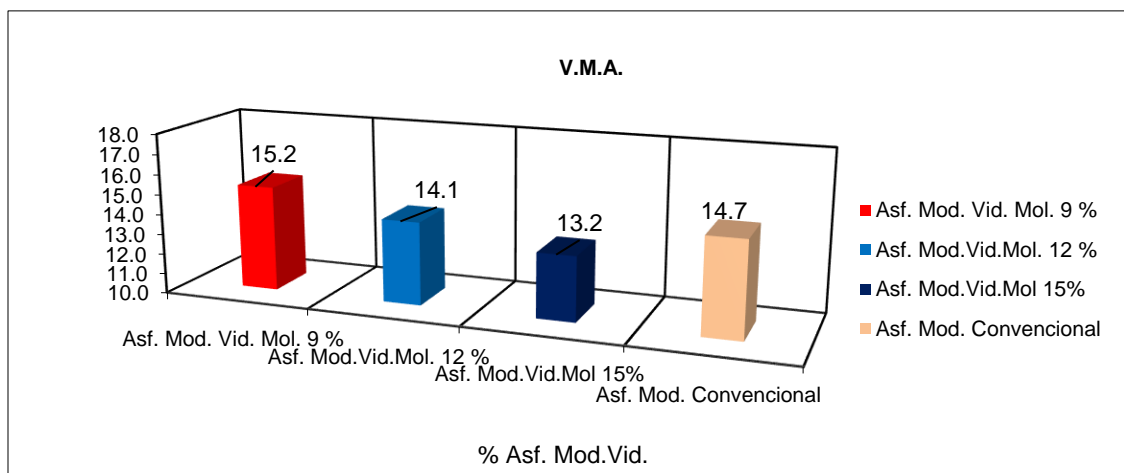


Figura 19. Gráfico comparativo de vacíos en el agregado mineral.

Como se observa en la figura 20, el diseño con 15% de vidrio molido obtuvo un mayor porcentaje de vacíos llenos en el cemento asfáltico a diferencia de los demás porcentajes.

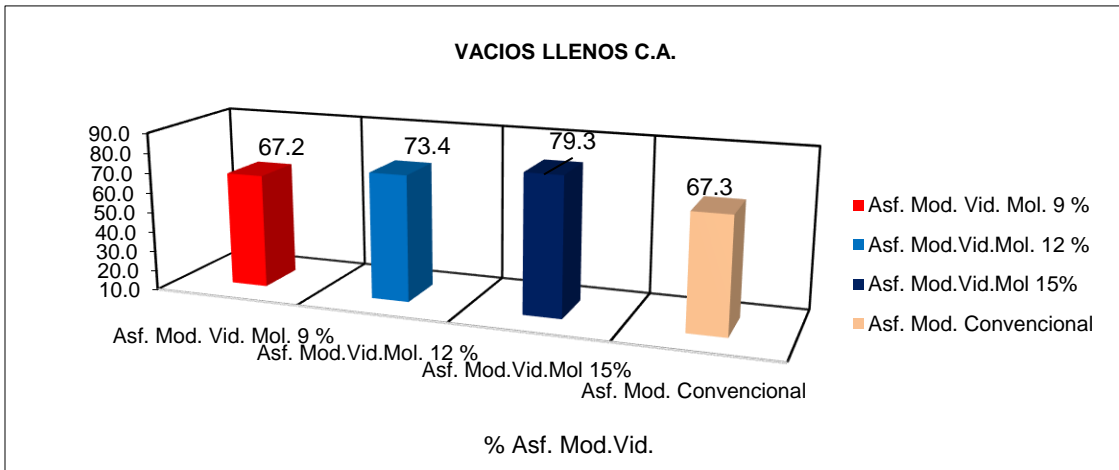


Figura 20. Gráfico comparativo de vacíos llenos en el cemento asfáltico.

Como se observa en la figura 22, el diseño con 9% de vidrio molido obtuvo un valor similar al del asfalto convencional dando como resultado un flujo de 14.3mm. Se puede apreciar que el valor del flujo disminuye al adicionar un mayor porcentaje de vidrio molido, por lo tanto, el valor del flujo aumentará si la adición de vidrio es en un porcentaje menor.

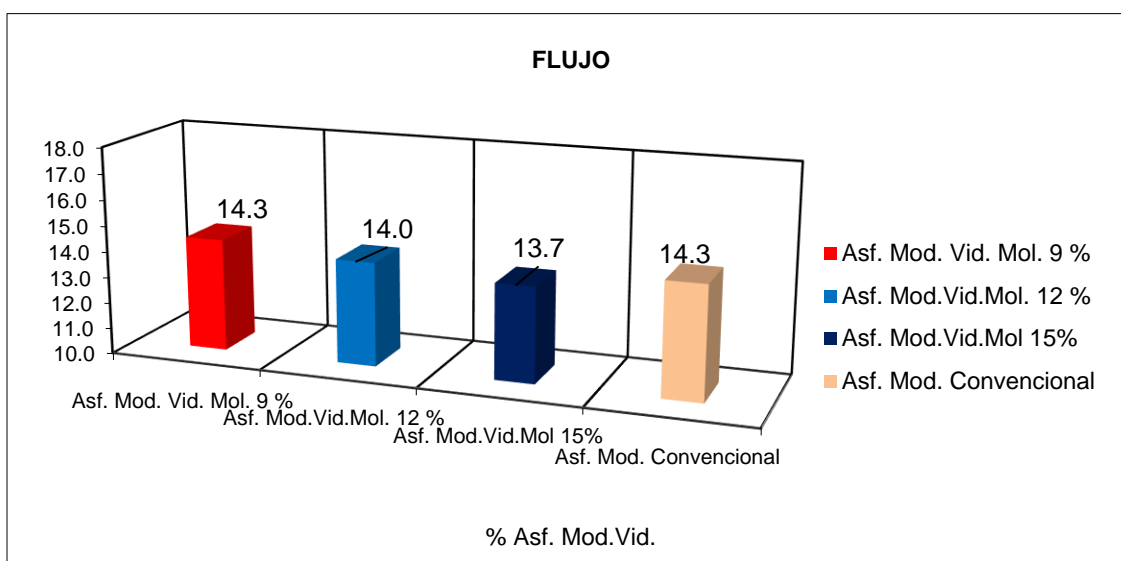


Figura 21. Gráfico comparativo de flujo.

Como se observa en la figura 23, el diseño con 15% de vidrio molido obtuvo una mayor estabilidad, que se puede interpretar como una mayor capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito.

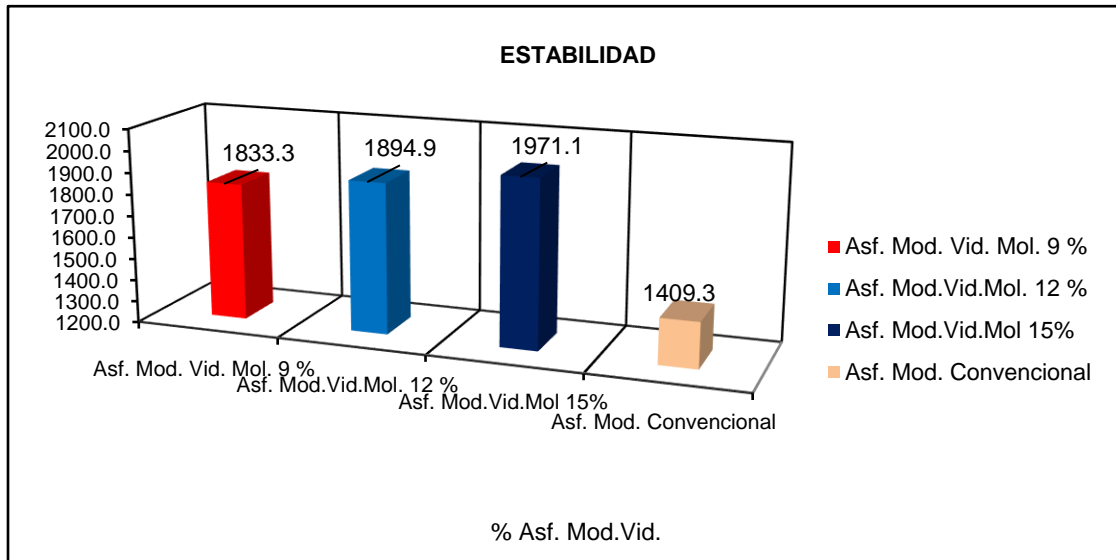


Figura 22. Gráfico comparativo de estabilidad.

Como se observa en la figura 24, la relación polvo/asfalto es muy similar en los diferentes diseños y están dentro de los parámetros, ya que si el valor fuese muy elevado se tendría una mezcla muy deformable.

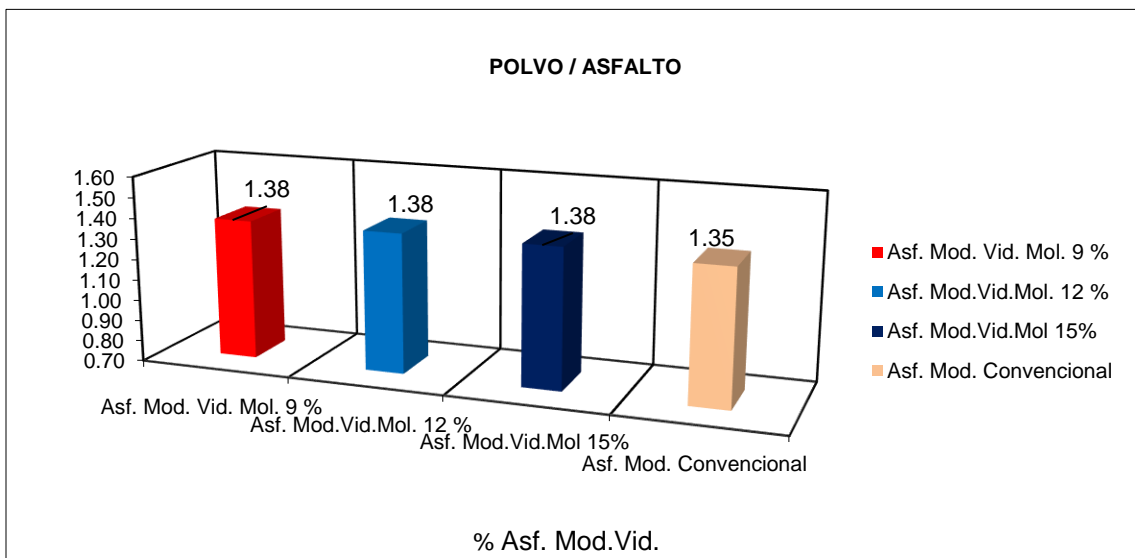


Figura 23. Gráfico comparativo de polvo / asfalto.

Como se observa en la tabla 32, se realizó un resumen de los datos de los diseños con vidrio molido para evaluar si cumplen con las especificaciones del “Manual de carreteras EG-2013”. Como se puede apreciar la gran parte de los requerimientos cumplen a excepción de la relación polvo-asfalto, sin embargo, no es un valor desfasado; así como el valor de la relación de estabilidad-flujo.

Parametros de diseño		Porcentaje %				Especificaciones Técnicas Generales para Construcción 2013	
VIDRIO MOLIDO	%		9,0	12,0	15,0		
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5,45	5,45	5,45	5,45		CUMPLE
PESO UNITARIO	kg/m ³	2,386	2,371	2,402	2,428		CUMPLE
VACIOS	%	4,60	5,00	3,80	2,70	3 - 5	CUMPLE
V.M.A	%	14,70	15,20	14,10	13,20	14	CUMPLE
V.LL.C.A	%	67,30	67,20	73,40	79,00		CUMPLE
POLVO/ASFALTO	%	1,30	1,38	1,38	1,38	0.6 - 1.3	NO CUMPLE
FLUJO	mm	14,00	14,30	14,00	13,70	8 - 14	CUMPLE
ESTABILIDAD	kN	1490,30	1833,30	1894,90	1971,10	8,15	CUMPLE
ESTABILIDAD/FLUJO	kg/cm	3929,80	5116,10	5413,90	5769,20	1700 - 4000	NO CUMPLE

Tabla 32. Resumen de los diseños de mezcla asfáltica modificada.

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de nuestra investigación tienen relación con Abel G. (2018), en su investigación llamada, Diseño de asfaltos modificados con vidrio e hizo una comparación técnico económico con asfaltos convencionales, para lo cual se realizó 3 briquetas por cada prueba con la incorporación de fibra de vidrio con adiciones de vidrio al 1%, 2% y 3%. Él usó dichas proporciones, ya que en un análisis económico emplear un alto porcentaje de vidrio se obtiene un mayor costo. Se observa que se incrementó la estabilidad y flujo cuando se adiciona el 2% de vidrio molido y en comparación con nuestra investigación el más óptimo es adicionando vidrio molido al 15%, obteniendo nosotros un menor porcentaje de vacíos, una mayor estabilidad y un mayor índice de rigidez (estabilidad/flujo).

Tabla 33. Parámetros de Diseño de la Tesis de Abel G.

Parámetros de diseño		Tesis Gutierrez			
VIDRIO MOLIDO	%	0.0	1.0	2.0	3.0
CEMENTO ASFÁLTICO	%	6.10	6.10	5.90	6.10
PESO UNITARIO	kg/m³	2.313	2.310	2.311	2.317
VACIOS	%	3.90	3.870	4.210	3.840
V.M.A	%	17.60	18.00	17.60	17.50
FLUJO	mm	3.38	3.38	3.32	3.97
ESTABILIDAD	kN	923.00	984.00	992.00	1015.00
ESTABILIDAD/FLUJO	kg/cm	2734.00	2837.00	2879.00	2798.00

Fuente: Elaboración Propia.

Melendrez, J. (2020) en su investigación llamada, Efecto del vidrio molido reciclado en la elaboración de mezcla asfáltica en caliente, utilizando agregados de la cantera La Soledad, realizó briquetas de mezclas asfálticas en caliente con adición de vidrio molido en reemplazo del agregado fino al 10%, 15% y 20%, en su investigación al adicionar vidrio molido en la mezcla el porcentaje de vacíos aumentaba, cabe recalcar que con un menor porcentaje de vacíos la durabilidad del pavimento aumenta; no obstante, en nuestra investigación se determinó que cuanto más vidrio molido se adicionaba el porcentaje de vacíos disminuía siendo el más óptimo el diseño con 15% de vidrio molido, con esto logramos cumplir dicha condición para garantizar una mayor durabilidad en el pavimento.

Tabla 34. Parámetros de Diseño de la Tesis de Melendrez.

Parámetros de diseño		Tesis Melendrez			
VIDRIO MOLIDO	%	0.0	10.0	15.0	20.0
CEMENTO ASFÁLTICO	%	6.30	6.30	6.30	6.30
PESO UNITARIO	kg/m³	2.344	2.325	2.343	2.307
VACIOS	%	4.20	3.912	2.834	3.688
V.M.A	%	15.69	20.50	22.00	25.30
FLUJO	mm	3.30	2.95	3.20	3.46
ESTABILIDAD	kN	1086.6	1154.0	1271.0	1141.0
		0	0	0	0
ESTABILIDAD/FLUJO	kg/cm	3618.0	3914.0	3977.0	3303.0
		0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia.

Implicancias

La implicancia de esta investigación se manifiesta en su impacto positivo en la conservación del medio ambiente. Como se destacó al inicio del estudio, el vidrio molido representa uno de los contaminantes más significativos a nivel mundial debido a su lenta degradación y su acumulación en vertederos y áreas de desecho. Sin embargo, al utilizar el vidrio molido como componente en mezclas asfálticas, estamos dando un nuevo propósito a este material, reduciendo de manera efectiva su presencia en lugares de disposición final y, en última instancia, contribuyendo a la disminución de la contaminación ambiental provocada por el vidrio.

La utilización de vidrio molido en pavimentos no solo reduce la necesidad de materiales vírgenes, como la arena, sino que también mejora las propiedades del pavimento, lo que puede traducirse en una mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento a largo plazo.

Limitaciones

En cuanto a limitaciones para la investigación, se identificaron dos aspectos. En primer lugar, se encontró una limitación relacionada con la participación en la elaboración de los ensayos. Esto se debió a que los ensayos se llevaron a cabo en un laboratorio ubicado en Chimbote, lo que dificultó nuestra participación directa en el proceso.

En segundo lugar, otra limitación se debió a la escasez de los laboratorios disponibles debido a las restricciones impuestas por la pandemia. Esta situación afectó la disponibilidad de instalaciones y recursos necesarios para llevar a cabo los ensayos de manera óptima.

Ambas limitaciones influyeron en el desarrollo de la investigación y debieron ser tenidas en cuenta al interpretar los resultados y conclusiones obtenidos.

En tercer lugar, debido a nuestras ocupaciones laborales, avanzar de manera continua en la tesis es complicado. No obstante, estamos buscando coincidir nuestros horarios y encontrar días específicos para enfocarnos en el proyecto académico. Esto nos permitirá realizar avances significativos a pesar de nuestras agendas ocupadas.

CONCLUSIONES

La investigación realizada logró demostrar experimentalmente que, al adicionar vidrio molido en mezclas asfálticas, se logra una mejora considerable con vidrio molido al 15% en reemplazo del agregado fino en la estabilidad, y en el porcentaje de vacíos. El incremento de la estabilidad del diseño con vidrio molido al 15% en reemplazo de agregado fino con respecto al diseño patrón fue de alrededor del 40% y del porcentaje de vacíos fue una disminución del 42%. De igual manera, es importante señalar que el incremento de la estabilidad proporciona una mayor capacidad para resistir desplazamientos y deformaciones bajo las cargas de tránsito, y con la disminución del porcentaje de vacíos se obtendrá una mayor durabilidad del pavimento.

Lo anterior permite confirmar la hipótesis planteada al inicio de esta investigación, ya que el vidrio molido sí mejora propiedades mecánicas en mezclas asfálticas, en este caso, una mayor capacidad para resistir desplazamientos y deformaciones ocasionadas por las cargas de tránsito, y una mayor durabilidad del pavimento.

Por otra parte, la comparación de los resultados obtenidos en la presente investigación con la de otros autores, se pudo observar que en todas las investigaciones el vidrio molido cumple con modificar las propiedades mecánicas del pavimento. Asimismo, existen diferentes alternativas de reemplazo de agregado fino en mezclas asfálticas, pero la elección de estas dependerá del costo, ya que de acuerdo al material escogido el costo puede ser más alto. Por ello, se recomienda como una investigación futura realizar un análisis multicriterio que abarque aspectos técnicos y económicos para la recomendación de una técnica que pueda emplearse de manera masiva.

Referencias

1. Chinchano, Erikson. Estudio experimental de la resistencia mecánica a la compresión del concreto adicionado con residuos de llantas de caucho, Huánuco 2019. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. Huánuco. Universidad de Huánuco. 2019
2. Garnica, Paul et al (2002). "Mecánica de Materiales para Pavimentos" SCT. Recuperado de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt197.pdf>.
3. Garnica, Paul et al (2004). "Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas" SCT. Recuperado de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt246.pdf>.
4. Gutierrez, Abel. Asfaltos modificados con vidrio y su comparación técnica y económica con los asfaltos convencionales. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. Huancayo. Universidad peruana de los Andes. 2018
5. Iveth G. (09 de noviembre de 2016). "La Victoria: el 80% de las pistas están deterioradas" Lima. Diario Correo. Recuperado de <https://diariocorreo.pe/peru/la-victoria-el-80-de-las-pistas-estan-deterioradas-710042/>.
6. Joel Bender & Jonathan P. "Vidrio, Cerámica y Materiales Afines" Industrias Manufactureras. Recuperado de <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+84.+Vidrio,+cer%C3%A1mica+y+materiales+afines>.
7. MBA, Ing. Mario Becerra Salas, PMP (2012). "Tópicos de Pavimentos de Concreto" Flujo Libre. Recuperado de https://issuu.com/flujoblibreperu/docs/libro_pavimentos_al_cap_2.
8. Melendrez, Jidalte & Pinedo, Wilson. Efecto del vidrio molido reciclado en la

elaboración de mezcla asfáltica en caliente, utilizando agregados de la cantera La Soledad. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. Trujillo. Universidad César Vallejo. 2020

9. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) 515 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 644 pp.
10. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 111 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 72 pp.
11. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 114 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 91 pp.
12. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 204 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 303 pp.
13. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 205 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 309 pp.
14. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 206 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 312 pp.
15. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 207 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 315 pp.
16. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 209 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 329 pp.
17. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 210 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 337 pp.
18. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 219 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 378 pp.
19. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 220 (Perú). Manual de

- ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 380 pp.
20. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 222 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 389 pp.
21. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 504 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 683 pp.
22. MINISTERIO de transportes y comunicaciones (Perú). Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: sección suelos y pavimentos. Lima: MTC, 2014
23. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (Perú). Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: sección suelos y pavimentos. Lima: MTC, 2014.
24. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (Perú). Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (MC-ETGC). Lima: MTC, 2013.
25. Mohammad Saberian et al. Aplicación de residuos de demolición mezclados con vidrio triturado y caucho de caucho en la base/subbase del pavimento. Universidad Real Instituto de Tecnología de Melbourne (RMIT). 2020
26. Morea F. & Zerbino R. Mejora del rendimiento de las mezclas asfálticas con macrofibras de vidrio. Universidad Nacional de la Plata. 2017
27. OCHOA TAPIA, Luis Miguel. Vidrio Reciclado Molido como Reductor de Agregado Fino para el Diseño de Mezclas de Concreto en Pavimentos Urbanos. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. Pimentel. Universidad Señor de Sipán. 2017
28. Ralph Z. (30 de diciembre de 2017). "Vía Piura-Catacaos sigue en mal estado y trabajos aún no inician" Piura. El Comercio. Recuperado de <https://elcomercio.pe/peru/piura/via-piura-catacaos-sigue-mal-trabajos-inician-noticia-485077-noticia/>.

29. Repsol (2002). "Especificaciones Técnicas Asfalto 40 50" Repsol. Recuperado de https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/especificaciones_tecnicas_asfalto_40_50_tcm76-90981.pdf.
30. UTPL (2010). "Peso Específico Bulk de las Briquetas" ASTM D 1188. Recuperado de <https://es.slideshare.net/UCGcertificacionvial/peso-especifico-bulk-de-briquetas>.
31. Ziari, Hassan et al. Resistencia al agrietamiento de la mezcla de asfalto en caliente que contiene diferentes porcentajes de pavimento de asfalto recuperado y fibra de vidrio. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Ciencia y Tecnología de Irán (IUST). 2019

Anexos

ANEXO 1- PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Cuarteo de Material.



Foto 2. Análisis Granulométrico.



Foto 3. Absorción de piedra en Máquina los Ángeles.

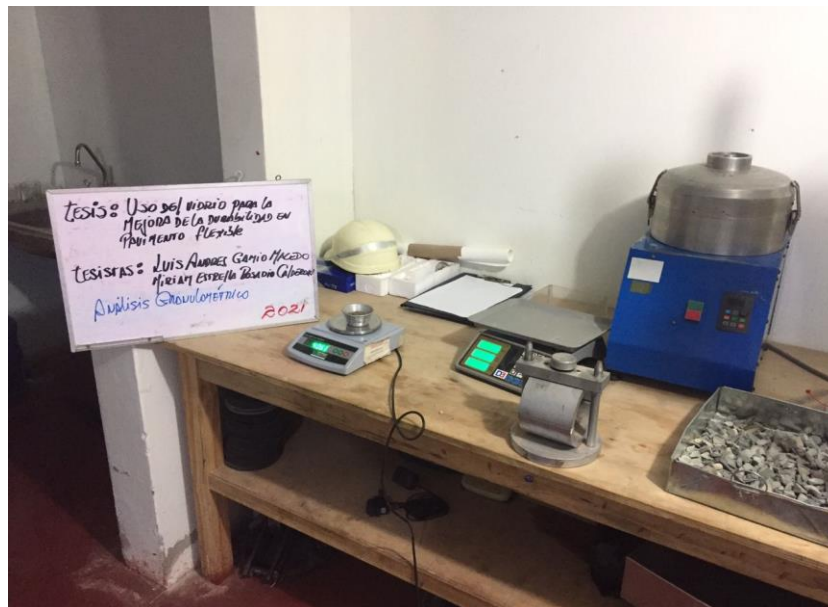


Foto 4. Análisis Granulométrico.



Foto 5. Análisis Granulométrico.

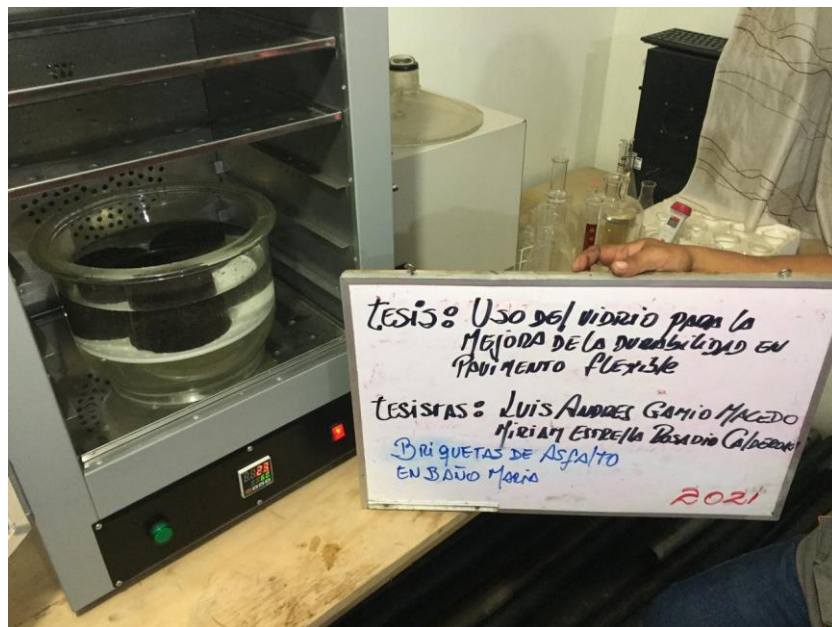


Foto 6. Briquetas de Asfalto en Baño María.



Foto 7. Elaboración de Briquetas.



Foto 8. Ensayo Marshall – Patrón.

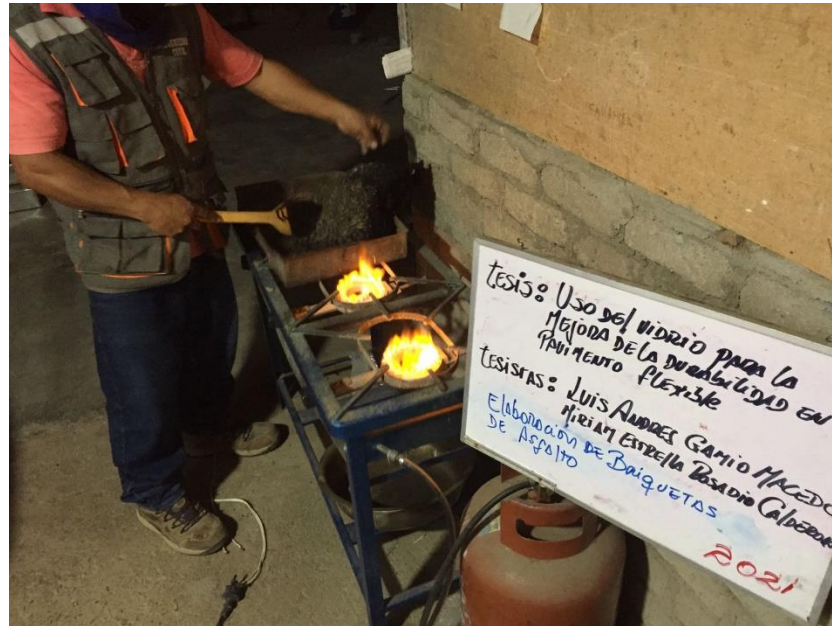


Foto 9. Elaboración de Briquetas de Asfalto.



Foto 10. Preparación de Vidrio Molido.

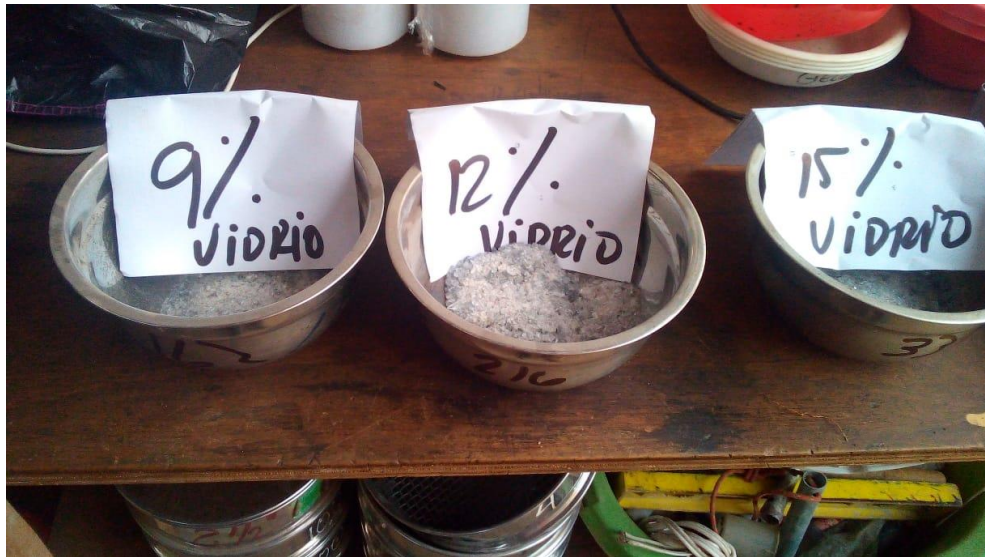


Foto 11. Porcentajes del Vidrio Molido.



Foto 12. Material a usar.



Foto 13. Preparación de Asfalto, sustituyendo 9% de agregado fino.



Foto 14. Preparación de Asfalto, sustituyendo 15% de agregado fino.



Foto 15. Insertando materiales a la mezcla asfáltica con 9% de vidrio molido.



Foto 16. Insertando materiales a la mezcla asfáltica con 12% de vidrio molido.

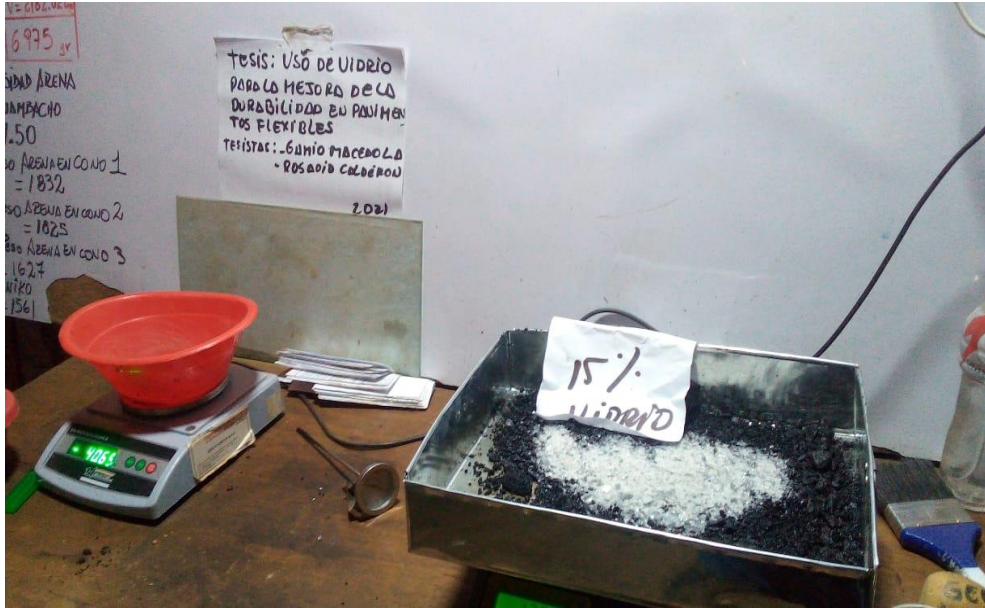


Foto 17. Insertando materiales a la mezcla asfáltica con 15% de vidrio molido.



Foto 18. Medición del peso del vidrio molido en la báscula



Foto 19. Preparación de asfalto sustituyendo el 15% de vidrio molido