

ANEXO I
FOTOGRAFÍAS

Obtencion de material agregado triturado

Banco de agregado chancadora Garzon



Selección y recolección de material agregado triturado 3/4", 3/8" y arena de la chancadora Garzon, para realizar el ensayo de investigacion.

Banco de agregado chancadora Erika



Selección y recolección de material agregado triturado 3/4", 3/8" y arena de la chancadora Erika, para realizar el ensayo de investigación.

Banco de agregado chancadora SEDECA



Selección y recolección de material agregado triturado 3/4", 3/8" y arena de la chancadora SEDECA, para realizar el ensayo de investigación.

Caracterización de los agregados:

Granulometría



Se realiza el ensayo de granulometría del agregado triturado 3/4", 3/8" y arena, primero se efectúa un muestreo del agregado triturado mediante un cuarteo, la muestra escogida se la coloca en una bandeja para determinar su peso, se vierte la muestra dentro del juego de tamices 1", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 40, N° 80, N° 200, y se coloca el juego de tamices en el rotor, se deja por unos 10 minutos para facilitarnos que las partículas puedan retenerse o pasar cada uno de los tamices.

Densidad aparente



Se realiza el ensayo de densidad aparente del agregado triturado 3/4", 3/8" y arena, este ensayo se divide en 2 partes, densidad aparente compactada y densidad aparente suelta, primero se toma la muestra se la coloca en una bandeja para determinar su peso, se pesa el cilindro metálico, se vierte la muestra dentro del cilindro metálico en 3 capas, compactando mediante 25 golpes con la varilla metálica, una vez vertida las 3 capas se enrasa con la varilla y se pesa el cilindro metálico con la muestra.

Peso específico y absorcion del agregado grueso



Peso específico y absorción del agregado triturado $3/4''$, $3/8''$, este ensayo sirve para determinar los pesos específicos aparente nominal y absorción, después de 24 horas sumergidos los agregados en el agua, primero se calibra el equipo, se toma una cantidad de material se pesa en la balanza y se vacía la muestra en la canastilla metálica, se introduce la canastilla al equipo, se lectura su nuevo peso.

Peso específico y absorción del agregado fino



Peso específico y absorción del agregado fino, este ensayo sirve para determinar los pesos específicos aparente y absorción, después de 24 horas sumergida la arena en el agua, se vierte la muestra sobre una superficie limpia, con ayuda de la secadora se seca la área hasta una humedad óptima que se verifica con el molde cónico metálico, después se calibra el matraz de 500 ml, se toma una cantidad de arena se pesa en la balanza y se vacía la muestra dentro del matraz, y se llena agua, se hace girar cuidadosamente el matraz para eliminar el aire atrapado, se deja en baño maría por 1 hora y se determina su peso.

Desgaste de los ángeles



Este método abarca el procedimiento de ensayo para determinar el porcentaje de desgaste de grava y gravilla triturada por medio de la máquina de los ángeles, se coloca la muestra de agregado y las bolas metálicas dentro de la máquina de los ángeles, se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida, una vez completado las vueltas, se descarga la muestra ensayada y se la vuelve a pesar.

Equivalente de arena



El ensayo equivalente de la arena es una medida de la cantidad de contaminación de limo o arcilla en el agregado fino, para esto se toma unos 50 gr de arena, se introduce la muestra a las probetas con la ayuda de un embudo, luego se vierte la solución de cloruro de calcio, se tapa la probeta con la ayuda de la mano para girar la probeta y eliminar las burbujas de aire, y se deja reposar por 10 minutos. Luego se mide desde el ras de la probeta hasta el nivel de arena y fino para realizar los cálculos y determinar el grado de contaminación.

Durabilidad método de los sulfatos



Este metodo establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio. Se separo el agregado dependiendo del tamaño de su fraccion en diferentes recipientes y se registro su peso de cada uno antes de realizar el ensayo. Después se agrega la solución de sulfato de sodio a una temperatura ambiente de manera que los aridos queden cubiertos por una capa de solución, este procedimiento se repite por cinco ciclos.

Terminado el numero de ciclos y una vez enfriada la muestra , se lava el agregado hasta eliminar el sulfato, se lo seca en el horno y se vuelve a registrar su peso.

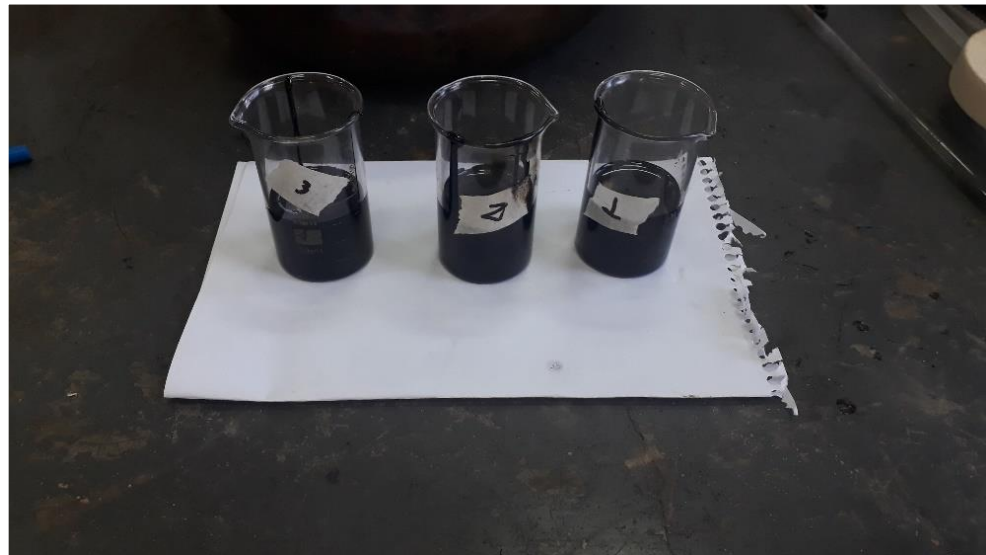
Porcentaje caras fracturadas



Este ensayo permite determinar el porcentaje en peso de una muestra de agregado grueso con una, dos o más caras fracturadas. Se prepara por tamizado la fracción de la muestra y el resto se descarta, se esparce la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula, separando las partículas con caras fracturadas de las redondeadas.

Caracterización del cemento asfáltico

Peso específico



Este ensayo nos determina el peso específico del cemento asfáltico, primero se limpia los picnómetros y se registra su peso de cada uno, luego se llena de agua destilada los picnómetros y se los sumerge en baño maría, se los vuelve a pesar.

Se seca bien los picnómetros y se llena de cemento asfáltico, se registra su peso, se lo llena agua destilada y se lo pone en baño maría durante 30 minutos para volver a registrar su peso.

Penetración



Se prepara 500 gramos de material dentro de la tara, luego se lo coloca a baño maría a 25 °C de temperatura por un periodo de 30 minutos, una vez transcurrido el tiempo de inmersión se aproxima la aguja del penetrometro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre. Se pone en cero el penetrometro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera el agua en el tiempo especificado, finalmente se registra los valores obtenidos, este proceso se repite tres veces en la misma tara. Este ensayo determina la dureza o consistencia relativa.

Punto de inflamación



Para iniciar con este ensayo se llena la copa con cemento asfáltico a cualquier temperatura que no exceda de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, de tal manera que la parte superior del menisco quede en la línea de llenado, se coloca la copa al fuego y se empieza a aplicar la llama de ensayo, una vez por cada aumento de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se pasa la llama de ensayo a través del centro de la copa, hasta que se prenda una llama sobre la copa, y se valor de temperatura se registra como su punto de inflamación del cemento asfáltico.

Punto de ablandamiento



Este método se utiliza para determinar el punto de ablandamiento del betún en el intervalo de 30 °C a 157 °C, utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30 °C a 80 °C). Verter una pequeña muestra de betún caliente en cada anillo, posterior a esto permitir que las muestras se enfríen a temperatura ambiente, se monta el aparato con los anillos, guías de centrado de la bola, y el termómetro en posición. Llene la bañera de modo que la profundidad del líquido sea de 105 ± 3 mm con el aparato en su lugar. Calentar el baño maría de tal manera que la temperatura se incremente en rangos de 5 °C cada minuto.

Pérdida de masa



Este ensayo determina la pérdida de masa del cemento asfáltico al ser sometido a una prueba de calor. Se vierte una porción de muestra hasta el ras de los moldes, se registra sus pesos de cada molde mas la muestra dentro. Una vez calentado el horno se introduce los moldes y se los deja por 4 horas dentro del horno, paso ese tiempo se los retira del horno y se vuelve a registrar su peso, para realizar el cálculo de % de pérdida de masa.

Diseño Marshall

Calentado del cemento asfáltico



Se calienta la muestra de cemento asfáltico del recipiente de almacenamiento para sacar una porción que se utilizará para realizar los ensayos de dosificación en la elaboración de las briquetas de estudio.

Muestra pesada de acuerdo a la dosificación



Se realiza el pesado del agregado triturado de acuerdo a la tabla de dosificación.

Mezclado manual de mezcla asfáltica



Se hace una unión del agregado triturado más la cantidad respectiva de cemento asfáltico según la dosificación, se lo coloca la bandeja en la hornilla y fuego regular, y con la ayuda de la cuchara se realiza un mezclado manual de manera homogénea, que queden todas las partículas de agregado cubiertas de cemento asfáltico.

Mezcla preparada para ser compactada



Una vez obtenida la mezcla homogénea, se verifica la ayuda del termómetro que la temperatura de la mezcla este en el rango de 135 °C, para que pueda ser compactada dentro del cilindro metálico.

Proceso de colocado de la muestra al molde



Luego se prepara el molde colocándole aceite alrededor y papel de filtro en la parte inferior, se vierte la mezcla homogénea dentro del molde en tres capas y con la ayuda de una varilla metálica se va pisoneando cada capa para que se acomode uniformemente la mezcla, en la parte superior se coloca un papel filtro y se introduce el martillo para realizar la compactación a 75 golpes por cada cara de la briqueta, luego se deja enfriar el molde conteniendo la briqueta a temperatura ambiente.

Retirado de briquetas del molde



Cuando ya esté frío el molde se procede a desmoldar la briqueta con la ayuda de un gato hidráulico.

Briquetas fabricadas



Una vez extraídas las briquetas de los moldes se proceden a realizar el ensayo de flujo y estabilidad en la prensa.

Primero se debe medir con un vernier las alturas en cuatro puntos de la briqueta y de esta manera determinar su altura media, y se registra su peso seco y saturado, las muestras deben ser sumergidas en baño maría de agua a 20 °C durante un tiempo 15 minutos.

Briquetas en baño maría



Luego se deja secar las briquetas y se las satura en baño maría de agua a 60 °C durante un tiempo 30 minutos. Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas. Se envuelve la briqueta con papel periódico para sujetarle a la mordaza.

Rotura de briquetas y obtención de propiedades mecánicas



El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60 °C, se anota como valor de estabilidad Marshall.

Mientras se realiza el ensayo de estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Ensayo de traccion indirecta

Muestra con % optimo de asfalto



Para el ensayo de tracción indirecta se realiza el mismo proceso de dosificación que se utilizó para el ensayo Marshall, se procede a pesar el agregado y se vierte el % óptimo de cemento asfáltico.

Proceso de compactación de briquetas



Cuando ya se tiene la mezcla homogénea y se verificó que la temperatura este a 135 °C, se prepara el molde con aceite y papel de filtro, se vierte la mezcla dentro del mismo y se procede a realizar la compactación con la ayuda del martillo a 75 golpes por cada cara de la briqueta.

Briquetas fabricadas



Se deja enfriar el molde contenido de la briqueta se procede a desmoldar la briqueta y se las va acumulando en un espacio seco y limpio, se las innúmera para tenerlas identificadas al momento de realizar el ensayo de tracción indirecta, para empezar se procede a medir los diámetros y altura de cada briqueta.

Briquetas a -5 °C por 16 horas



Después se junta el grupo de briquetas y se las divide en 2 grupos, un grupo de secas y otro grupo de húmedas, el grupo de las húmedas pasa por un proceso de congelamiento a una temperatura de -5 °C por 16 horas.

Briquetas en baño maría a 60 °C por 24 horas



Cumpliendo las 16 horas de congelamiento se coloca en mismo de grupo de briquetas húmedas a un baño maría a 60 °C durante 24 horas, controlando cada hora la temperatura que se constante con la ayuda de un termómetro.

Briquetas en baño maría a 25 °C por 2 horas



Como proceso final se coloca los 2 grupos de briquetas las húmedas y secas a baño maría a 25 °C por el tiempo de 2 horas.

Ruptura de las briquetas en el ensayo de tracción indirecta



Cumpliendo el tiempo se retira la briqueta del agua, se la seca cuidadosamente con la ayuda de un secadora para colocarla a la mordaza de tracción indirecta y proceder a aplicar la carga hasta que se produzca la rotura por la mitad de la briqueta.

Control de la adherencia entre el cemento asfáltico y agregado triturado de las briquetas fabricadas



También se puede controlar la adherencia de manera visual, donde se observa que el agregado este impregnado de cemento asfáltico.

ANEXO 2
MEMORIA DE CÁLCULO

Caracterización de los agregados

Peso específico del agregado fino chancadora Garzón

Determinación N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Picnómetro	1	1	1	
Temperatura	25	25	25	
A (Peso en el aire de la muestra seca	495,10 gr	495,00 gr	494,80 gr	
B (Peso muestra saturada con superficie seca	500,00 gr	500,00 gr	500,00 gr	
X (Peso del picnómetro + agua + muestra	997,40 gr	983,10 gr	968,30 gr	
J (Peso del picnómetro + agua	686,40 gr	672,00 gr	657,60 gr	
E = X - J	311	311	311	
F = B - A	4,90	5,00	5,20	
H = A - E	184	184	184	
I = B - E	189	189	189	
"G" peso específico aparente (gr/ cm ³)	2,69 gr/cm ³	2,69 gr/cm ³	2,69 gr/cm ³	2,69 gr/cm ³
"Gb" peso específico bulk (gr/ cm ³)	2,62 gr/cm ³	2,62 gr/cm ³	2,61 gr/cm ³	2,62 gr/cm ³
"Gbs" peso específico bulk s.s.s (gr/ cm ³)	2,65 gr/cm ³	2,65 gr/cm ³	2,64 gr/cm ³	2,64 gr/cm ³
(%) porcentaje de absorción	0,99%	1,01%	1,05%	1,02 %

Cálculos

Peso específico del agregado seco (a/((x+t)-b))

$$PE_{sec} = \frac{PM_{sec}}{((PM_{sss} + P_{agua}) - PM_{agua})}$$

$$PE_{sec} = 2,5362 \text{ grs./cm}^3$$

P. E. A. Saturado Sup. Seco(x/((x+t)-b))

$$PE_{ASSS} = \frac{PM_{sss}}{((PM_{sss} + P_{agua}) - PM_{agua})}$$

$$PE_{ASSS} = 2,65 \text{ grs./cm}^3$$

Peso Específico Aparente (a/(a+t)-b)) PEA

$$PE_A = \frac{PM_{sec}}{((PM_{sec} + P_{agua}) - PM_{agua})}$$

$$PE_A = 2,69 \text{ grs./cm}^3$$

% de Absorción $((x-a)/a)*100$

$$A = \frac{(PM_{sss} - PM_{sec})}{PM_{sec}} * 100$$

$$A = 0,99 \%$$

Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

Determinación N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
A (Peso en el aire de la muestra seca)	2940,40 gr	2939,50 gr	2945,10 gr	
B (Peso en el aire muestra saturada-superficie seca)	3000,00 gr	3000,00 gr	3000,00 gr	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua	1837,00 gr	1832,00 gr	1838,00 gr	
Peso canastillo sumergido en agua	0,00 gr	0,00 gr	0,00 gr	
C (Peso sumergido en agua de la muestra saturada)	1837,00 gr	1832,00 gr	1838,00 gr	
D = B - C	1163,00	1168,00	1162,00	
E = A - C	1103,40	1107,50	1107,10	
F = B - A	59,60	60,50	54,90	
"G" Peso específico aparente (gr/ cm ³)	2,66 gr/cm ³	2,65 gr/cm ³	2,66 gr/cm ³	
"Gb" Peso específico bulk (gr/ cm ³)	2,53 gr/cm ³	2,52 gr/cm ³	2,53 gr/cm ³	2,53 gr/cm ³
"Gbs" Peso específico bulk s.s.s (gr/ cm ³)	2,58 gr/cm ³	2,57 gr/cm ³	2,58 gr/cm ³	2,58 gr/cm ³
(%) porcentaje de absorción	2,03%	2,06%	1,86%	1,98 %

Cálculos

Peso específico del agregado seco (f / (e-g)) PEBS

$$PEBS = \frac{P_{sec}}{(P_{sss} - P_{sun})}$$

$$PEBS = 2,53 \text{ g/cm}^3$$

P.E.A. Saturado de superficie seca (e/(e-g)) PEBSSS

$$PEBSSS = \frac{P_{SSS}}{(P_{SSS} - P_{sun})}$$

$$PEBSSS = 2,58 \text{ g/cm}^3$$

Peso Específico Aparente (f/ (f-g)) PEA

$$PEA = \frac{P_{sec}}{(P_{SSS} - P_{sun})}$$

$$PEA = 2,66 \text{ g/cm}^3$$

% de Absorción ((e-f)/f)*100

$$A = \frac{(P_{MSSS} - P_{sec})}{P_{sec}} * 100$$

$$A = 2,03\%$$

Nota.-

Se repite el mismo procedimiento para el agregado grueso (Grava 3/4 y 3/8).

Para los demás ensayos de caracterización de los agregados se obtiene de manera directa los resultados esto de los equipos o se utilizan fórmulas de suma y resta las cuales se explican en las planillas correspondientes. En el caso de la caracterización de los agregados de igual manera los equipos de manera directa nos votan los resultados.

Tracción indirecta

Prob. N°	Altura	Diametro	carga	Traccion Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Humeda	Calculo TRS=Rh/Rs* 100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs(kg/cm ²)	Rh(kg/cm ²)	TRS (Kg/cm ²)	
1	6,45	10,16	680	6,61	6,83		100%	Sin Acondicionar
2	6,39	10,16	723	7,09				
3	6,56	10,16	712	6,80				
4	6,53	10,16	590	5,66	6,00	6,00	87,9%	Acondicionada
5	6,45	10,16	632	6,14				
6	6,66	10,16	660	6,21				

Ecuación 1:

$$R_T = \frac{2 \times P}{\pi \times t \times D}$$

Se junta en grupo de 3 briquetas para realizar un promedio de resultados:

Grupo de briquetas secas:

$$R_{TS1} = \frac{2 \times 680}{\pi \times 6.45 \times 10.16} = 6.61 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$R_{TS2} = \frac{2 \times 723}{\pi \times 6.39 \times 10.16} = 7.09 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$R_{TS3} = \frac{2 \times 712}{\pi \times 6.56 \times 10.16} = 6.80 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$R_{TS\text{prom}} = 6.83 \text{ Kg/ cm}^2$$

Grupo de briquetas húmedas:

$$R_{TH1} = \frac{2 \times 590}{\pi \times 6.53 \times 10.16} = 5.66 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$R_{TH2} = \frac{2 \times 632}{\pi \times 6.45 \times 10.16} = 6.14 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$R_{TH3} = \frac{2 \times 660}{\pi \times 6.66 \times 10.16} = 6.21 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$R_{TH\text{prom}} = 6.00 \text{ Kg/ cm}^2$$

Ecuación 2:

$$R_T = \left[\frac{R_{TH}}{R_{TS}} \right] * 100$$

$$R_T = \left[\frac{6.00}{6.83} \right] * 100$$

$$R_T = 87.9 \%$$

Esta mezcla si cumple con el valor especificado en la norma AASHTO T-283 que indica que para este ensayo de control de adherencia entre agregado triturado y cemento asfáltico la R_T debe ser mayor al 80 % para que la mezcla tenga adherencia y una buena resistencia a los efectos climatológicos u otros que puedan dañar a la mezcla utilizada en la pavimentación de carreteras.