

UNIVERSIDAD DEL VALLEDEGUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

Prácticas y recomendaciones para lograr una trituración de agregados de forma balanceada y de buena calidad, optimizando rendimientos de los equipos de trituración.

"Experiencias adquiridas en campo durante la producción de agregados pétreos para mezclas asfálticas, mediante trituración."

**Trabajo de graduación presentado por Stephanie Marie Wever Ochoa
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil**

Guatemala

2012

Prácticas y recomendaciones para lograr una trituración de agregados de forma balanceada y de buena calidad, optimizando rendimientos de los equipos de trituración.

“Experiencias adquiridas en campo durante la producción de agregados pétreos para mezclas asfálticas, mediante trituración.”

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Prácticas y recomendaciones para lograr una trituración de agregados de forma balanceada y de buena calidad, optimizando rendimientos de los equipos de trituración.


“Experiencias adquiridas en campo durante la producción de agregados pétreos para mezclas asfálticas, mediante trituración.”

Trabajo de investigación presentado por Stephanie Marie Wever Ochoa
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

Guatemala

2012

Vo.Bo.:

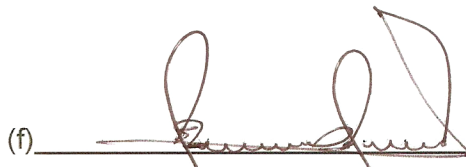
(f) 

(Ing. Norberto Gerónimo Vega)

Tribunal Examinador:

(f) 

(Ing. Norberto Gerónimo Vega)

(f) 

(Ing. Manuel Gerardo Uribe Ortiz)

(f) 

(Ing. Roberto Godo L.)

Fecha de aprobación: Guatemala, 15 de noviembre de 2012

PREFACIO

El desarrollo de un país depende en gran parte de la infraestructura con la que cuenta y la red vial juega un papel importante en este desarrollo, tanto en las zonas urbanas como en las áreas rurales es indispensable contar con vías de acceso debidamente pavimentadas, que cumplan con los requerimientos mínimos.

En el presente trabajo se registra y documenta diferentes prácticas para obtener agregados pétreos de máxima calidad mediante trituración. Se exponen diversos riesgos que pueden presentarse en el proceso y se ofrecen posibles medidas encaminadas a su prevención.

La elaboración de este trabajo de graduación fue posible gracias al apoyo del Ing. Norberto Gerónimo Vega, mi asesor, y a la colaboración del Ing. Manuel Gerardo Uribio Ortiz.

En lo personal, quiero agradecer primero a Dios, por escuchar mis oraciones y por permitirme culminar uno de mis sueños.

A mis padres por darme la vida, por siempre tener grandes expectativas para mí y por ser incondicionales.

A mi suegro, por ser un segundo padre para mí, por su apoyo, sus sabios consejos y su cariño hacia su hijo reflejado en mí y en los míos.

Quiero agradecer en especial a mi esposo, Alberto Enrique. Por su amor, por creer en mí y por enseñarme a mantener los objetivos claros y la meta fija. Mi mejor amigo, mi compañero de vida, mi luz, a quien le debo mis más grande satisfacción: Mis hijos. Gracias por ser mi balance y complemento.

A Juan Pablo, Sebastian y Javier. Les dejo el ejemplo de lo que es la perseverancia, no existe el tiempo ni las limitaciones cuando uno quiere alcanzar un sueño, se lucha hasta conseguirlo. Esto es para ustedes.

A mis abuelos: Papi y Mami. Mis grandes ejemplos de vida. Quienes siempre estuvieron pendientes, esto va en tu honor Papi, soy tu Ingeniera!

ÍNDICE

Página

PREFACIO	iv
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE ILUSTRACIONES	x
RESUMEN	xii

Capítulos

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	3
A. Cantidades de obra	3
B. Especificaciones Generales	5
C. Especificaciones Técnicas Especiales	5
D. Estructura de pavimento	7
IV. BANCOS O FUENTES DE EXPLOTACIÓN PARA TRITURACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS	9
A. Localización de los bancos de grava o canteras	9
B. Permisos para la explotación del banco	10
C. Caminos de acceso al banco	10
D. Estimación del potencial del banco	11
E. Muestreo del banco	13
F. Granulometría del banco	14
G. Calidad del banco (materia prima)	15
H. Aceptación y/o rechazo del banco	15

V.	EQUIPOS PARA TRITURACIÓN Y TAMIZADO DE AGREGADOS	16
	A. Plantas móviles de trituración	16
	B. Trituradoras estacionarias	17
	C. Otros tipos de equipos de trituración	23
	D. Equipo de cribado y lavado	24
	E. Alimentador y transportador	27
VI.	EXPLOTACIÓN DEL BANCO	29
	A. Elección del equipo para la explotación del banco	29
	B. Corte, carga y acarreo de la grava de río	30
	C. Seguridad industrial	31
	D. Medidas de mitigación	32
VII.	TRITURACIÓN DE AGREGADOS	33
	A. Procedimientos de trituración de agregados	33
	B. Definición del predio donde se instalará la planta de trituración ...	36
	C. Instalación y montaje de planta de trituración	36
	D. Pruebas en vacío de los equipos de trituración	38
	E. Pruebas con los equipos cargados de material	38
	F. Muestreo y análisis de laboratorio de la producción de prueba ...	38
	G. Ajustes del equipo de trituración después de las pruebas	41
	H. Inicio de la trituración	42
	I. Seguridad industrial en la planta de trituración	42
VIII.	MANEJO, ACOPIO Y ALMACENAMIENTO DEFINITIVO DE AGREGADOS	43
	A. Procedimientos para el manejo, acopio y almacenamiento de agregados	44
	B. Equipo para el manejo y almacenamiento de agregados	47
	C. Almacenamiento definitivo de agregados	47

D. Recomendaciones para el almacenamiento de agregados	48
IX. CONTROL DE CALIDAD	49
A. Laboratorio	49
B. Procedimientos de pruebas de laboratorio (Normas AASHTO O ASTM)	53
C. Especificaciones para los agregados	65
D. Personal de laboratorio	68
E. Análisis estadísticos de la producción	70
F. Seguridad industrial en el laboratorio	71
X. BALANCE DE LA PRODUCCIÓN EN FUNCION DE LOS RENDIMIENTOS Y DE LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS	73
A. Evaluación y análisis de los rendimientos de producción en cada etapa de la trituración	73
B. Evaluación de los equipos de trituración instalados en cada una de las etapas	74
C. Evaluación y análisis de la calidad del agregado producido	74
D. Revisión del volumen producido de cada agregado	75
E. Comparativa del volumen producido de cada agregado contra los requerimientos del diseño	75
F. Reconfiguración de los equipos de trituración y cribado en función de los resultados obtenidos y de los resultados esperados	75
XI. MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	77
A. Tipos de plantas de asfalto	77
XII. CONCLUSIONES	81
XIII. RECOMENDACIONES	82
XIV. BIBLIOGRAFÍA	83

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Granulometría tipo D (tamaño máximo 19 mm)	6
2. Puntos de medición y sondeo banco Tamazulapa	12
3. Granulometría de material en banco Tamazulapa	14
4. Resultados de ensayos preliminares material de banco Tamazulapa	15
5. Granulometrías de agregados en primer prueba de trituración	40
6. Resultados de ensayos de caras fracturadas, partículas planas y alargadas en primer prueba de trituración	40
7. Granulometrías de agregados en segunda prueba de trituración	41
8. Resultados de ensayos de caras fracturadas, partículas planas y alargadas en segunda prueba de trituración	42
9. Peso mínimo de muestra según el tamaño máximo del agregado	54
10. Granulometría de ensayo para prueba de desgaste en máquina Los Ángeles	57
11. Peso de muestra para ensayo de caras fracturadas	59
12. Especificaciones para agregados de las Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes, Edición 1975 y 2001	66
13. Especificación de graduación de agregados pétreos para concreto asfáltico en caliente. Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes, Edición 1975	67

14. Especificación de graduación de agregados pétreos para concreto asfáltico en caliente. Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes, Edición 2001	68
15. Ejemplo de estadístico de producción de material grava 3/4" – 3/8"	70

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
1. Granulometría tipo D (tamaño máximo 19 mm)	6
2. Capas que forman en general un pavimento flexible	7
3. Capas que forman un pavimento rígido	8
4. Ubicación de puntos de referencia en río Tamazulapa	12
5. Ejemplo de etiqueta de identificación de muestra	13
6. Vista del material de explotación del río Tamazulapa	14
7. Planta móvil de trituración montada sobre orugas.....	17
8. Vista externa de trituradora primaria de quijada	19
9. Vista interna de trituradora primaria de quijada	19
10. Tipo de mandíbulas para distintas aplicaciones de trituración	19
11. Vista exterior de una trituradora de molino de impactos	20
12. Vista interior de una trituradora de molino de impactos	20
13. Reducción de tamaño del material en una trituradora de impactos	21
14. Trituradora de impactos de eje vertical	21
15. Vista externa de una trituradora de cono	22
16. Vista interna de un cono de trituración	23
17. Movimiento de una partícula de material en una criba	

vibratoria inclinada	25
18. Movimiento de una partícula de material en una criba vibratoria horizontal	26
19. Lavadora espiral de arena	27
20. Transporte de material mediante cintas transportadoras entre etapas de trituración	28
21. Disposición final de agregados mediante cintas transportadoras	28
22. Corte de material en banco de río	30
23. Croquis de configuración de trituradora de agregados	35
24. Apilamiento en terrazas o plataformas	47
25. Forma incorrecta de apilar agregados gruesos	48
26. Laboratorio de ensayos de agregados y suelos	49
27. Tamices para ensayos granulométricos	50
28. Balanza mecánica	51
29. Balanza electrónica	51
30. Equipos de secado de muestras	52
31. Set para ensayo de equivalente de arena	52
32. Máquina de Los Ángeles	53
33. Esquema de una partícula con una cara fracturada	59
34. Volumen de poros en el agregado63

35. Ejemplo de gráfico estadístico de partículas con una cara fracturada en material de grava 3/4" – 3/8"	71
--	----

RESUMEN

Este trabajo presenta un documento de consulta para la trituración de agregados pétreos a utilizarse en la fabricación de concreto asfáltico en caliente. Se consideran los factores a tomar en cuenta a la hora de iniciar un proyecto de trituración de agregados, tales como cantidades de obra, especificaciones, la selección de los bancos o fuentes de explotación, descripción de los equipos de trituración, el proceso de explotación del banco de materiales, los procedimientos de trituración, el manejo adecuado de los materiales producidos, los ensayos de laboratorio que garanticen la calidad de los agregados, el balance de la producción de los mismos con base en los requerimientos del proyecto y a los rendimientos esperados.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la red vial en Guatemala cada vez cobra mayor importancia debido al crecimiento en la densidad de población y la industria que también impone necesidades de vialidad. El parque vehicular actualmente requiere más y mejores carreteras; sin embargo debido a diferentes factores entre otros el paso de fenómenos naturales en temporada de invierno y la falta de mantenimiento, han provocado el deterioro de las vías de comunicación de manera excesiva. El gobierno central mediante el Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda ha implementado un programa para el rescate de la vialidad del país, generando proyectos de rehabilitación y ampliación de carreteras con el objetivo de satisfacer la necesidad actual y a futuro de los usuarios. Un proyecto de rehabilitación en términos generales constituye el mejoramiento de las condiciones actuales de una carretera y se puede lograr reciclando u sustituyendo el pavimento actual, de tal manera que como mínimo, se logre recuperar las condiciones de serviciabilidad inicial del proyecto original. El proyecto en estudio comprende la rehabilitación de la carretera CA-01 Oriente, y va del kilómetro 126+500 (Progreso Jutiapa) al kilómetro 167+150 (San Cristóbal Jutiapa, frontera con el Salvador). La rehabilitación constituye el fresado y/o reparación del pavimento existente y recapeo con concreto asfáltico; para lograrlo es necesario disponer de materia prima tales como, cemento asfáltico y agregados pétreos, además del equipo adecuado para llevar a cabo los procesos constructivos que satisfagan las especificaciones del proyecto. Este documento se realiza con la finalidad de estudiar y analizar las prácticas de procesamiento de agregados pétreos mediante equipos de trituración y pretende establecer un balance entre calidad y rendimientos de los equipos durante la producción. Por tratarse de un proyecto del estado, durante el desarrollo del tema, se hace apego a las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de Guatemala; ediciones 1975 y 2001. Así mismo a las normas internacionales AASHTO y ASTM entre otras.

II. OBJETIVOS

A. General

- Elaborar una guía práctica y de fácil comprensión que describa las distintas fases del proceso de trituración de agregados pétreos a utilizarse como materia prima en la fabricación de mezcla asfáltica en caliente.

B. Específicos

- Conocer el procedimiento a seguir para la selección adecuada de un banco de materiales para trituración de agregados pétreos.
- Conocer los distintos equipos de trituración para tener el criterio adecuado para la selección del equipo a utilizar dependiendo de las características del banco de materiales y de los requerimientos del proyecto.
- Tener el conocimiento de la importancia de los ensayos de laboratorio que se deben realizar a los materiales durante la producción de agregados pétreos, para garantizar que los mismos cumplan con las especificaciones de calidad requeridas en el proyecto.
- Contar con el conocimiento que permita alcanzar una trituración de agregados pétreos de calidad y con los balances de producción adecuados en base a las necesidades del proyecto.

III. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

El proyecto en estudio comprende la rehabilitación del pavimento del tramo comprendido de El Progreso, Jutiapa (Km. 126+500) a San Cristóbal Frontera, Jutiapa (Km. 167+150), con una longitud de 40,650 metros, un ancho de rodadura de 8.20 metros y un área total de 333,330 metros cuadrados de superficie de rodadura.

El trabajo a realizar consiste en la sustitución de la carpeta de rodadura existente por concreto asfáltico nuevo.

Del Km. 126+500 al 148+000	17 cms. de espesor (colocados en 2 capas de 0.06 mts y 1 de 0.05 mts de espesor).
Del Km. 148+000 al 167+150	12 cms. de espesor (colocados en 2 capas de 0.06 mts de espesor).

A. Cantidades de obra

La sustitución de la carpeta de rodadura se realizará con los espesores siguientes:

Del Km. 126+500 al 148+000	17 cms. de espesor (colocados en 2 capas de 0.06 mts y 1 de 0.05 mts de espesor).
Del Km. 148+000 al 167+150	12 cms. de espesor (colocados en 2 capas de 0.06 mts de espesor).

Para llevar a cabo los trabajos correspondientes a la rehabilitación del tramo El Progreso, Jutiapa (Km. 126+500) a San Cristóbal Frontera, Jutiapa (Km. 167+150); es necesario cuantificar los renglones de trabajo para poder determinar la cantidad de materiales a utilizar en la sustitución de la carpeta de rodadura existente por concreto asfáltico nuevo.

Generalmente en Guatemala el concreto asfáltico es medido en toneladas de 2,000 libras (907.185 kgs.), por lo que se debe determinar la cantidad de toneladas de mezcla asfáltica en caliente necesarias para cumplir con los requerimientos del proyecto. Como en el presente caso, cuando aún no se conocen las características ni las proporciones de los materiales a utilizar para la fabricación del concreto asfáltico, los constructores de carreteras con base en la experiencia han determinado que para obtener 1 m³ de concreto asfáltico compactado, se requieren alrededor de 2.5 a 2.54 toneladas de mezcla asfáltica en caliente.

Para los cálculos de este proyecto en particular, se considerarán 2.52 toneladas de mezcla asfáltica en caliente para obtener 1 m³ de concreto asfáltico compactado.

Volumen de concreto asfáltico a construir:

- Km. 126+500 – 148+000 (21,500 mts.)

$$\text{Volumen} = \text{longitud del tramo} \times \text{ancho rodadura} \times \text{espesor}$$

$$\text{Volumen} = 21500 \times 8.20 \times 0.17 = 29971 \text{ m}^3$$

- Km. 148+000 – 167+150 (19,150 mts.)

$$\text{Volumen} = 19150 \times 8.20 \times 0.12 = 18844 \text{ m}^3$$

El volumen total de concreto asfáltico a construir en el tramo es de 48,815 m³, que al multiplicarlos por el factor de 2.52 toneladas por metro cúbico de concreto asfáltico, nos da un total de 123,014 toneladas de 2,000 libras de mezcla asfáltica en caliente.

Para fabricar la mezcla asfáltica se requieren de tres materiales principales, que son: cemento asfáltico, agregados pétreos y relleno mineral.

Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible.

El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

Los agregados deben cumplir con una granulometría especificada, por lo que se hace necesario realizar una mezcla de agregados en proporciones controladas de distintos tamaños para obtener la granulometría deseada.

B. Especificaciones Generales

En Guatemala la construcción de carreteras está a cargo del Ministerio de Comunicaciones, por medio de la Dirección General de Caminos, la cual mediante licitaciones, otorga contratos a empresas privadas para la construcción o rehabilitación de los tramos carreteros y solo se limita a supervisar la ejecución de acuerdo a las cláusulas y especificaciones que rigen los contratos.

La Dirección General de Caminos para estandarizar la construcción de carreteras ha elaborado un pliego de especificaciones y normas que deben cumplir los materiales y cada proceso constructivo. Estas especificaciones se llaman “Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes” y consta de dos ediciones, la primera del año de 1975 y la más reciente del año 2001.

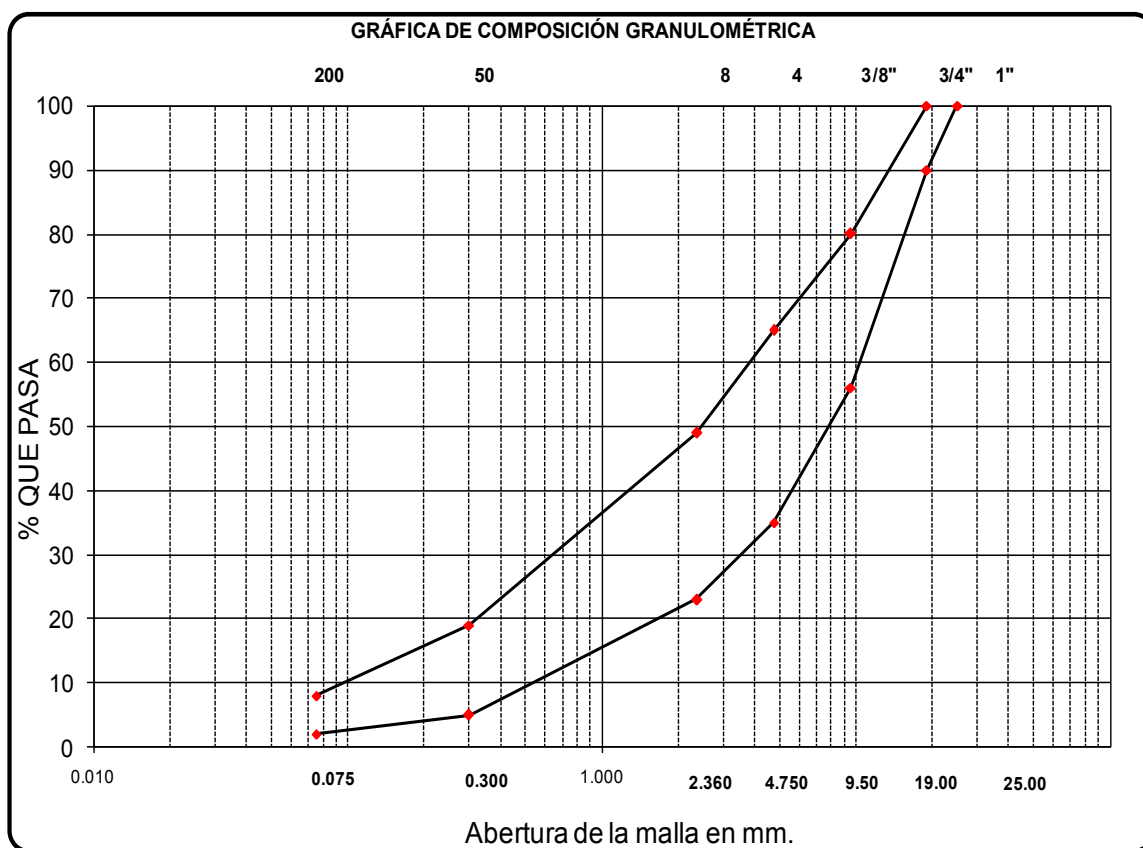
C. Especificaciones Técnicas Especiales

Las Especificaciones Técnicas Especiales son un complemento de las Especificaciones Generales, se adaptan a cada proyecto en particular y contienen la información y requisitos de la obra a construir.

En el caso de este proyecto en particular, las Especificaciones Técnicas Especiales indican que la graduación de agregados a utilizar para el concreto asfáltico debe ser una Tipo D, con un tamaño máximo del agregado de 19 mm.

Cuadro 1. Granulometría tipo D (tamaño máximo 19 mm)

Tamiz	Tamaño del tamiz (mm)	% Pasa del material
1"	25.00	100
3/4"	19.00	90 - 100
3/8"	9.50	56 - 80
No. 4	4.75	35 - 65
No. 8	2.36	23 - 49
No. 50	0.30	5 - 19
No. 200	0.075	2 - 10

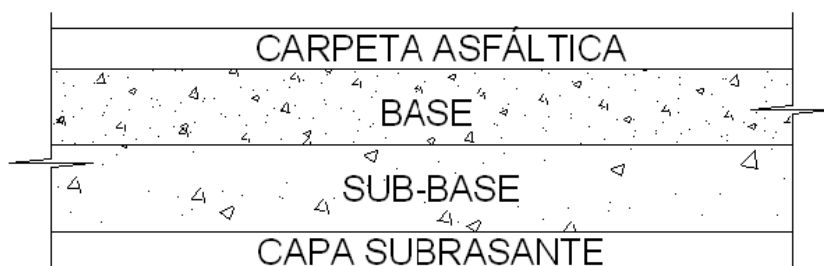
Ilustración 1. Granulometría tipo D (tamaño máximo 19 mm)

D. Estructura de pavimento

Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodadura, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua.

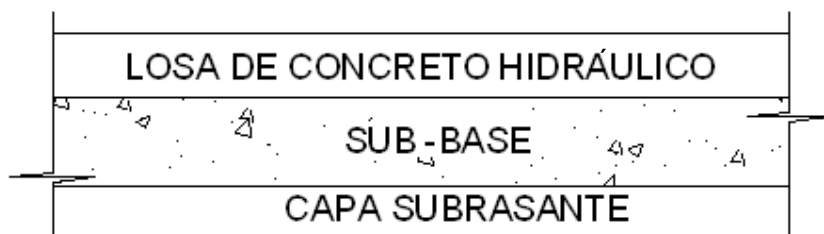
Existen dos tipos principales de pavimento: los flexibles y los rígidos. En los primeros, una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodadura; las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales; y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y sub-base, las cuales se construyen sobre la capa de subrasante.

Ilustración 2. Capas que forman en general un pavimento flexible



En los pavimentos rígidos la superficie de rodadura es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la sub rasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la sub-base que se construyen sobre la sub rasante.

Ilustración 3. Capas que forman un pavimento rígido



IV. BANCOS O FUENTES DE EXPLOTACIÓN PARA TRITURACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS

Un banco de materiales es la aglomeración masiva de materiales naturales que se encuentran compuestos por un mineral o combinación de varios minerales, inertes con el resto de componentes de la aplicación a que se van a destinar y dado que no se encuentran con la granulometría, limpieza adecuada, forma de la partícula y demás características, es necesario proceder a su tratamiento.

A. Localización de bancos de grava o canteras

Uno de los costos más importantes en la construcción de carreteras, corresponde a los materiales, por lo que la localización y selección adecuada del banco de materiales constituye un factor importante para lograr el éxito en la construcción de un proyecto.

Localizar un banco de materiales es más que descubrir un lugar en donde exista un volumen considerable de suelos o rocas que puedan utilizarse en la construcción de una carretera, que cumpla con las especificaciones de calidad y los requerimientos de volumen necesarios. Se debe garantizar que el banco elegido sea el mejor entre los disponibles en el área del proyecto, en varios aspectos que se interrelacionan. En primer lugar, en lo que se refiere a la calidad de los materiales, en base al uso al que serán destinados. En segundo lugar, debe contar con fácil acceso y que se pueda explotar por los procedimientos más eficientes y menos costosos. En tercer lugar, tiene que ser el que produzca la menor distancia de acarreo a la obra. En cuarto lugar, deben ser los que requieran menos tratamientos para su utilización en la obra y en quinto lugar pero no por ello menos importante, se debe cuidar que el banco no se encuentre en áreas en donde su explotación afecte a los habitantes de la región.

Para el caso del presente estudio, se realizó un recorrido y una inspección visual por el área de influencia del proyecto, evaluando cerros, montañas y ríos del lugar con el objetivo de determinar posibles bancos que contengan materiales adecuados para trituración de agregados pétreos. Se evaluó que tengan un volumen adecuado de explotación y que cumplan con los aspectos mencionados anteriormente, tales como la calidad, accesibilidad, ubicación, etc.

Del recorrido realizado, se observó que en el río Tamazulapa, el cual se encuentra ubicado en el km. 148+500 de la carretera CA1 Oriente, entre las poblaciones de Asunción Mita, Jutiapa y San Cristóbal Frontera; cuenta con una cantidad considerable de materiales de arrastre, tales como piedras apropiadas para trituración y arena de río, por lo que se considero como un posible banco de materiales.

B. Permisos para la explotación del banco.

Antes de iniciar la exploración y explotación de cualquier banco de materiales, se debe contar con los permisos necesarios para llevar a cabo las actividades de explotación del mismo. En vista de lo anterior es imprescindible que cuando se encuentre un posible banco de materiales, se debe ubicar al propietario del terreno en donde se encuentre el banco y será esta persona la que dará autorización para poder realizar sondeos y exploraciones con el objetivo de determinar la calidad del material. En caso que el material cumpla con las especificaciones de calidad y con los volúmenes requeridos para la construcción de la obra, se procede a realizar con el propietario, una negociación de precios por la extracción del material, de forma que ambas partes obtengan un beneficio por la explotación del banco.

Es importante indicar, que en ocasiones se requiere contar con el aval de las autoridades locales para realizar la explotación de un banco, por lo que es recomendable tener una buena relación con las municipalidades del área de influencia del proyecto.

En este caso por tratarse un proyecto del Estado, no se requiere la obtención de licencias para la explotación de recursos naturales por parte del Ministerio de Energía y Minas.

C. Caminos de acceso al banco

Debido a la cercanía con la carretera CA1 Oriente, se cuenta con calles de acceso al banco, las cuales son de terracería y permiten la circulación de camiones de volteo.

D. Estimación del potencial del banco

Para determinar el potencial de explotación del banco, se realizaron una serie de exploraciones a lo largo del cauce del río Tamazulapa, tomando como referencia principal el puente de la carretera CA1 Oriente que pasa sobre el río, a la altura del km. 148+500.

Para realizar las exploraciones se utilizó el equipo descrito a continuación:

1. Excavadora
2. Equipo de posicionamiento global GPS
3. Cinta métrica
4. Cámara fotográfica
5. Personal de topografía y laboratorio.

La medición se inició 2,100 metros aguas arriba del Puente Tamazulapa y finalizó 1,100 metros aguas abajo del mismo puente, es decir que se tuvo una longitud de medición total de 3,200 metros, en donde se realizaron una serie de exploraciones con la excavadora y se registraron los datos de posicionamiento, ancho de banco, profundidad de material explotable y tamaño máximo del mismo en pulgadas. Después de llevar a cabo las exploraciones se determinó que el volumen aproximado de explotación es de 540,052 m³ de material para trituración de agregados pétreos y de base triturada. Los datos obtenidos de las exploraciones se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Puntos de medición y sondeo banco Tamazulapa

PUNTO DE REFERENCIA GPS	ANCHO DE CAUCE (m)	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD DE MATERIAL UTILIZABLE (m)	VOLUMEN APROXIMADO (m3)	T.M.A. (")	OBSERVACIONES
T01	37	400	2.0	29600	30	Inicio de recorrido
T02	120	400	2.0	96000	24	
T03	150	300	2.0	90000	12	
T04	150	200	2.0	60000	12	
T05	120	355	2.0	85200	8	
T06	95	375	2.0	71250	8	
T07	70	370	1.5	38850	6	
T08	PUENTE TAMASULAPA					
T09	60	442	1.2	31824	6	
T10	40	218	1.6	13952	4	Arena
T11	40	334	1.6	21376	4	
T12	20	100	1.0	2000	4	
TOTAL VOLUMEN APROXIMADO (m3)				540052		

Ilustración 4. Ubicación de puntos de referencia en río Tamazulapa



E. Muestreo del banco

Para poder determinar la calidad del material del banco, es necesario obtener muestras representativas cuyas características sean representativas del volumen al que pertenecen. Realizar un buen muestreo juega un papel importante para la aprobación o rechazo de un posible banco de materiales, por esta razón es que el ingeniero civil debe de poner especial cuidado en esta etapa y muestrear no solo los materiales que a su criterio tienen buenas características, sino que también debe obtener muestras de los materiales que se observen de menor calidad en el banco, para poder determinar los volúmenes de material adecuado y de rechazo.

Es importante indicar que un mal muestreo puede generar expectativas erróneas y causar pérdidas económicas al ejecutor de un proyecto, ya que si se aprueba un banco que a la hora de explotarlo, teniendo los equipos de corte, acarreo y trituración instalados, se encuentra que el material no tiene las mismas características que el obtenido en las muestras, se tendrá no solo un retraso en el tiempo de ejecución del proyecto sino que también una fuerte pérdida económica por haber transportado e instalado el equipo en un lugar en donde no obtendrá el material deseado.

En el presente caso, al mismo tiempo de realizar las exploraciones se obtuvieron muestras de materiales, las cuales se seleccionaron tomando en cuenta las características físicas del material encontrado, las muestras se identificaron adecuadamente para enviarlas a un laboratorio de suelos en donde determinen la calidad de las mismas.

Ilustración 5. Ejemplo de etiqueta de identificación de muestra

TRITURADORA TAMAZULAPA	
Título: IDENTIFICACION DE MUESTRAS LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.	
OBRA: _____	FECHA: _____
TRAMO: _____	
MUESTRA No.: _____	
PROCEDENCIA _____	
UBICACIÓN _____	
PARA UTILIZARSE EN _____	
ESTUDIO REQUERIDO _____	
MUESTREADOR _____	
OBSERVACIONES _____	

F. Granulometría del banco

Se realiza una inspección para determinar la granulometría del banco de materiales, el objetivo principal es determinar la cantidad de material del banco que no se podrá utilizar por tener un tamaño mayor al que admite la trituradora. También nos permite tener una idea de la cantidad de arena que contiene el banco.

Ilustración 6. Vista del material de explotación del río Tamazulapa



Cuadro 3. Granulometría de material en banco Tamazulapa

GRANULOMETRÍA DE RÍO TAMAZULAPA		
TAMAÑO (cms.)	TAMAÑO (plg)	% MATERIAL
75 – 50	30 – 20	5.00
50 – 40	20 – 16	25.00
40 – 25	16 – 10	20.00
25 - 2.5	10 – 1	30.00
2.5 – 0	1 – 0	20.00

G. Calidad del banco (materia prima)

Adicional a la granulometría del banco, se realizaron ensayos de abrasión, equivalente de arena, límites de consistencia y de estabilidad volumétrica al sulfato de sodio, para determinar la utilización del material del río Tamazulapa para la producción de agregados pétreos.

Cuadro 4. Resultados de ensayos preliminares material de banco Tamazulapa

Ensayo	Obtenido	Especificación 1975 *	Especificación 2001 *
Desgaste en máquina Los Ángeles (abrasión) - %	14	< 35	< 40
Equivalente de arena - %	62	> 35	> 35
Límite líquido - %	0	< 20	N.E.
Índice plástico - %	0	< 4	< 4
Estabilidad volumétrica al sulfato de sodio - %	5.4	< 10	< 12

* Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, Ediciones 1975 y 2001

H. Aceptación y/o rechazo del banco.

De los resultados anteriores, se puede observar que el material del río Tamazulapa, cumple con las especificaciones para utilizarse en la producción de agregados pétreos, por lo que se procede a su aceptación para su explotación y trituración de agregados.

V. EQUIPOS PARA TRITURACIÓN Y TAMIZADO DE AGREGADOS

Se pueden clasificar todas las trituradoras en dos grupos principales:

- Trituradoras por compresión, que comprimen el material hasta que este se rompe, son las que se generalmente se emplean para la producción de agregados pétreos.
- Trituradoras por impactos, las cuales usan el principio de impactos rápidos para triturar el material.

Las trituradoras de mandíbulas, cono, giratorias y de rodillos operan según el principio de compresión, mientras que las trituradoras de impactos y los molinos de martillos usan el principio de impacto.

A. Plantas móviles de trituración

Las plantas móviles de trituración consisten en un conjunto de plantas de trituración primaria, secundaria y terciaria combinadas con sistemas móviles de cribado, todas ellas montadas sobre orugas que les permiten transportarse por sí mismas a lo largo del banco o cantera, reemplazando el transporte en camiones de volteo.

Los componentes básicos de una planta móvil de trituración montada sobre orugas son prácticamente los mismos que para una planta fija (trituradora de mandíbulas o de impactos, unidad de potencia, alimentador vibratorio de barras, tolva de alimentación, etc.) pero con las ventajas añadidas de una movilidad total.

Ilustración 7. Planta móvil de trituración montada sobre orugas



B. Trituradoras estacionarias

Las trituradoras estacionarias como su nombre lo indica son aquellas que se instalan en un lugar determinado y que no pueden moverse por sí mismas, es decir requieren de equipos auxiliares para su movilización. Generalmente son instaladas cuando ya se tiene definido un banco de explotación y que, por los volúmenes requeridos de material, se ha establecido que el tiempo de trituración de agregados será prolongado.

Este tipo de trituradoras requiere instalaciones y equipos auxiliares, tales como generadores de energía, bombas de agua, sistemas de conducción de agua para los equipos de lavado, construcción de rampas para la alimentación de la trituradora, etc.

1. Trituradora de mandíbula. Las trituradoras de mandíbulas o de quijada se usan principalmente como trituradoras primarias. En esta etapa es en donde se realiza la primer reducción de tamaño del material, con el propósito de que pueda ser transportado en cintas transportadoras hacia las etapas posteriores de trituración.

La trituración ocurre entre una mandíbula fija y una mandíbula móvil. Los forros de la mandíbula móvil están montados en una biela con movimiento oscilante y deben reemplazarse regularmente debido al desgaste.

Hay dos tipos básicos de trituradoras de mandíbulas, las de un solo efecto y las de doble efecto.

En la trituradora de un solo efecto hay un eje excéntrico en la parte superior de la trituradora. La rotación del eje, junto con la placa basculante, produce una acción compresiva. Una trituradora de doble efecto tiene básicamente dos ejes y dos placas basculantes. El primer eje es un eje pivotante en la parte superior de la trituradora, mientras que el otro es un eje excéntrico que acciona las dos placas articuladas. La mandíbula móvil tiene un movimiento puro de vaivén hacia la mandíbula fija.

El movimiento de masticación que causa compresión tanto en la entrada como en la descarga de material, le da a la trituradora de simple efecto una mejor capacidad que la de las trituradoras de doble efecto de tamaño similar. La trituradora de mandíbulas es un equipo robusto y fiable, y por ello muy popular en plantas de trituración primaria.

La ventaja de la trituradora de mandíbula es que puede aceptar bloques de piedras más grandes y su desventaja cuando se requiere alta capacidad, es la reducida anchura de descarga que limita la capacidad en comparación con el circuito de descarga de una trituradora giratoria.

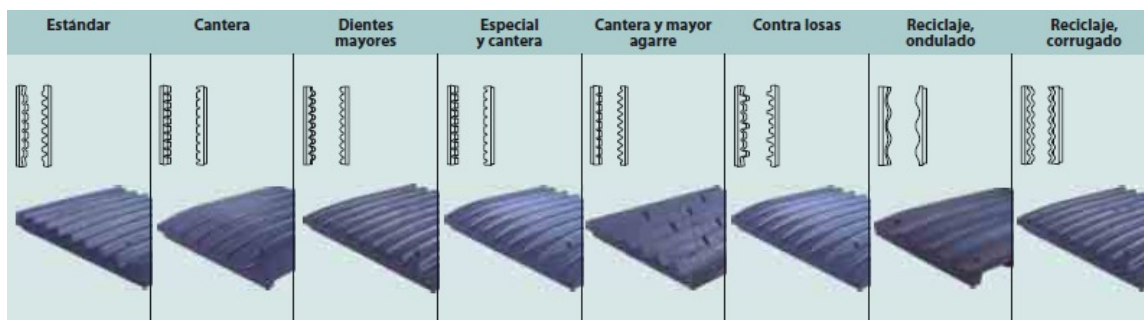
Ilustración 8. Vista externa de trituradora primaria de quijada



Ilustración 9. Vista interna de trituradora primaria de quijada



Ilustración 10. Tipo de mandíbulas para distintas aplicaciones de trituración



2. Trituradora primaria de impacto. Las trituradoras de impactos consisten en una carcasa de placa de acero integrando un eje y un conjunto de rotor, en estas trituradoras el número de piezas móviles es muy reducido, se caracterizan por una elevada tasa de reducción y por la propiedad de dar forma cúbica al producto. Las trituradoras de impactos primarias se usan normalmente en aplicaciones no abrasivas y donde la producción de finos no constituye un problema.

Ilustración 11. Vista exterior de una trituradora de molino de impactos



Ilustración 12. Vista interior de una trituradora de molino de impactos

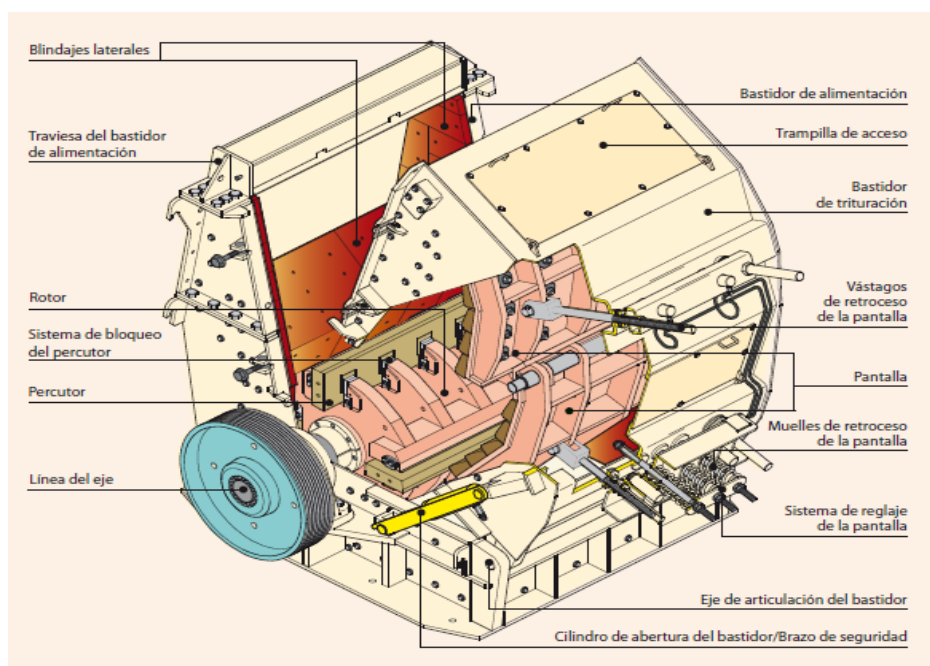
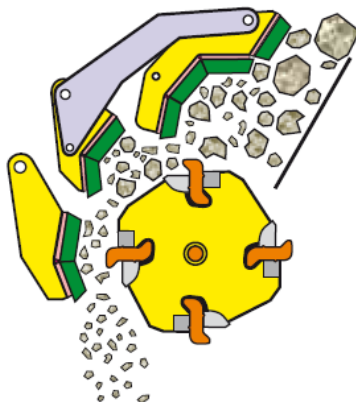


Ilustración 13. Reducción de tamaño del material

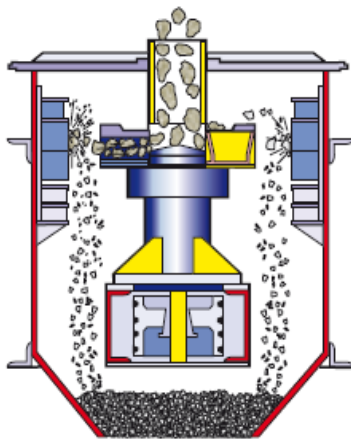
en una trituradora de impactos



Existen trituradoras primarias de eje horizontal y de eje vertical. En las de eje horizontal el material de alimentación es triturado mediante impactos altamente intensos originados por el rápido movimiento rotacional de martillos/barras fijados al rotor. Las partículas resultantes son posteriormente re trituradas dentro de la trituradora al chocar contra las piezas de la trituradora y entre sí mismas, produciendo un producto más fino y con mejor formato.

Las trituradoras primarias de impactos de eje vertical pueden considerarse “bombas de piedra” que operan como una bomba centrífuga. El material se alimenta a través del centro del rotor, donde es acelerado hasta una alta velocidad antes de ser descargado a través de aberturas en la periferia del rotor. La trituración ocurre mientras el material choca a alta velocidad contra los forros de la carcasa exterior y también debido a la acción de roca contra roca.

Ilustración 14. Tritradora de impactos de eje vertical



3. Trituradora secundaria de impacto. Operan bajo el mismo concepto de una trituradora primaria de impacto, únicamente que se utiliza para materiales de menor tamaño, reciben el material proveniente de la trituración primaria.

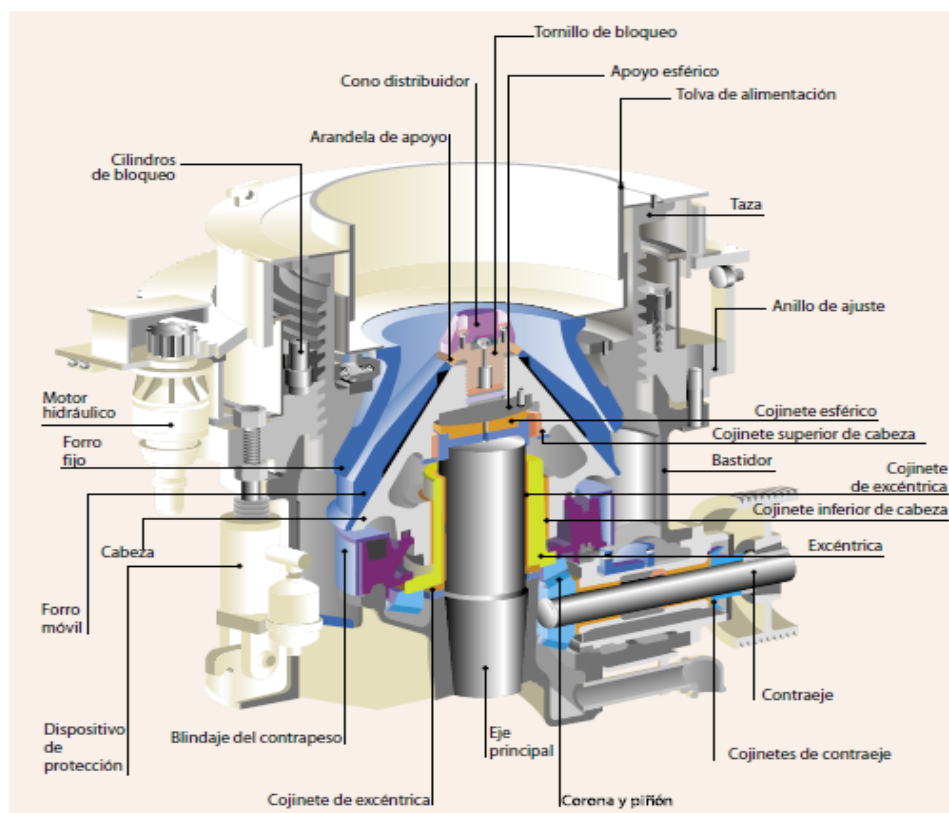
4. Trituradora de cono. Estas trituradoras se usan en la trituración primaria y terciaria para la producción de tamaños intermedios y finos y/o para obtener un producto con buen formato cúbico, generalmente el material de alimentación ha sido tratado en trituradoras primarias en etapas anteriores.

En una trituradora de cono, el material de proceso se tritura entre dos superficies rígidas, que son una parte fija que es conocida como cono fijo o tazón y un cono móvil. Cuando el cono móvil se acerca al cono fijo, las rocas son sometidas a un esfuerzo de compresión y son trituradas, cuando se aleja, el material triturado se descarga de la salida de la máquina. El cono fijo se puede elevar o bajar para ajustar el tamaño de descarga deseado.

Ilustración 15. Vista externa de una trituradora de cono



Ilustración 16. Vista interna de un cono de trituración



C. Otros tipos de equipos de trituración

Existen otros tipos de equipos de trituración que únicamente se nombrarán ya que generalmente no son utilizados para la producción de agregados pétreos.

1. Trituradora de cámara profunda.

2. Molinos para trituración.

2.1. Molino vertical.

2.2. Molino trapezoidal.

2.3. Molino para polvo superfino.

2.4. Molino de alta presión

2.5. Molino Raymond

2.6. Molino de bolas

D. Equipo de cribado y lavado

1. Criba vibrante. La función de las cribas vibratorias consiste en la separación de materiales en fracciones de tamaños, evitando la contaminación excesiva de una fracción con partículas de otra fracción.

Los principios de cribado para cribas vibrantes son básicamente los mismos en cualquier aplicación. El material a ser cribado, cuando es lanzado sobre la caja de alimentación o directamente sobre la superficie de cribado, pierde su componente de velocidad vertical y cambia la dirección de su movimiento. Bajo el efecto de la vibración, la capa de material tiende a desarrollar un estado fluido.

Una vez que el material esté sobre la superficie de cribado, ocurren dos procesos que posibilitan la clasificación:

- Estratificación: Es el proceso en el que por efecto del movimiento vibratorio, las partículas gruesas suben a la parte superior de la capa de material y las partículas más pequeñas buscan su camino hacia la parte inferior de la capa a través de los espacios creados entre las partículas gruesas.
- Probabilidad de separación: Este es el proceso en el que las partículas llegan a la malla y, según sean mayores o menores que las aberturas de la malla, son rechazadas o pasan a través de la criba.

La probabilidad de separación de una partícula es una función de la relación entre su tamaño y la abertura de la malla de la criba. Cuanto mayor sea la diferencia de tamaño, mayor será la probabilidad que las partículas pasen o sean rechazadas y viceversa.

Un factor muy importante en el proceso de cribado lo constituye el movimiento de vibración de la criba.

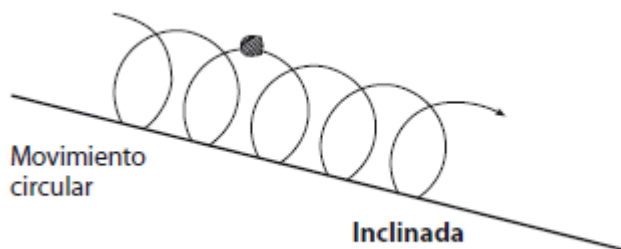
Generalmente, el movimiento de vibración se produce por medio de mecanismos vibrantes basados en masas excéntricas con amplitud de 1.5 a 5 mm operando dentro de un rango de 700 a 1,000 revoluciones por minuto.

Para una buena calidad de separación, se necesita una buena relación entre amplitud y frecuencia. Es deseable que cuando el material se traslada sobre la criba, las partículas no caigan en la misma abertura al mismo tiempo y que no salten varias aberturas. Por eso, se debe tener en cuenta:

- Aberturas mayores: mayor amplitud – menor velocidad
- Aberturas menores: menor amplitud – mayor velocidad

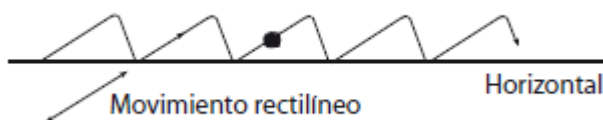
En una criba inclinada la vibración se produce por un movimiento circular en un plano vertical. La vibración levanta el material produciendo estratificación y las partículas se trasladan sobre la superficie de la criba debido al movimiento vibratorio y a su inclinación.

Ilustración 17. Movimiento de una partícula de material en una criba vibratoria inclinada



En cribas horizontales, el movimiento deberá ser capaz de transportar el material sin ayuda de la gravedad. Un movimiento rectilíneo con una inclinación de aproximadamente 45° , con relación a la horizontal, produce un componente vertical que permite la estratificación y un componente horizontal que permite el transporte.

**Ilustración 18. Movimiento de una partícula de material
en una criba vibratoria horizontal**



2. Lavado en la criba. El lavado durante el cribado, se utiliza para quitar materiales indeseables, principalmente arcilla y partículas extremadamente finas. También se usa para clasificar materiales finos y/o productos húmedos difíciles de cribar sin lavado.

El lavado consiste en la aplicación de chorros de agua a través de boquillas de pulverización de manera a formar una cortina de agua bajo presión dirigida al material en la criba a fin de quitar las impurezas pegadas al material, lo cual se logra mediante la instalación de boquillas en tubos metálicos posicionados transversalmente al flujo del material.

Para recuperar los finos (material menor de 3/8') que pudiera perderse por la acción del lavado, se pueden usar cribas de desagüe, tornillos lavadores, clasificadores espirales, etc.

3. Lavadora espiral de arena. La necesidad cada vez mayor de obtener un producto limpio en la producción de agregados pétreos para la construcción civil, justifica la gran importancia de los equipos y procesos de lavado en las plantas de trituración y clasificación.

La función de la lavadora espiral de arena es eliminar los materiales arcillosos indeseables en los materiales finos y a la vez recuperar la arena que pudiera perderse en el proceso de descarga de las cribas lavadoras.

El proceso consiste en alimentar al separador de arena con la mezcla de agua y arena a través de una entrada central por debajo de la criba de desagüe. El material entra la artesa en una sección sin turbulencia de la rueda de desagüe. La arena se deposita en el fondo de la artesa, un tornillo sin fin de movimiento lento transporta el material para la rueda de desagüe y el agua residual rebosa a través de un vertedero en la extremidad opuesta de la máquina.

Ilustración 19. Lavadora espiral de arena



E. Alimentador y transportador

1. Alimentador vibratorio. El alimentador vibratorio forma parte del equipo de trituración primaria y como su nombre lo indica, su función es alimentar y transportar mediante movimientos vibratorios el material proveniente de la tolva de alimentación hacía la trituradora de mandíbulas por lo que es un equipo concebido para materiales de gran tamaño.

2. Cinta transportadora. Las cintas transportadoras son las encargadas de transportar el material entre las distintas etapas de trituración y para la disposición como producto final de los agregados.

Ilustración 20. Transporte de material mediante cintas transportadoras entre etapas de trituración.



Ilustración 21. Disposición final de agregados mediante cintas transportadoras



VI. EXPLOTACIÓN DEL BANCO

A. Elección del equipo para la explotación del banco

Para determinar que equipos se requieren para la explotación del banco, es necesario conocer que actividades se realizarán durante el proceso de explotación del banco y para la producción de agregados.

1. Corte y carga del material del banco: Se necesita un equipo que pueda realizar corte de material en el banco y que a la vez sea capaz de cargar a las unidades de transporte, generalmente se utiliza una excavadora.

2. Acarreo del material: Se necesitan las unidades de transporte tales como camiones de volteo o camiones articulados, para que trasladen el material proveniente del corte del banco hacia los patios destinados para apilamiento antes de ser sometidos al proceso de trituración.

La cantidad de camiones deberá ser tal que permita un ciclo adecuado de transporte, de tal forma en que la máquina encargada de cargar los camiones siempre tenga disponible una unidad por llenar, pero sin que dichas unidades lleguen a estorbarse en las vías asignadas ni que lleguen a formar una fila de espera en la carga y descarga del material.

3. Disposición del material del banco en patios de apilamiento: Es necesario trasladar el material del banco a un apilamiento que se encuentre cercano a la planta de trituración. En esta etapa se utiliza un tractor de orugas para colocar y tender adecuadamente el material en los patios de escurrimiento.

4. Traslado del material hacia la planta trituradora: Se necesita de un equipo con una capacidad de carga que este en relación con el rendimiento o capacidad de producción de la trituradora. Generalmente se utiliza un cargador frontal y los camiones necesarios para mantener un ciclo de acarreo que permita una alimentación adecuada de la trituradora.

5. Proceso de trituración: En base a los agregados que se requiere triturar, en este caso se utilizará una trituradora primaria, un cono secundario y un cono terciario, con sus respectivas cribas y bandas transportadoras.

Adicionalmente, se necesitan de generadores de energía que tengan la capacidad adecuada para mantener operativa la trituradora.

6. Traslado del producto terminado a patios de apilamiento: Se debe contar con un cargador frontal y camiones de volteo (cuando la distancia lo requiera) para realizar el traslado de los agregados hacia los patios de almacenamiento.

B. Corte, carga y acarreo de la grava de río.

1. Se realizó una limpieza del área de trabajo, se retiraron aquellos obstáculos que impedían realizar una operación segura del equipo.

2. Se desvió el río con el propósito de colocar el equipo de corte sobre una base seca y obtener una plataforma en donde se pueda colocar el material explotado para que pueda drenar la mayor cantidad de agua.

3. Para realizar el corte y carga del material, se utilizó una excavadora, la cual se posicionó sobre una base firme para evitar que pudiera sufrir algún hundimiento y se colocó a la par de una corriente de agua para realizar un prelavado del material con el objetivo de retirarle cualquier material arcilloso que pueda afectar la calidad del producto terminado.

Ilustración 22. Corte de material en banco de río



4. Después de cortar y escurrir el material, se procedió a cargarlo en camiones de volteo para su respectivo acarreo hacia el patio de apilamiento cercano a la trituradora.

C. Seguridad industrial

Durante la explotación de un banco de materiales es de suma importancia llevar a cabo las actividades correspondientes con la finalidad de evitar accidentes que puedan provocar daños o lesiones al personal, al equipo o a las instalaciones.

El primer paso es identificar los riesgos existentes debidos a la naturaleza del trabajo, identificados los riesgos se deben tomar las medidas correctivas que permitan eliminar o en su defecto minimizar dichos riesgos.

A continuación se mencionan algunas medidas que se tuvieron en cuenta:

- Cuando se explota un banco de grava de río es de vital importancia el monitoreo del caudal del río, especialmente en épocas lluviosas, ya que una crecida repentina puede generar muchos inconvenientes para el personal y el equipo de extracción de materiales, por lo que al detectar un aumento considerable del caudal del río se recomienda retirar el equipo que se encuentra en el cauce del mismo.
- Deben existir caminos establecidos y debidamente señalizados para el equipo de acarreo de materiales, con un ancho suficiente que permita la libre circulación de los mismos en ambas vías.
- Prohibir el uso de teléfonos celulares en las áreas de trabajo para evitar distracciones.
- Uso de equipo de seguridad, tales como casco, chaleco reflectivo, gafas de seguridad, etc.

D. Medidas de mitigación

Durante la explotación del banco de materiales del río Tamazulapa, se consideraron las siguientes medidas de mitigación:

1. Se construyeron bordas de protección en las márgenes del río con el objetivo de proteger las propiedades aledañas al cauce del mismo.
2. Se ubico adecuadamente el caudal principal del río, para que en épocas lluviosas no afecte a terrenos aledaños.
3. Se mantuvo la pendiente natural del cauce para no modificar la velocidad de arrastre del río.

VII. TRITURACIÓN DE AGREGADOS

A. Procedimientos de trituración de agregados

Para determinar el procedimiento de trituración de agregados es necesario conocer cuál es el producto final que se desea obtener, en este caso el producto final es el concreto asfáltico en caliente. Como se indicó anteriormente, para este proyecto las Especificaciones Técnicas Especiales indican que la mezcla asfáltica debe tener una graduación Tipo D con un tamaño máximo de agregado de 19 mm (3/4").

Debido a las variaciones durante la producción de una trituradora es indispensable obtener dos o más agregados de diferentes tamaños, los cuales se proporcionan en porcentajes de participación en peso, para obtener la graduación deseada.

Considerando que la planta de producción de mezcla asfáltica que se utilizó en el proyecto cuenta con cuatro bins de dosificación de agregados, se determinó producir cuatro agregados, con las dimensiones siguientes:

- Grava 3/4" – 3/8".
- Gravilla 3/8" – 3/16".
- Arena cribada 3/16" – 0.
- Polvo de roca 3/16" – 0.

En este proyecto para obtener los agregados arriba indicados, se utilizó una trituradora primaria de quijada, un cono secundario y un cono terciario, con sus respectivas cribas y cintas transportadoras, el proceso de trituración es el siguiente:

1. La trituradora primaria de quijada admite piedras hasta un tamaño de 18", reduciéndolas a un tamaño de 4".

2. El material producto del triturador primario fue transportado hacia la criba vibratoria del secundario la cual cuenta con sistema de lavado.
3. En la criba secundaria existen dos camas o pisos de mallas para la separación de materiales en tamaños.
 - a. Piso superior, que cuenta con cinco mallas con las siguientes aberturas:

1 malla de 1" + 1 de 7/8" + 1 de 3/4" + 1 de 5/8" y 1 de 1/2".
 - b. Piso inferior, que cuenta con cinco mallas de con una abertura de 5/8".
4. El material retenido en el piso superior de la criba secundaria ingresa a el cono secundario de trituración.
5. El material que atraviesa las mallas del piso superior y que es retenido en el piso inferior, es trasladado hacia la cinta transportadora principal del terciario.
6. El material que atraviesa las mallas del piso inferior, pasa por el lavador espiral de arena y se convierte en el producto terminado de arena cribada 3/16" – 0.
7. El cono secundario se configura con una abertura de salida de 1 1/2", es decir que reduce el material retenido en el piso superior de la criba secundaria de 4" a 1 1/2".
8. El material producto del cono secundario es trasladado hacia la criba del cono terciario por medio de la cinta transportadora principal del terciario.
9. El material retenido en el piso inferior de la criba secundaria se une mediante una banda transportadora con el material producido en el cono secundario que se encuentra en la cinta transportadora principal del terciario.
10. La cinta transportadora principal del terciario deposita el material en la criba vibratoria del terciario.
11. En la criba terciaria existen tres camas o pisos de mallas para la separación de agregados.
 - a. Piso superior, que cuenta con cinco mallas con las siguientes aberturas:

1 malla de 3/4" + 1 de 3/8" + 1 de 1/2" + 1 de 3/4" y 1 de 3/8".
 - b. Piso intermedio, que cuenta con cinco mallas con una abertura de 3/8".

c. Piso inferior, con cinco mallas con una abertura de 3/16”.

12. El material retenido en el piso superior de la criba terciaria ingresa a el cono terciario.

13. El material que atraviesa el piso superior y que es retenido en el piso intermedio de la criba terciaria, es retirado del circuito de trituración mediante una cinta transportadora y se convierte en el producto final de grava 3/4” – 3/8”.

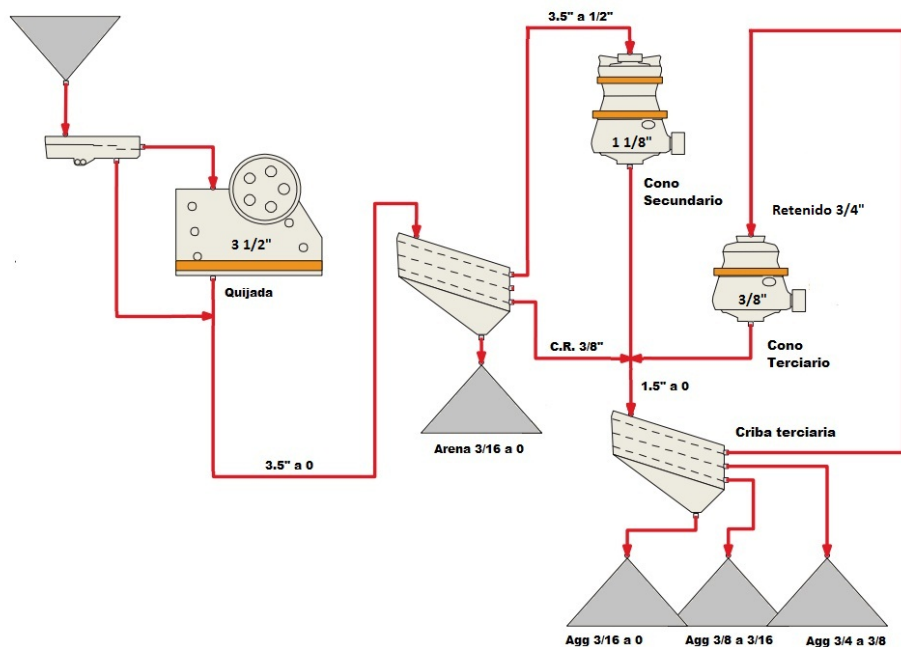
14. El material que atraviesa el piso intermedio y que es retenido en el piso inferior es retirado del circuito de trituración y se convierte en el producto final de gravilla 3/8” – 3/16”.

15. El material que atraviesa el piso inferior de la criba terciaria, se convierte en el producto final de polvo de roca 3/16” – 0.

16. El cono terciario se configura con una abertura de salida de 3/8”, es decir que reduce el material retenido en el piso superior de la criba secundaria de 1 1/2” a 3/8”.

17. El material producto del cono terciario es retornado a la cinta transportadora principal del terciario para pasar nuevamente por el proceso de cribado.

Ilustración 23. Croquis de configuración de trituradora de agregados



B. Definición del predio donde se instalará la planta de trituración

Para definir el predio donde se instalara la trituradora deben considerarse varios aspectos, los cuales se detallan a continuación:

1. Distancia con el banco de explotación
2. Vías de acceso.
3. Tamaño del predio.
4. Disponibilidad de fuente de agua para el proceso de lavado.
5. Ubicación en una zona no residencial.
6. El valor soporte del terreno donde se instalará la trituradora.
7. Topografía del terreno.
8. Acceso a instalaciones de agua potable y energía eléctrica.

C. Instalación y montaje de planta de trituración

Para la instalar una trituradora se deben seguir los pasos descritos a continuación:

1. Nivelar y estabilizar el terreno.
2. Construcción de rampa para descarga de camiones a tolva de alimentación.
3. Colocación de triturador primario continuo a la rampa de descarga.
4. Colocación de trozas de madera en soportes de chasis del triturador primario.
5. Instalación de cinta transportadora en salida del primario.
6. Instalación de cono secundario

7. Colocación de trozas de madera en soportes de chasis del cono secundario.
8. Instalación de criba secundaria.
9. Instalación de cinta transportadora que traslada el material del triturador primario hacia la criba secundaria.
10. Instalación de lavadora espiral de arena.
11. Instalación de cinta transportadora que dispone la arena cribada como producto final.
12. Instalación de cono terciario.
13. Colocación de trozas de madera en soportes de chasis del cono terciario.
14. Instalación de criba del terciario.
15. Instalación de cinta transportadora que traslada el material del triturador secundario hacia la criba del terciario.
16. Instalación de cintas transportadoras que disponen los agregados como productos finales (grava $\frac{3}{4}$ " – $\frac{3}{8}$ ", gravilla $\frac{3}{8}$ " – $\frac{3}{16}$ " y polvo de roca $\frac{3}{16}$ " – 0).
17. Instalación de cinta transportadora en salida de cono terciario hacia la cinta que viene de la salida del secundario hacia la criba terciaria (retorno).
18. Instalación de cabina de generadores de energía y cabina de mandos.
19. Instalaciones eléctricas de generadores de energía hacia cabina de mandos y de cabina de mandos hacia los distintos motores de la trituradora.
20. Instalación de bombas hidráulicas y tubería para el abastecimiento de agua para el lavado de materiales.
21. Instalación de tubería para desfogar de agua.

D. Pruebas en vacío de los equipos de trituración

Al tener instalados cada uno de los componentes de la trituradora, se realizó una prueba en vacío de los equipos de trituración, la cual consiste en poner en funcionamiento la trituradora pero sin material de carga. Esta prueba se realizó con el objetivo de verificar el adecuado funcionamiento, sentido de giro y amperaje de los motores de la trituradora, cintas transportadoras, criba, etc. También se verificó que las conexiones eléctricas funcionen adecuadamente y que los componentes de la trituradora respondan a los controles de la cabina de mandos.

E. Pruebas con los equipos cargados de material

Después de verificar que los componentes de la trituradora funcionan adecuadamente en vacío, se procedió a realizar pruebas con los equipos cargados de material.

El primer objetivo de estas pruebas es verificar el funcionamiento de los componentes de la trituradora en las condiciones de servicio y al igual que en las pruebas en vacío, se realizaron mediciones de amperajes de motores.

El segundo objetivo de las pruebas con los equipos cargados de material, es determinar las características de los agregados producidos y verificar que la configuración seleccionada para la trituradora sea la adecuada para las necesidades del proyecto.

Es importante indicar que para que la prueba sea representativa, se verificó que la carga de material a la tolva de alimentación fuera constante, así mismo se inspeccionaban constantemente los agregados como producto final, para verificar que no existieran contaminaciones entre los mismos por taponamientos de mallas.

Después de comprobar que la trituradora funcionaba adecuadamente, se procedió a realizar el muestro de cada uno de los agregados como producto final.

F. Muestreo y análisis de laboratorio de la producción de prueba

Para proceder al muestreo de prueba de los agregados producidos por la trituradora, primero se observó que hubiera una trituración continua por un lapso mayor a dos horas, con el objetivo de que los equipos estabilicen la producción y que la

muestra no se vea afectada por los procesos de arranque, interrupción o paro de la trituración.

1. Muestras. Se obtuvieron muestras de la caída de las bandas transportadoras de cada uno de los agregados, para realizarles las siguientes pruebas:

a. Grava $\frac{3}{4}$ " – $\frac{3}{8}$ "

- 1) Ensayo de granulometría.
- 2) Ensayo de caras fracturadas.
- 3) Ensayo de partículas planas y alargadas.

b. Gravilla $\frac{3}{8}$ " – $\frac{3}{16}$ "

- 1) Ensayo de granulometría.
- 2) Ensayo de caras fracturadas.
- 3) Ensayo de partículas planas y alargadas.

c. Arena cribada $\frac{3}{16}$ " – 0

- 1) Ensayo de granulometría.
- 2) Ensayo de equivalente de arena.
- 3) Ensayo de límites de consistencia.

d. Polvo de roca $\frac{3}{16}$ " – 0

- 1) Ensayo de granulometría
- 2) Ensayo de equivalente de arena
- 3) Ensayo de límites de consistencia.

2. Análisis de resultados. Los resultados del ensayo de granulometría de los agregados producidos durante la prueba de trituración, se muestran en el Cuadro 5 y se pueden considerar aceptables ya que no se observan sobre tamaños en cada uno de los materiales.

Cuadro 5. Granulometrías de agregados en primer prueba de trituración

TAMIZ	GRAVA 3/4" - 3/8"	GRAVILLA 3/8" - 3/16"	ARENA CRIBADA 3/16" - 0"	POLVO DE ROCA 3/16" - 0"
	% QUE PASA	% QUE PASA	% QUE PASA	% QUE PASA
1"	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	30.1	100.0	100.0	100.0
No. 4	4.5	25.0	100.0	100.0
No. 8	2.9	5.2	84.9	80.5
No. 50	1.9	2.3	20.6	25.4
No. 200	1.4	1.7	2.6	13.8

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de los ensayos de partículas planas y alargadas de los agregados grava $\frac{3}{4}$ " – 3/8" y de la gravilla 3/8" – 3/16".

Cuadro 6. Resultados de ensayos de caras fracturadas, partículas planas y alargadas en primer prueba de trituración

Descripción	Especificación	Obtenido	
		Grava 3/4" - 3/8"	Gravilla 3/8" - 3/16"
Partículas con una cara fracturada - %	> 90	95.4	96.8
Partículas con dos caras fracturadas - %	> 75	94.3	96.2
Partículas planas y alargadas - %	< 8	8.6	3.4

En el cuadro anterior se puede apreciar que el material de grava $\frac{3}{4}$ " – 3/8" no cumple con la especificación de partículas con una cara fracturada, este problema se puede solucionar cerrando la abertura de los conos de trituración.

G. Ajustes del equipo de trituración después de las pruebas.

Como se puede apreciar en el Cuadro 6, el material de grava $\frac{3}{4}$ " – $\frac{3}{8}$ " no cumple con la especificación de partículas con una cara fracturada, debido a que este material se produce en el cono terciario se procedió a realizar un ajuste en la abertura del mismo, la cual inicialmente se encontraba a $\frac{1}{2}$ " y se redujo a $\frac{3}{8}$ " con el objetivo de llenar más la cámara de trituración y provocar una mayor trituración del agregado.

Después de realizar el ajuste en el cono terciario, se debe procedió a realizar nuevamente una prueba de trituración, se obtuvieron muestras de los materiales producidos y al analizar los resultados, se obtuvo una mejora en la calidad de los agregados ya que se logró reducir el porcentaje de partículas planas y alargadas a un valor menor al especificado, por lo que se considera que se puede iniciar el proceso de producción de agregados. Los resultados de la segunda prueba de trituración se muestran a continuación:

Cuadro 7. Granulometrías de agregados en segunda prueba de trituración

TAMIZ	GRAVA 3/4" - 3/8"	GRAVILLA 3/8" - 3/16"	ARENA CRIBADA 3/16" - 0"	POLVO DE ROCA 3/16" - 0"
	% QUE PASA	% QUE PASA	% QUE PASA	% QUE PASA
1"	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	31.8	100.0	100.0	100.0
No. 4	4.7	26.1	100.0	100.0
No. 8	2.8	5.4	83.0	81.3
No. 50	1.8	2.5	19.8	25.7
No. 200	1.4	1.6	2.6	13.6

Cuadro 8. Resultados de ensayos de caras fracturadas, partículas planas y alargadas en segunda prueba de trituración

Descripción	Especificación	Obtenido	
		Grava 3/4" - 3/8"	Gravilla 3/8" - 3/16"
Partículas con una cara fracturada - %	> 90	95.8	97.4
Partículas con dos caras fracturadas - %	> 75	95.2	96.9
Partículas planas y alargadas - %	< 8	4.1	3.0

H. Inicio de la trituración

Con base en los resultados obtenidos se procedió a iniciar la trituración de agregados pétreos para concreto asfáltico, realizando ensayos periódicos a los materiales durante la producción para verificar que se mantengan las características de calidad especificadas.

I. Seguridad industrial en la planta de trituración

A continuación se mencionan algunas medidas que se tuvieron en cuenta como parte de la seguridad industrial en el proceso de trituración de agregados.

- Implementación de alarma de inicio de funcionamiento de equipo.
- Colocación de accesorios que permitan el acceso accidental a elementos en movimiento, como las fajas de transmisión de los motores.
- El equipo de neumáticos (cargador frontal, camiones de volteo, etc) que trabaja en la zona de trituración debe contar con alarma de retroceso.
- Uso obligatorio de equipo de seguridad, tales como casco, chaleco reflectivo, gafas de seguridad, guantes, tapones de oídos, mascarillas, etc.
- Prohibir el uso de teléfonos celulares en las áreas de trabajo para evitar distracciones.

VIII. MANEJO, ACOPIO Y ALMACENAMIENTO DEFINITIVO DE AGREGADOS

El acopio de agregados puede definirse como el proceso en el cual se acumulan los productos de los agregados, con el objeto de permanecer por un tiempo determinado a la espera de algún proceso de transformación. El acopio de agregados nos permite planificar la producción de mezcla asfáltica en caliente que requiere el proyecto.

La importancia del acopio de agregados radica en varios aspectos que se describen a continuación:

- El acopio de agregados es un elemento de la logística de trabajo que, considerando que las condiciones de los agregados cambian con el tiempo, nos permite anticiparnos a los problemas aplicando las “correcciones” necesarias.
- El acopio de agregados en forma anticipada, establece el rendimiento “real” de la trituración de agregados, permitiendo reprogramar y planificar el avance del proyecto.
- Durante el acaparamiento, los agregados drenan el agua que se utiliza en el proceso de triturado, lo que nos permite tener materiales con menor contenido de humedad.
- El acopio permite conocer las condiciones de granulometría de los agregados, antes de ser utilizados en la fabricación de mezcla asfáltica.
- Los agregados pétreos son indispensables para la producción de mezcla asfáltica, por lo cual debe existir la cantidad necesaria de éstos para evitar un desabastecimiento, lo que podría provocar el desperdicio de tiempo, recursos económicos y el incumplimiento de los compromisos del proyecto.

A. Procedimientos para el manejo, acopio y almacenamiento de agregados.

Para poder tener una reserva de agregados, es fundamental contar con patios de acopio, ya que gracias a ellos, se puede mantener el stock necesario para la producción continua de mezcla asfáltica, tanto para la actualidad, como para futuro. Un apropiado volumen de acopio, es fundamental para el funcionamiento óptimo, ya que en caso de problemas para surtir sus patios, se cuenta con una buena cantidad de reserva.

Debido a la importancia de los patios de apilamiento, estos deben tener ciertas características, tales como:

1. Superficie impermeabilizada: La forma de preparar los patios, dependerá de las condiciones del terreno y los recursos con los que se cuente. La superficie se puede impermeabilizar mediante el uso de:

a. Base con pavimento asfáltico. Este patio posee en su superficie un sello asfáltico, el que tiene como finalidad sellar la superficie pavimentada, con el objeto de evitar posibles infiltraciones de agua en la capa de base, por lo que el agua fluye sobre la carpeta de rodado, gracias a la pendiente que posee el patio.

1) Ventajas:

- Más económica en su construcción, en comparación con los pavimentos de concreto.
- La instalación del asfalto es rápida en comparación a otras superficies, es decir, su tiempo de construcción es menor al de las demás soluciones donde los rendimientos de tiempos y de mano de obra son muy elevados.
- El tiempo de curado del pavimento asfáltico es muy corto, el patio se puede comenzar a utilizar un día después de su construcción.
- Los pavimentos asfálticos pueden ser reciclados, lo cual es una ventaja considerando el ahorro económico que involucra esta técnica.

2) Desventajas:

- El pavimento asfáltico requiere de una mayor cantidad de mantenimientos en comparación a los pavimentos de concreto, los cuales a la vez poseen un costo superior al de estas otras superficies.

b. Base con pavimento de concreto. Este tipo de patio se trata de una losa de concreto formada por paños con sus juntas selladas, lo que impide la infiltración de agua; por lo tanto, ésta solo fluye por sobre la losa gracias a la pendiente que presenta el terreno hasta llegar a los canales de evacuación de agua que se encuentran en el extremo más bajo del patio. En este tipo de solución, se debe tener especial cuidado con las juntas, con el fin de evitar la infiltración del agua hacia las capas inferiores.

1) Ventajas:

- La vida útil de este tipo de pavimento, es superior a todas las restantes alternativas evaluadas en este proyecto.
- A diferencia de las otras alternativas de pavimento, los pavimentos de hormigón soportan de una mejor manera cargas de tráfico pesado.

2) Desventajas:

- El tiempo de curado del pavimento de hormigón es considerablemente superior al de las demás soluciones de pavimentación estudiadas.
- El costo de construcción de un pavimento de concreto, es mayor al de otras superficies.
- Requiere de una mantención permanente de los sellos de las juntas.

c. Base estabilizada con cemento e imprimada. Este patio es diseñado con una aplicación de asfalto, específicamente una imprimación bituminosa, la cual sella la base tratada con cemento, por lo que el agua no se infiltra hacia las capas inferiores, sino que corre pendiente abajo del patio hasta desembocar en el canal de recolección de aguas.

Este tipo de solución, permite resolver de la mejor forma las necesidades que presentan los patios de acopio, además, cabe señalar que las bases tratadas con cemento poseen la cualidad de aumentar su resistencia con el paso del tiempo. Por lo tanto, es absolutamente viable su aplicación.

1) Ventajas:

- Al incorporar cemento a la base, esto permite que no se requiera un pavimento en la superficie.
- El bajo costo de construcción que posee este tipo de pavimento.
- Mejora su resultado en el tiempo como consecuencia de la hidratación permanente.
- La puesta en servicio de esta solución, es rápida una vez construido el pavimento.
- Los costos de mantención de las bases tratadas con cemento son muy bajos.

2) Desventajas:

- La vida de diseño de este tipo de tratamiento, al ser sometido a cargas elevadas es baja, por lo que se deben reparar a cada año.

B. Equipo para el manejo y almacenamiento de agregados.

El equipo utilizado para el almacenamiento de agregados consiste en un cargador frontal adecuado, el cual debe ser de cucharón liso sin dientes y en buen estado. Dependiendo de la distancia entre la trituradora y los patios de apilamientos, en ocasiones también se utilizan camiones de volteo.

C. Almacenamiento definitivo de agregados

Para el almacenamiento definitivo de agregados se debe contar con un patio que tenga una superficie impermeabilizada, con un área suficiente para apilar el material y con una pendiente que permita que el agua fluya para obtener un buen drenaje de los agregados.

Dependiendo de la granulometría del agregado, así será el modelo de apilamiento recomendado. Cada modelo de apilar tiene sus ventajas y desventajas ya que no existe el modelo perfecto, sin embargo se debe apilar de manera que el agregado no sufra alteraciones en sus cualidades críticas. Las alteraciones más frecuentes son: segregación, desintegración, contaminación, sobre tamaño, compactación y humedad.

Para apilar agregados gruesos como los piedrines, se recomienda utilizar terrazas o plataformas (Ilustración 24), de manera que no se tengan taludes con pendiente muy aguda y de gran altura, debido a que las partículas de mayor tamaño ruedan con facilidad, separándose de los partículas finas, como se muestra en la Ilustración 25. Este tipo de apilamiento requiere mayor área para colocar y cubrir, por lo que no siempre se logra apilar con eficiencia este tipo de agregado.

Ilustración24. Apilamiento en terrazas o plataformas

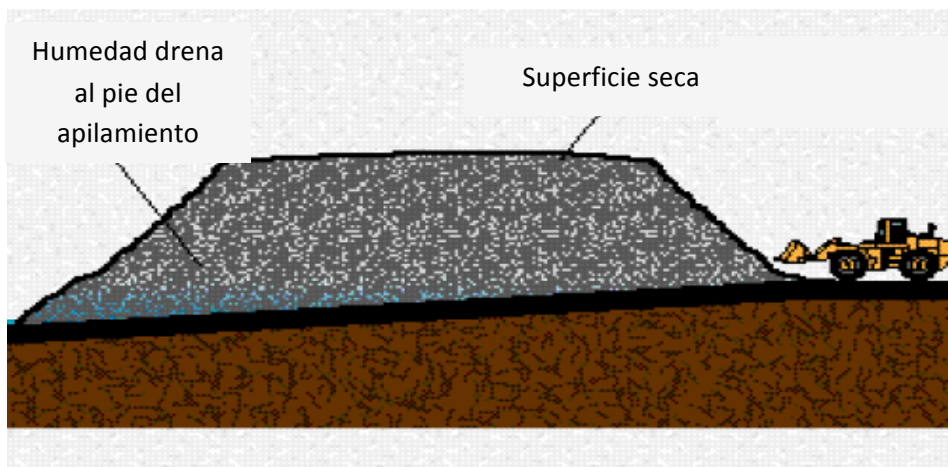
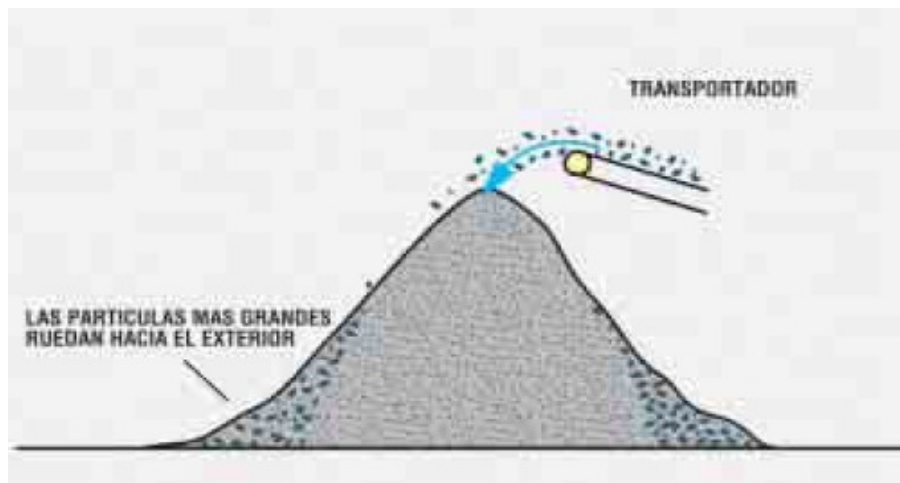


Ilustración 25. Forma incorrecta de apilar agregados gruesos.



Los agregados con granulometrías cerradas como la arena y el polvo de roca, son menos exigentes en cuanto a la forma de apilar. Si se tiene suficiente área, se puede apilar en terrazas, una sobre otra. Generalmente se apilan en cono e incluso con formas irregulares, adecuándose a las condiciones del patio, pero esta forma de apilar tiene el inconveniente de no favorecer el oreado, ya que se concentra elevada humedad en su interior.

D. Recomendaciones para el almacenamiento de agregados

1. Se debe disponer de cargador frontal adecuado, en buenas condiciones mecánicas, no debe botar fluidos para no contaminar los agregados, debe ser de uso exclusivo para agregados, debe contar con un operador calificado. Debe ser de cucharón liso y en buen estado.
2. Para proteger los agregados de la contaminación vegetal, polvo suelto y evitar que se humedezca por lluvia o sereno, es bastante común utilizar cobertores de lona o nylon.
3. En algunos proyectos se tienen condiciones desfavorables para utilizar lonas o nylon, ya que el fuerte viento destruye los cobertores o los mueve de lugar.
4. Es una mala práctica utilizar rocas para afianzar los nylon, por lo que debemos evitar que los colaboradores las utilicen. Se pueden utilizar métodos más seguros para afianzar los nylon y así evitar contaminar los agregados con rocas “olvidadas” o “perdidas” dentro del apilamiento.
5. Mantener un campamento ordenado y delimitar las áreas de apilamiento y parqueo de maquinaria y camiones.

IX. CONTROL DE CALIDAD

A. Laboratorio

1. Instalaciones. Las instalaciones deben permitir que las actividades del laboratorio se desarrollen de modo eficaz y seguro.

El diseño del laboratorio deberá obedecer a las características generales del programa de trabajo previsto y de las actividades a realizar durante el proyecto.

La disposición del laboratorio debe diseñarse con criterios de eficiencia. Por ejemplo, la distancia que deba recorrer el personal para llevar a cabo los distintos ensayos ha de ser lo más corta posible, aún teniendo presente que tal vez haya que separar unos procedimientos de otros por motivos analíticos o de seguridad. Un laboratorio para control de producción de agregados debe contar con las siguientes instalaciones:

- a. Mesas de trabajo
- b. Área de lavado de muestras (generalmente se utiliza una pila de dos lavaderos).
- c. Área de cuarteo y secado de muestras.
- d. Instalaciones eléctricas con el número de tomacorrientes adecuados al equipo a utilizar.
- e. Área de ensayos (granulométricos, equivalente de arena, abrasión, etc.)
- f. Estanterías para archivo de datos, etc.

Ilustración26. Laboratorio de ensayos de agregados y suelos.



2. Equipo. Para realizar las ensayos de laboratorio se utilizan diversos equipos, que generalmente son:

a. Tamices. Los tamices son utensilios que se usa para separar los agregados según los tamaños de partículas y están formados por una tela metálica o rejilla que está sujeta a un aro.

Ilustración 27. Tamices para ensayos granulométricos



b. Balanzas. La balanza es un instrumento que mide la masa de un cuerpo o sustancia, utilizando como medio de comparación la fuerza de la gravedad que actúa sobre el cuerpo.

La balanza se utiliza para medir la masa de un cuerpo o sustancia o también el peso de los mismos, dado que entre masa y peso existe una relación bien definida. En el laboratorio se utiliza la balanza en la mayoría de ensayos de control de calidad, para preparar mezclas de agregados en proporciones predefinidas y para determinar densidades o pesos específicos.

Las balanzas se diferencian entre sí por el diseño, los principios utilizados y los criterios de metrología que utilizan. En la actualidad podría considerarse que existen dos grandes grupos: las balanzas mecánicas y las balanzas electrónicas.

- 1) Balanzas mecánicas. Estas balanzas son las que actúan o llevan a cabo la medición a partir de una relación de palancas.

Ilustración 28. Balanza mecánica



- 2) Balanzas electrónicas. Son balanzas que cuentan con un sensor, al que también se lo conoce con el nombre de celda de carga. Dicho sensor lo que hace es variar su nivel de resistencia de acuerdo a si el peso del producto o mercadería en cuestión esté aumentando o bien disminuyendo.

Ilustración 29. Balanza electrónica



Ilustración 32. Máquina de Los Ángeles



B. Procedimientos de pruebas de laboratorio (Normas AAHSTO O ASTM)

1. Muestreo. El muestreo de materiales se realiza con base en las normas ASTM D 75.

El muestreo consiste en obtener una parte de material en el que se realizan pruebas cuyas características obtenidas son representativas del volumen al que pertenecen.

Para agregados y suelos las cantidades mínimas a tomar cada muestra serán las siguientes:

Cuadro 9. Peso mínimo de muestra según el tamaño máximo del agregado

Tamaño Máximo del Agregado	Peso Mínimo de Muestra (Kg)
Arena (No.4)	10
Grava 1/2"	10
Grava 3/4"	25
Grava 1 1/2"	60

Al realizar un muestreo se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- a. Tomar material de diferentes zonas del lote del material de tal manera que la muestra sea representativa.
 - b. Cuidar que el material no se contamine con materia extraña.
 - c. Anotar los datos de la muestra en una etiqueta de identificación y depositarla dentro de la bolsa o recipiente que contiene la muestra recolectada.
 - d. Transportar la muestra al laboratorio con cuidado.
2. Reducción de muestras a tamaño de prueba. El propósito de este procedimiento es reducir la muestra de agregado obtenida en campo, al tamaño requerido para realizar una prueba de Laboratorio y se realiza en base a la norma ASTM C 702-93.

El equipo utilizado consiste en un cuarteador mecánico, pala, cucharón, espátulas y escoba.

3. Granulometría. El propósito de esta prueba es establecer mediante cribado, la distribución de partículas por tamaño, de agregados fino y grueso.

Este método se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregados, así también para los que ya están en uso como tales, para determinar su cumplimiento con las

especificaciones requeridas. También se utiliza para el control de producción durante la trituración de agregados.

Para realizar esta prueba se sigue el procedimiento descrito en las normas ASTM C 139-95a y ASTM C 702-93.

Una muestra representativa y seca de los agregados, se pesa y se separa por tamaños a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente más pequeñas. Los porcentajes que pasan por cada tamiz (referidos al peso total) se representan en un gráfico, en las abscisas (escala logarítmica) se colocan el tamaño de abertura del tamiz (tamaño de partícula) y en las ordenadas (escala aritmética) los correspondientes porcentajes que pasan por cada uno de ellos, esta gráfica permite determinar la curva granulométrica de los agregados analizados.

a. Reporte

1) Dependiendo de las especificaciones para uso del material bajo prueba. El reporte deberá incluir lo siguiente:

- Porcentaje total de material que pasa cada malla.
- Porcentaje total de material retenido en cada malla.
- Porcentaje de material retenido entre mallas consecutivas.

4. Abrasión los Ángeles al desgaste de agregados. Este método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados hasta un tamaño de 37.5 mm (1 ½”), empleando la máquina de Los Ángeles con una carga abrasiva. Esta prueba se realiza bajo la norma ASTM C 131 y/o AASHTO T 96.

El índice de desgaste de un árido está relacionado con su resistencia a la abrasión por medio mecánicos y también con la capacidad resistente de los pavimentos con él fabricados. El método consiste en analizar granulométricamente un árido grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a abrasión en la máquina de Los Ángeles y expresar la pérdida de

material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de muestra con respecto a su masa inicial.

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresando como tanto por ciento del peso original y se calcula con la siguiente expresión:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

P_1 = Peso muestra seca antes del ensayo.

P_2 = Peso muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No. 12).

a. Equipo

- 1) Balanza, que permita la determinación del peso con aproximación de 1 g.
- 2) Estufa, que pueda mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- 3) Tamices.
- 4) Máquina de Los Ángeles.
- 5) Carga abrasiva. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16") y 47.63 mm (1 7/8") y un peso comprendido entre 390 g y 445 g.
- 6) La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, de acuerdo con el Cuadro 10.

Cuadro 10. Granulometría de ensayo para prueba de desgaste en máquina Los Ángeles

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso Total g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

5. Estabilidad volumétrica al sulfato de sodio. Este método también es conocido con el nombre de desintegración al sulfato de sodio y cubre el procedimiento a seguir en la prueba de agregados para determinar su resistencia a la desintegración por soluciones saturadas de sulfato de sodio ó sulfato de magnesio. Esto es realizado por inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio seguida por secado a horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los espacios de poros permeables. La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal sobre re-inmersión, simula la expansión del agua en congelamiento. Este método de prueba proporciona información útil para juzgar la solidez de agregados conforme a la acción del desgaste por la acción atmosférica, particularmente cuando no hay disponible información adecuada del servicio de registros del material expuesto a condiciones atmosféricas actuales. Llama la atención el hecho de que los resultados de ensayos con el uso de las dos sales difieren considerablemente y debe ejercitarse el cuidado en arreglar los límites apropiados en cualquier especificación que deban incluir los requerimientos para esas pruebas.

6. Equivalente de arena. Es una prueba que sirve para determinar el porcentaje de finos plásticos en agregados granulares y suelos, puede realizarse en suelos o agregados gruesos en la fracción del material que pasa la malla No.4 (4.75 mm. de diámetro).

El ensayo consiste en volcar una muestra del agregado librada por el tamizN°4 en una probeta que previamente se ha llenado con una solución floculante (solución Stock) abase de glicerina, formaldehído y carbonato de calcio anhidro, desalojando lasburbujas de aire mediante un golpeteo de la base. Luego de un reposo de 10minutos se tapa la probeta y se la sacude horizontalmente con desplazamientos de20 cm durante 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos.Se saca el tapón y se introduce el tubo lavador de

las paredes suavemente hasta que el líquido llega al nivel de 380 mm. Se deja reposar durante 20 minutos, al cabo de los cuales se lee el nivel superior de la suspensión, la cual representa la lectura de arcilla. Se desciende en forma suave un vástago lastrado hasta que repose sobre la arena y se lee a nivel de un tornillo de centrado, la altura o lectura de la arena.

El equivalente de arena se determina con la siguiente expresión:

$$EA = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

La relación entre el volumen de la arena y los finos contaminantes puede incidir en la resistencia a la deformación ya que un material arcilloso, por su hinchamiento puede abrir la estructura de la arena disminuyendo su capacidad portante, cosa que no ocurriría si los finos fuesen no plásticos.

a. Equipo

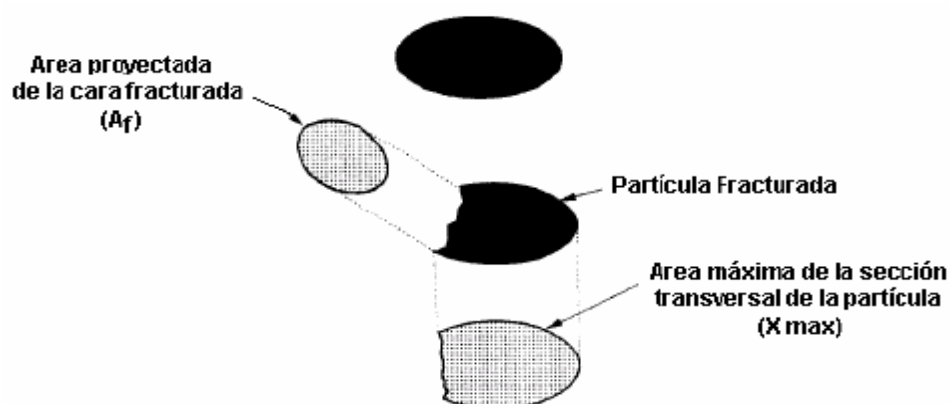
- 1) Tres probetas plásticas graduadas con tapón de hule.
- 2) Un tubo irrigador con sistema de entrada y salida de fluidos.
- 3) Un pisón con pie pesado.
- 4) Un recipiente con capacidad de 4 lts. o un galón.
- 5) Un tarro metálico con capacidad de 85 ml. con diámetro de 2.25" aproximadamente, con tapadera.
- 6) Un embudo de boca ancha de aproximadamente 4" de diámetro en la boca.
- 7) Un reloj con minutos y segundos.
- 8) Un agitador mecánico.
- 9) Una botella de solución stock.

7. Caras fracturadas. Esta prueba se utiliza para determinar el porcentaje de partículas con una y dos caras fracturadas en los agregados que se utilizan en mezclas asfálticas y para concreto hidráulico, el procedimiento de prueba está establecido en la norma ASTM D5821.

Cara fracturada es una superficie angular, áspera o quebrada de una partícula de agregado, formada por trituración por medios artificiales o por la naturaleza.

Una cara será considerada fracturada, solo si tiene un área proyectada al menos tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (máxima área de la sección transversal) de la partícula y la cara tiene bordes cortantes y bien definidos, esto excluye pequeños (ver Ilustración 33).

Ilustración 33. Esquema de una partícula con una cara fracturada.



El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así:

Cuadro 11. Peso de muestra para ensayo de caras fracturadas

Tamaño del agregado	Peso en g
37.5 a 25.0 mm (1 1/2" a 1")	2000
25.4 a 19.0 mm (1" a 3/4")	1500
19.0 a 12.5 mm (3/4" a 1/2")	1200
12.5 a 9.5 mm (1/2" a 3/8")	300

8. Partículas planas y alargadas. Este procedimiento se utiliza para determinar por medio de pesos el porcentaje de partículas planas y alargadas en los agregados pétreos que se utilizan en mezclas asfálticas y para concreto hidráulico. El método de prueba es el establecido por la Dirección General de Caminos.

Partículas alargadas del agregado, son aquellas partículas del agregado que tienen una relación de largo a su diámetro mayor que un valor especificado.

Partículas planas del agregado, son aquellas partículas del agregado que tienen una relación de ancho a espesor mayor de un valor especificado.

9. Peso unitario. La presente práctica tiene como objetivo fundamental determinar la relación entre el peso de un agregado y el volumen ocupado por el mismo, expresado en Kg/m³ (Lb/ft³).

Por definición, el peso específico unitario (peso volumétrico), es la relación de la masa del agregado que ocupa un volumen patrón unitario entre la magnitud de éste, incluyendo el volumen de vacíos propio del agregado, que ha de ir a ocupar parte de este volumen unitario patrón.

El peso específico unitario, tiene idéntica definición al peso unitario simplemente, es decir, peso dividido por el volumen, pero la diferencia fundamental con el peso específico, es que el volumen es el aparente, es decir este volumen incluye los vacíos ínter granulares, el peso no difiere.

El peso específico unitario, es el peso de la muestra sobre un volumen definido del molde, viene a ser a la vez una constante de cada material, que sirve para transformar pesos a volúmenes o viceversa, principalmente en la dosificación de agregados para la elaboración de mezcla asfáltica en caliente.

Existen dos valores para el peso unitario de un material granular, dependiendo del sistema que se emplee para acomodar el material; la denominación que se le dará a cada uno de ellos será: Peso Unitario Suelto y Peso Unitario Compactado, las mismas se definen como siguen:

a. **Peso unitario suelto.** Se usará invariablemente para la conversión de peso a volumen; es decir, para conocer el consumo de agregados por tonelada de mezcla asfáltica en caliente.

Para elaborar el ensayo se llena un recipiente de metal de volumen y peso conocido con el agregado hasta rebosar el mismo, se enraza y se pesa en una balanza, el cálculo es el siguiente:

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{\text{Peso neto}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Donde

Peso neto = peso del recipiente lleno – peso del recipiente vacío

b. **Peso unitario compactado.** Este valor se usará para el conocimiento de volúmenes de materiales apilados y que están sujetos a acomodamiento o asentamientos provocados por el tránsito sobre ellos o por la acción del tiempo. También es de una utilidad extraordinaria para el cálculo de por ciento de vacíos de los materiales.

El procedimiento de ensayo es similar al del peso unitario suelto, con la diferencia que para llenar el recipiente, el material se coloca en tres capas, compactándose cada capa 25 veces con una barra compactadora de 5/8" de diámetro. El cálculo es el siguiente:

$$\text{Peso unitario compacto} = \frac{\text{Peso neto material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

10. Gravedad específica y absorción. Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar la gravedad específica y la absorción de agua del agregado grueso y fino, se aplica para agregados que tengan un tamaño máximo de 90 mm. o menor.

El procedimiento de prueba está establecido en las normas ASTM C 127-93 y ASTM C 128-93.

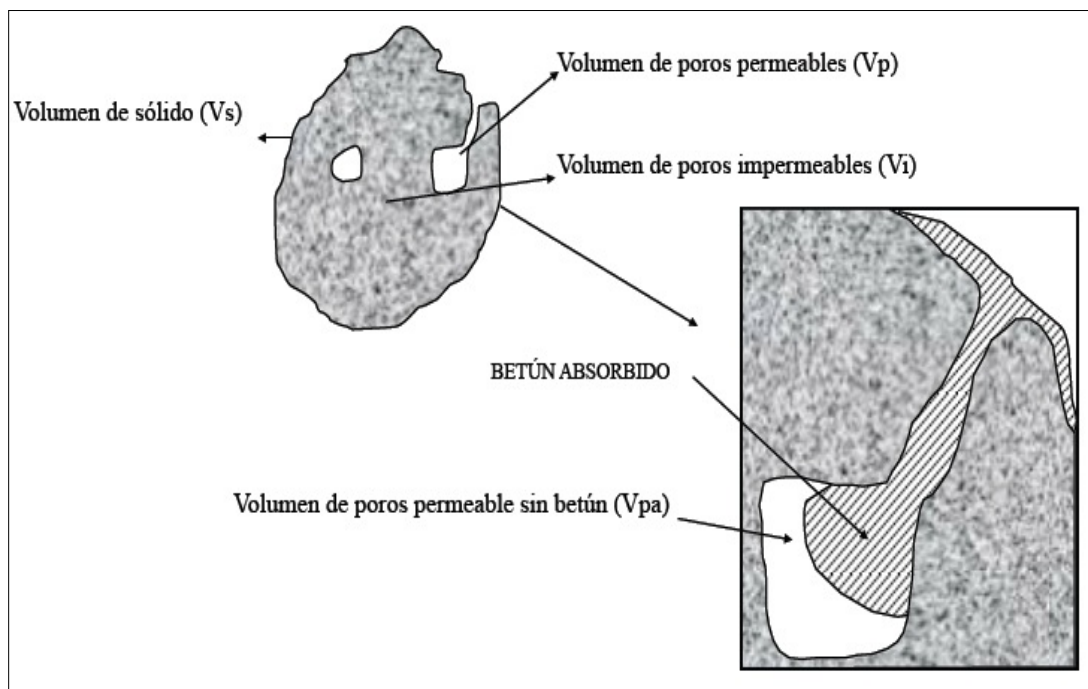
a. Definiciones: El peso específico de un agregado se define como el cociente entre el peso del agregado y el volumen que este ocupa. Pueden ser considerados tres tipos de pesos específicos dependiendo del volumen que se utilice para su cálculo, los cuales son

1) Gravedad específica (masa específica) saturada y superficialmente seca. Es la relación de masa a volumen, considerando la masa de las partículas, que incluye los volúmenes de los poros que se encuentran dentro de la misma.

2) Gravedad específica (masa específica) seca. Es la relación de masa a volumen, considerando la masa de las partículas secas y el volumen sólido de ellas que incluye los volúmenes de los poros que se encuentran dentro de las mismas.

3) Absorción. Es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante un tiempo determinado a temperatura ambiente; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Se expresa como porcentaje de la masa seca y es índice de la porosidad del material. El agregado se considera seco cuando se ha mantenido a una temperatura de 110 ± 5 °C durante el tiempo necesario para lograr una masa constante.

Ilustración 34. Volumen de poros en el agregado pétreo



11. Contenido de materia orgánica. La materia orgánica que se presenta en los agregados, especialmente en los finos consiste en tejidos animales y vegetales que están principalmente formados por carbono, nitrógeno y agua. Este tipo de materia al encontrarse en grandes cantidades afectan en forma nociva las propiedades del concreto asfáltico, ya que no permite una buena adherencia entre el asfalto y el agregado. Por esto es muy importante controlar el posible contenido de materia orgánica de una arena ya que ésta es perjudicial para el concreto asfáltico. El ensayo más utilizado es el colorimétrico.

El procedimiento consiste en llenar el 40% de una probeta de 250 ml con la muestra de agregado fino, luego se añade una solución de hidróxido de sodio con agua, de tal manera que ésta cubra la arena con una capa de tres centímetros de espesor, se agita la probeta y se deja en reposo durante 24 horas, al cabo de las cuales se compara la coloración de la solución con una tarjeta de colores que contiene cinco intensidades de colores y que son un parámetro del contenido de materia orgánica.

12. Pérdida por lavado. Este procedimiento se aplica para separar de forma eficiente las partículas más grandes, los finos menores que el tamiz No.200, arcillas y materiales solubles en el agua, mediante el lavado de la muestra.

El procedimiento de prueba está establecido en las normas ASTM C 117 y ASTM C 702.

13. Límites de Atterberg o límites de consistencia. Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos.

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de 3mm de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen tres límites:

a. Límite líquido. Es el contenido de agua cuando un suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la copa de Casagrande.

b. Límite plástico. Es el contenido de agua cuando un suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

c. Límite de contracción. Es el contenido de agua cuando un suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder la humedad.

14. CBR (cuando se trituran agregados para base hidráulica). La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimento, el procedimiento de prueba está establecido en la norma AASHTO T 193.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a

una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material triturado.

La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100 (\%)$$

De la ecuación se puede ver que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de (%) se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Usualmente el número CBR, se basa en la relación de carga para una penetración de 2,5 mm. (0,1"), sin embargo, si el valor de CBR a una penetración de 5 mm. (0,2") es mayor, el ensayo debe repetirse. Si en un segundo ensayo se produce nuevamente un valor de CBR mayor de 5 mm. de penetración, dicho valor será aceptado como valor del ensayo. Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación Proctor.

Antes de determinar la resistencia a la penetración, generalmente las probetas se saturan durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión. En general se confeccionan 3 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 10 golpes).

C. Especificaciones para los agregados

1. Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes. Las especificaciones para los agregados a utilizarse en concreto asfáltico, se encuentran en la sección 407 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes Edición 1975 y en la sección 401 para la Edición 2001

Cuadro 12. Especificaciones para agregados de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, Edición 1975 y 2001

Especificaciones para agregados pétreos de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes				
Descripción	Edición 1975		Edición 2001	
	Sección	Especificación	Sección	Especificación
Abrasión (%)	407.03 (a) (1)	< 40	401.03 (a) (1) (a)	< 35
Desintegración al sulfato de sodio (%)	407.03 (a) (2)	< 10	401.03 (a) (1) (b)	< 12
Partículas con una cara fracturada (%)	407.03 (a) (3)	> 90	401.03 (a) (1) (c)	> 90
Partículas con dos caras fracturadas (%)	407.03 (a) (3)	> 75	401.03 (a) (1) (c)	> 75
Partículas planas y alargadas (%)	407.03 (a) (3)	< 8	401.03 (a) (1) (d)	< 8
Impurezas	407.03 (a) (4)	----	401.03 (a) (3) (b)	----
Peso unitario (kg/m ³)	407.03 (a) (5)	1360	401.03 (a) (3) (c)	1360
Graduación	407.03 (a) (6)	Ver cuadro 13	401.03 (a) (3) (a)	Ver cuadro 14
Equivalente de arena (%)	407.03 (a) (7)	> 35	401.03 (a) (2) (a)	> 35
Límite líquido (%)	407.03 (a) (7)	< 20	N.E.	----
Índice de plasticidad (%)	407.03 (a) (7)	< 4	401.03 (a) (2) (b)	< 4

**Cuadro 13. Especificación de graduación de agregados pétreos para concreto asfáltico en caliente.
Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, Edición 1975.**

Tamiz No.	Standard mm	Tipo "A"	Tipo "B"			Tipo "C"				Tipo "D"					Tipo "E"			
		2 1/2" max.	1 1/2" máximo			1" máximo				3/4" máximo					1/2" máximo			
		A - 1	B - 1	B - 2	B - 3	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4	D - 1	D - 2	D - 3	D - 4	D - 5	E - 1	E - 2	E - 3	E - 4
2 1/2"	63.0	100																
2"	50.0																	
1 1/2"	37.5	35 - 70	100	100	100													
1"	25.0		70 - 100	75 - 100	80 - 100	100	100	100	100									
3/4"	19.0	0 - 15	50 - 80	60 - 85	70 - 90	70 - 100	75 - 100	80 - 100	82 - 100	100	100	100	100	100				
1/2"	12.5								70 - 90	70 - 100	75 - 100	80 - 100	82 - 100	85 - 100	100	100	100	100
3/8"	9.5		25 - 60	40 - 65	55 - 75	35 - 60	45 - 70	60 - 80	60 - 82	45 - 75	60 - 85	70 - 90	68 - 90		70 - 100	75 - 100	85 - 100	82 - 100
No. 4	4.75		10 - 30	30 - 50	45 - 62	15 - 35	30 - 50	48 - 65	42 - 70	20 - 40	35 - 55	50 - 70	50 - 79	65 - 80	20 - 40	35 - 55	65 - 80	56 - 88
No. 8	2.36	0 - 5	5 - 20	20 - 35	35 - 50	5 - 20	20 - 35	35 - 50		5 - 20	20 - 35	35 - 50		50 - 65	5 - 20	20 - 35	50 - 65	
No. 10	2.00								30 - 60				36 - 67					40 - 75
No. 16	1.18													35 - 52			37 - 52	
No. 30	0.600			5 - 20	19 - 30		5 - 20	19 - 30			10 - 22	18 - 29		25 - 40		10 - 22	25 - 40	
No. 40	0.425								15 - 40				17 - 44					19 - 48
No. 50	0.300			3 - 12	13 - 23		3 - 12	13 - 23			6 - 16	13 - 23		18 - 30		6 - 16	18 - 30	
No. 80	0.180								8 - 26				9 - 29					10 - 32
No. 100	0.150			2 - 8	7 - 15		2 - 8	7 - 15			4 - 12	8 - 16		10 - 20		4 - 12	10 - 20	
No. 200	0.075	0 - 3	0 - 4	0 - 4	0 - 8	0 - 4	0 - 4	0 - 8	3 - 8	0 - 4	2 - 8	4 - 10	3 - 8	3 - 10	0 - 4	2 - 8	3 - 10	4 - 9

Cuadro 14. Especificación de graduación de agregados pétreos para concreto asfáltico en caliente. Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, Edición 2001.

Tamaño del tamiz	Porcentaje en masa que pasa el tamiz designado (AASHTO T 27 y T 11)					
	Graduación designada y Tamaño máximo nominal (1)					
	A (50.8 mm)	B (38.1 mm)	C (25.4 mm)	D (19 mm)	E (12.5 mm)	F (9.5 mm)
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
63.00 mm	100					
50.00 mm	90 - 100	100				
38.10 mm	-	90 - 100	100			
25.00 mm	60 - 80	-	90 - 100	100		
19.00 mm	-	56 - 80	-	90 - 100	100	
12.50 mm	35 - 65	-	56 - 80	-	90 - 100	100
9.50 mm	-	-	-	56 - 80	-	90 - 100
4.75 mm	17 - 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85
2.36 mm	10 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67
0.30 mm	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23
0.075 mm	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10

(1) El tamaño máximo nominal es el tamaño del tamiz mayor siguiente al tamaño del primer tamiz que retenga más del 10% del agregado combinado. El tamaño máximo es el del tamiz mayor al correspondiente al tamaño máximo nominal.

D. Personal de Laboratorio

Para el control de calidad durante la producción de agregados pétreos, es necesario contar con personal calificado que tenga conocimientos en la elaboración de los ensayos de laboratorio.

1. Encargado de laboratorio. El encargado de laboratorio es una persona con amplia experiencia en los procedimientos de ensayos de agregados, suelos, concreto asfáltico, etc; cuenta con el criterio suficiente para proponer ajustes o correcciones en el proceso de trituración de agregados. Las actividades del encargado de laboratorio son:

- Coordinar las actividades específicas del personal y equipo del laboratorio a utilizarse en el control de producción de la trituradora.
- Realizar la programación de pruebas ordinarias y especiales, así como la formulación y entrega de informes o reportes de resultados en forma oportuna y con la frecuencia de muestreo establecida.
- Con base a los resultados obtenidos en los ensayos a los agregados, realiza propuestas de ajustes o correcciones en el proceso de trituración.
- Supervisar y verificar que la ejecución de las pruebas se lleven a cabo, de acuerdo a los métodos normalizados.
- Capacitar a sus subordinados en las actividades específicas en el área del laboratorio.

2. Laboratorista. El laboratorista es una persona que conoce y puede realizar los distintos ensayos de laboratorio sus actividades son:

- Verificar la calidad del material durante la explotación de un banco.
- Realizar pruebas a los agregados de acuerdo a las normas establecidas.
- Informar al encargado de laboratorio de cualquier desviación en la calidad de los agregados durante la trituración de los mismos.
- Elabora informes de ensayos de agregados.

E. Análisis estadísticos de la producción

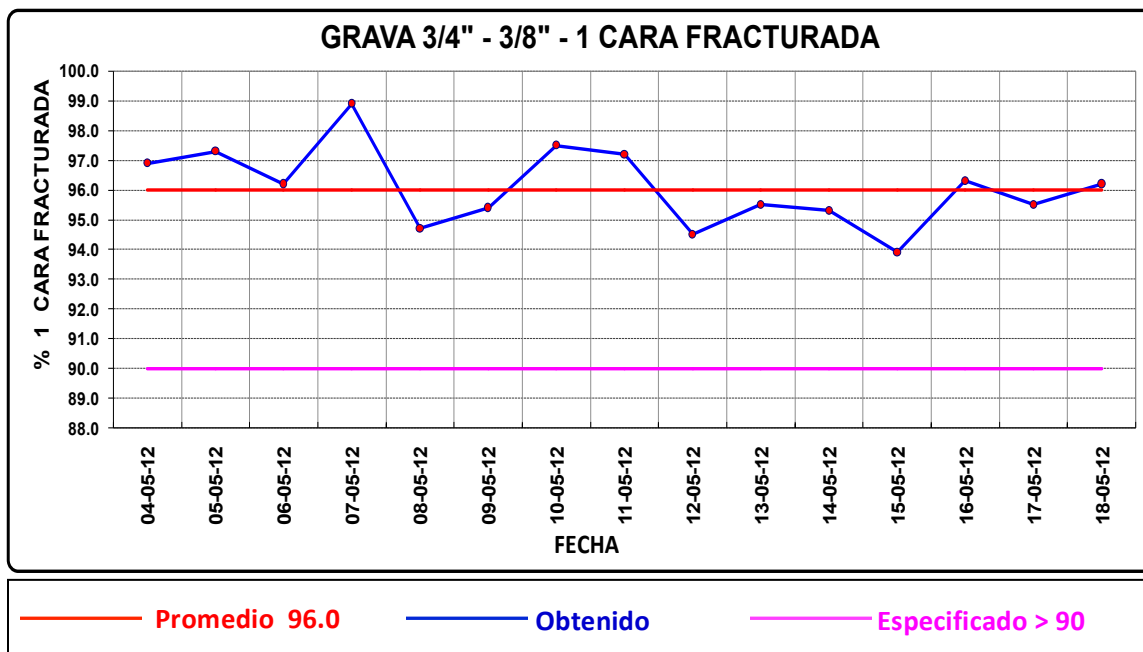
Durante la producción de una trituradora es recomendable contar con un registro estadístico de los resultados de los ensayos realizados a los agregados, con el objeto de distinguir cualquier desviación en la calidad de los mismos y poder realizar las correcciones pertinentes al caso.

Es importante señalar que mientras se tenga mayor información de los resultados obtenidos y de las condiciones de la trituradora al momento de obtener dichos resultados, será más fácil poder determinar los ajustes o acciones correctivas a realizar en la trituradora.

Cuadro 15. Ejemplo de estadístico de producción de material grava 3/4" – 3/8".

FECHA	No. MUESTRA:	GRAVA 3/4" - 3/8"							
		MALLA:					ENSAYOS		
		3/8"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200	1 CARA FRACT.	2 CARAS FRACT.	P.P.A.
							90.0 MIN.	75.0 MIN.	8.0 MAX.
04/05/12	001	31.70	2.00	1.50	1.00	0.70	96.90	97.90	3.65
05/05/12	002	25.80	2.00	1.70	1.30	1.00	97.30	93.20	2.20
06/05/12	003	31.50	1.60	1.40	1.10	0.70	96.20	92.10	4.10
07/05/12	004	35.20	2.60	2.00	1.70	1.10	98.90	95.90	1.13
08/05/12	005	38.10	2.70	2.10	1.70	1.40	94.70	92.50	1.47
09/05/12	006	25.20	2.20	1.80	1.60	1.00	95.40	90.50	2.40
10/05/12	007	26.50	2.40	1.80	1.30	0.90	97.50	93.50	2.20
11/05/12	008	19.90	2.70	2.10	1.50	1.00	97.20	93.00	1.90
12/05/12	009	32.40	2.80	2.10	1.60	0.90	94.50	90.20	4.40
13/05/12	010	27.20	2.20	1.90	1.50	1.00	95.50	93.20	2.27
14/05/12	011	29.60	3.30	2.60	2.10	1.20	95.30	90.80	1.50
15/05/12	012	22.60	2.10	1.70	1.40	0.80	93.90	90.30	1.70
16/05/12	013	27.90	2.10	1.60	1.20	0.80	96.30	93.00	5.24
17/05/12	014	29.40	2.30	1.80	1.40	0.90	95.50	88.60	2.60
18/05/12	015	26.40	2.60	2.10	1.70	1.20	96.20	91.70	1.90

Ilustración 35. Ejemplo de gráfico estadístico de partículas con una cara fracturada en material de grava 3/4" – 3/8".



F. Seguridad industrial en el laboratorio

Debido a la naturaleza de las actividades realizadas en el laboratorio de control de calidad, es importante llevar a cabo las acciones correspondientes con la finalidad de evitar accidentes, por lo que se deben identificar los riesgos existentes y tomar las medidas correctivas que permitan eliminar o minimizar los riesgos.

A continuación se mencionan algunas medidas que se deben tomar en cuenta:

- Contar con una ruta de evacuación libre de obstáculos, la cual debe estar debidamente señalizada.
- Contar con extinguidores de fuegos en puntos de fácil acceso y debidamente identificados.

- Proveer al personal con equipo de protección personal, tales como guantes para altas temperaturas, gafas protectoras, protectores de oídos, etc.
- Para evitar quemaduras con objetos calientes, se recomienda el uso de batas de trabajo con mangas largas.
- Capacitar al personal de laboratorio en el uso adecuado de los extinguidores de fuego y del equipo de protección personal.
- Prohibir el uso de teléfonos celulares en las áreas de trabajo para evitar distracciones.

X. BALANCE DE LA PRODUCCION EN FUNCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS Y DE LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS.

A. Evaluación y análisis de los rendimientos de producción en cada etapa de la trituración.

Cuando los equipos de trituración y cribado inician con la producción de agregados es necesario realizar una evaluación tanto de los resultados de la calidad del producto, así como del rendimiento de los equipos. Mediante el análisis de los resultados de las pruebas realizadas a los agregados se puede verificar el cumplimiento de las especificaciones del proyecto, sin embargo también es de igual importancia analizar los volúmenes producidos de cada agregado.

La práctica nos ha enseñado que difícilmente al inicio de la producción se obtendrán agregados con la calidad necesaria y volúmenes necesarios de cada agregado según lo requerido en el diseño de la mezcla asfáltica.

Las partes a evaluar en la trituración son:

1. Trituración primaria. En esta etapa se debe verificar que la alimentación de material sea constante y que no se incorporen piedras demasiado grandes que dificulten la reducción de tamaño de la misma.

2. Trituración secundaria. Los aspectos a evaluar en la trituración secundaria son:

- a. Que exista una relación adecuada entre la abertura de la quijada del triturador primario y la abertura del cono secundario.

- b. Volumen producido.
- c. Exceso de material de canto rodado.
- d. Disposición de mallas en la criba vibratoria.

3. Trituración terciaria. Los aspectos a evaluar en la trituración terciaria son:

- a. Abertura de cono.
- b. Forma de partícula.
- c. Saturación de cribas.
- d. Que no exista humedad en exceso.
- e. Disposición de mallas en la criba vibratoria.
- f. Velocidad de producción.

B. Evaluación de los equipos de trituración instalados en cada una de las etapas.

El análisis de los resultados de las etapas de trituración nos permiten definir si los equipos instalados son los adecuados para la producción requerida.

C. Evaluación y análisis de la calidad del agregado producido.

Para evaluar la calidad del agregado producido se realizan constantemente los ensayos de laboratorio que indican las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, los cuales están indicados en el inciso C del capítulo VIII del presente documento.

D. Revisión del volumen producido de cada agregado

Durante el proceso de trituración de agregados es importante realizar aforos que nos permitan conocer la proporción o porcentaje de cada agregado producido en base al total de material triturado.

Para determinar la proporción de cada agregado producido se realizaron mediciones, deteniendo momentáneamente la trituración y midiendo las dimensiones de los conos o apilamientos de cada material en la caída de las bandas transportadoras. Para obtener el porcentaje producido de cada agregado, se divide el volumen obtenido de cada agregado entre la sumatoria de todos los agregados producidos.

También es recomendable realizar una medición topográfica semanalmente de los apilamientos para conocer el volumen acumulado de cada agregado producido.

E. Comparativa del volumen producido de cada agregado contra los requerimientos del diseño

Al conocer los porcentajes de participación de cada agregado para la elaboración de la mezcla asfáltica, es importante realizar una comparación con los porcentajes de producción de cada agregado, con el objeto de determinar si los materiales producidos serán suficientes para cumplir los requerimientos del proyecto sin que exista un faltante o sobrante según sea el caso de un material en específico.

F. Reconfiguración de los equipos de trituración y cribado en función de los resultados obtenidos y de los resultados esperados

Con base en los resultados de la comparativa entre el volumen de cada agregado producido contra los requerimientos del diseño de la mezcla, se deben realizar los ajustes necesarios en la configuración de la trituradora, con el objeto de que los porcentajes de material producido sean similares a los porcentajes de material requerido, pero sin afectar la calidad de cada uno de los agregados.

Las acciones para poder obtener un balance entre el volumen producido y el requerido pueden ser:

1. Cambiar los puntos de explotación en el banco de material, según se requiera mayor cantidad de material fino (arena) o grava.
2. Variar la velocidad de alimentación de materiales a la trituradora.
3. Variar las aberturas de los trituradores primario, secundario o terciario.
4. Realizar combinaciones de mallas en las criba secundaria y terciaria que nos permitan tener un mejor balance en la producción de agregados, etc.

XI. MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente a la combinación de un ligante hidrocarbonado (cemento asfáltico) y agregados pétreos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, etc., y se fabrican en unas centrales fijas o móviles llamadas plantas de asfalto. Se utilizan cementos asfálticos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante y se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos al mezclarlos en la planta de asfalto.

La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente entre un 90 a 95% de agregados pétreos grueso y un 5% de cemento asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta directamente en la calidad el producto final, por tal razón los agregados deben cumplir con una granulometría especificada, por lo que se hace necesario realizar una mezcla de agregados en proporciones controladas de distintos tamaños para obtener la granulometría deseada.

A. Tipos de plantas de asfalto

Existen dos tipos de plantas para la producción de mezclas asfálticas en caliente, que son:

- Plantas de dosificación
- Plantas de barril mezclador

En cada tipo de planta, los agregados pétreos son proporcionados de acuerdo con los requerimientos de la fórmula de trabajo, son secados y calentados, y después mezclados con el cemento asfáltico requerido para alcanzar una mezcla apropiada de agregados y cemento asfáltico.

1. Plantas de dosificación. En las plantas dosificadoras, los agregados individuales son almacenados en tolvas frías y se proporcionan mediante compuertas de alimentación en frío hacia una banda transportadora la cual descarga los agregados en el secador en donde son sometidos a operaciones de secado y calentamiento.

Los agregados ya secos y calientes son llevados por un elevador de material en caliente hacia una unidad de cribado, la cual separa el material en fracciones de diferente tamaño y los deposita en tolvas calientes separadas para un almacenamiento temporal. Los agregados calientes son medidos en cantidades controladas en una caja pesadora. Posteriormente, los agregados son descargados dentro de la cámara mezcladora. El cemento asfáltico caliente, proveniente del tanque de almacenamiento, es bombeado hacia la una cubeta pesadora de asfalto, la cual pesa el cemento asfáltico antes de ser descargado en la cámara mezcladora, en donde es combinado en su totalidad con los agregados. Posteriormente, la mezcla asfáltica en caliente es almacenada en silos o en camiones para su despacho final.

2. Plantas de barril mezclador. Las plantas de barril mezclador también son llamadas plantas de producción continua, generalmente son las más utilizadas en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

El proceso de fabricación de mezclas asfálticas en caliente en una planta de barril mezclador es el siguiente:

a. El proceso se inicia cuando los agregados de la granulometría correspondiente son depositados por medio de una máquina de carga, generalmente se trata de un cargador frontal de llantas, en cada una de las tolvas de agregados en frío que pueden ser 3 ó 4 separadas entre sí, en la parte inferior de las tolvas se encuentran ubicadas fajas transportadoras que son activadas por medio de motores eléctricos sobre los cuales se tiene un control total en lo que a su velocidad de giro respecta para de esta forma poder aumentar o disminuir la producción. Así mismo la tolva cuenta con una compuerta graduable en el punto de descarga de los agregados con el objetivo de proporcionar un ajuste de la dosificación en peso de cada uno de los materiales que se estará entregando de cada una de las tolvas. Como se menciona con anterioridad es totalmente necesario

poseer un control total sobre las cantidades vertidas desde cada una de las tolvas ya que esto definirá las características granulométricas de la mezcla que se está fabricando.

b. Cada uno de los agregados entregados desde cada una de las tolvas correspondientes es depositado en una faja colectora que está girando a una velocidad constante por debajo de las fajas de las tolvas de agregados fríos y en la cual se tienen ubicadas las guías para el sistema de pesaje de banda. A medida que la banda cargada pasa sobre esta guía, el peso es registrado en toneladas por hora, y una lectura es normalmente corregida para dar cuenta de la humedad en el agregado (ya que los datos del agregado seco son utilizados para establecer el porcentaje de asfalto), además por medio de la lectura mostrada por el pesaje en la banda colectora se puede apreciar cualquier variación en la alimentación desde cualquiera de las tolvas. A partir de la medición del sistema de pesaje de banda se pueden hacer ajustes en el sistema de dosificación automática de asfalto con el objetivo de garantizar que la cantidad de asfalto descargada en el tambor sea la adecuada para la cantidad usada de agregado seco.

c. Luego los agregados son depositados en la faja rápida, la cual inicia en el extremo de descarga de la faja colectora y que también está girando con una velocidad constante pero mayor a la de la faja colectora con el objetivo de introducir los agregados fríos al barril mezclador en el punto necesario dentro del mismo.

d. Los agregados por el efecto de la velocidad de la faja rápida caen dentro del barril secador mezclador el cual se encuentra girando sobre su eje longitudinal a una velocidad constante, podríamos decir que el barril secador mezclador es el corazón de la planta. La función principal del barril es la de secar el material y mezclarlo con el cemento asfáltico, para esto consta principalmente de tres zonas, la de combustión, secado y mezclado. En la entrada del barril y justo arriba de la faja rápida está localizado el quemador el cual produce la llama para conseguir el secado de los materiales. Los agregados por la acción del giro del barril y las paletas del mismo se van moviendo hacia el extremo opuesto del quemador hacia el punto donde se mezclan con el asfalto el cual está llegando hasta el barril por la acción de una bomba cuya velocidad está en función de la velocidad de los motores de alimentación de agregados y por la señal enviada desde el sistema de pesaje de banda, para posteriormente salir del barril hacia el elevador de calientes. La temperatura de la mezcla es monitoreada a través de sensores de temperatura en la salida de la misma y debe ser mantenida dentro de los márgenes establecidos.

e. Una vez la mezcla en el elevador de calientes es transportada hacia un silo de compensación y pesaje para su despacho en camiones de volteo que la transportarán hacia el punto de tendido, el control de despacho se lleva por medio de la emisión de vales de acuerdo a la cantidad de mezcla descargada en cada unidad de acarreo.

XII. CONCLUSIONES

- El presente documento puede utilizarse como una guía práctica de los aspectos que se deben considerar en las distintas etapas de la trituración de agregados, desde la selección del banco de materiales hasta la producción de los agregados pétreos a utilizarse en la fabricación de mezcla asfáltica en caliente.
- Los equipos de trituración a utilizarse deben seleccionarse adecuadamente considerando las características del banco de materiales y de los volúmenes de agregados requeridos en el proyecto, de tal manera que se alcance una producción de calidad con la mayor rentabilidad posible.
- Es de suma importancia el conocimiento de los procedimientos de ensayos y pruebas de laboratorio que se realizan a los agregados pétreos durante la producción de una trituradora, ya que nos permiten tener un control de la calidad de los agregados producidos.
- Es importante mantener un balance entre los volúmenes de agregados producidos y los requeridos en el proyecto, para obtener una mayor rentabilidad en la trituración de agregados y evitar escasez o exceso de un material en particular.

XIII. RECOMENDACIONES

1. Al iniciar un proyecto de construcción de carreteras se debe conocer previamente las cantidades de obra a ejecutar, así como las especificaciones del proyecto, con el objetivo de determinar adecuadamente las cantidades de materiales a utilizar, en este caso en específico la cantidad de agregados a producir en la trituradora.
2. Durante el muestreo de un posible banco de materiales, es importante muestrear y determinar los volúmenes tanto de los materiales con buenas características, sino también de los materiales que se observen de menor calidad, para poder determinar el volumen real de material aprovechable.
3. Para seleccionar un banco de materiales es necesario evaluar todas las alternativas existentes en el área de influencia de un proyecto, para seleccionar el banco que tenga las mejores características de calidad y que a la vez represente un beneficio económico la explotación del mismo.
4. Se debe tener el cuidado de seleccionar un equipo de trituración de tamaño adecuado que nos permita cumplir con las demandas del proyecto y que a la vez no sea demasiado grande para que no esté sub utilizado.
5. Se debe llevar un estricto control de calidad durante la trituración de agregados, que nos permita determinar inmediatamente cualquier desviación en la calidad de los agregados para poder tomar las acciones correctivas del caso.
6. Es importante encontrar el balance entre las cantidades de agregados requeridos y producidos, con el objeto de optimizar los recursos disponibles y evitar de esta manera tener escasez o abundancia de un agregado en particular.

XIV. BIBLIOGRAFÍA

Curso básico de mezcla asfáltica (aprovechamiento). Universidad Nacional de Costa Rica, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Costa Rica. 64 págs.

Don Brock, J.; James G. May y Greg Renegar. 1994. «Segregación causas y soluciones». *Boletín técnico de Industrias Astec*. Chattanooga, Estados Unidos. T-117S.

Guatemala. 1975. Dirección General de Caminos. *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes*. Guatemala. 536 págs.

Guatemala. 2001. Dirección General de Caminos. *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes*. Guatemala. 724 págs.

Manual de trituración y cribado. 2008. MetsoMinerals. Finlandia. 322 págs.

Olivera, Bustamante. 2001. *Estructuración de vías terrestres*. 2da. ed. México, D.F., Compañía Editorial Continental. 413 págs.

Simmons, George. «Stockpiles». *Boletín técnico de Industrias Astec*. Chattanooga, Estados Unidos. T-129.