



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería

**“PRODUCCIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS
PARA LA CONSTRUCCIÓN”**

Tesis que presenta:

CARLOS ABRAHAM ESCOBAR ARAUJO

Como parte de los requisitos para obtener el grado de:
Maestro en Ingeniería (Construcción)

Dirigida por:

ING. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES

Ciudad Universitaria, México D.F.

2009





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mis padres:

Que siempre me han apoyado en todo.

A mis hermanos:

Que siempre han sido mi mejor critica y ayuda en todo.

AGRADECIMIENTO

El tiempo transcurre y, día a día se vuelve más significativo el apoyo otorgado por todas las personas que estuvieron presentes en la realización de la presente tesis y mis estudios de maestría, a quienes deseo agradecer profundamente por todo.

Al Ing. Juan Luis Cottier Caviedes, maestro de posgrado de la Facultad de Ingeniería, quien gracias a su apoyo y buenos consejos siempre tuve una buena guía para llevar a cabo el presente trabajo.

A la Universidad Autónoma de México, que me dio la oportunidad de realizar los estudios de posgrado. Al igual que a todos los profesores de la maestría en ingeniería (construcción) quienes gracias a su dedicación y esfuerzo fue posible culminar este proyecto.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, que gracias a su esfuerzo fue posible el logro de llevar a cabo la maestría en ingeniería (construcción), en la ciudad de Mazatlán a través del convenio con la UNAM, así como a las personas que hicieron posible la realización de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para la realización de la presente tesis.

A mi familia que siempre ha estado presente en todos y cada uno de los retos que he asumido, y por quienes he conseguido los mejores logros, agradezco su paciencia y dedicación por la cual me ha sido posible realizar esta maestría.

A mis amigos y compañeros que siempre han sido un estímulo fundamental para llevar a cabo todos mi proyectos. Gracias por sus buenos consejos, por su ayuda siempre que fue necesario y su compañía que ha hecho de la vida algo mucho más ameno.

ÍNDICE

RESUMEN

OBJETIVOS

ALCANCE DEL TRABAJO

CAPÍTULO PRIMERO

RECICLADO DE CONCRETO

INTRODUCCIÓN

TERMINOLOGÍA

ANTECEDENTES

MÉTODOS ACTUALES DE RECICLAJE

CAPÍTULO SEGUNDO

AGREGADOS, PROPIEDADES FÍSICAS

AGREGADOS

GRAVAS

ARENAS

AGREGADOS PÉTREOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO

AGREGADOS PÉTREOS PARA CAMINOS Y CARRETERAS

CAPÍTULO TERCERO

PRODUCCIÓN DE AGREGADOS

BANCOS DE MATERIALES (GENERADORES DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN)

TRATAMIENTO

EQUIPO

PLANTA DE RECICLADO EN MÉXICO

CAPÍTULO CUARTO

FACTIBILIDAD DE PRODUCCIÓN

CONCRETO RECICLADO

CAMINOS Y CARRETERAS

APLICACIONES DE LOS AGREGADOS RECICLADOS

CAPÍTULO QUINTO

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN

El crecimiento y desarrollo de la infraestructura urbana en los últimos años ha venido a impactar de manera importante a la industria de la construcción aumentando con ello la cantidad de residuos generados por esta, produciendo así mayores estragos al medio ambiente.

Actualmente dentro de los residuos generados por la industria de la construcción, los metales y la madera son los que comúnmente tienen un rehúso considerable provocando una reducción en la contaminación ambiental, sin embargo, los residuos de las excavaciones, el concreto, las tejas, los ladrillos, tabiques y cerámicos, son componentes que también han demostrado a nivel mundial, tener un potencial importante de rehúso y reciclaje, que permite reducir de manera significativa su disposición en rellenos sanitarios.

Se estudiaron distintos criterios para poder separar, trasportar, procesar y almacenar los distintos desechos de la construcción con la intención de aprovechar estos para la fabricación de agregados para la construcción, tomando en cuenta los distintos tipos de equipos producción existentes en el mercado al igual que las normas mexicanas de la construcción.

Con la investigación realizada se estableció un sistema para la manufactura de agregados reciclados para la construcción.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Conocer la factibilidad de instalación de una planta para el procesamiento de material triturado producto del reciclado de concreto premezclado y otros desechos de la construcción, la cual satisfaga la demanda de agregados pétreos para la misma.

Objetivos particulares.

- Describir las necesidades técnicas de una planta de agregados, donde se reconozca el equipo y la maquinaria necesaria para su funcionamiento, así como los métodos para la utilización de los desechos de la construcción para fabricar agregados.
- Establecer los estándares de calidad óptima y el tipo de procesamiento necesarios para cumplir con los requerimientos que busca el mercado, regido por las distintas normas de la construcción.
- Ofrecer una opción más cercana, económica y de calidad para el suministro de agregados pétreos.
- Presentar una opción viable para la reducción del impacto ambiental que produce la construcción al reciclar los residuos generados por esta industria.

ALCANCE DEL TRABAJO

Los resultados presentados en este trabajo nos indican a fondo las características que deben tener lo agregados para poder ser utilizados en pavimentos y concretos correspondiendo a lo establecido por las normas mexicanas de la construcción. Al igual que los procedimientos, métodos y criterios para la producción de agregados reciclados.

Con el alcance de los objetivos planteados obtendremos un procedimiento para el reciclado de los residuos de la construcción, logrando así proteger el medio natural de la explotación incontrolada de recursos y de una cada vez mayor carga contaminante.

Palabras clave: residuos de la construcción, concreto premezclado, agregados reciclados.

CAPÍTULO PRIMERO

1. RECICLADO DE CONCRETO.

1.1 INTRODUCCIÓN.

El desperdicio producido por las plantas premezcladoras de concreto representa un problema de residuos sólidos que necesita solución. Este concreto puede ser utilizado para fabricar agregados.

Las plantas premezcladoras de concreto generan un porcentaje importante de desperdicio (estimado en un 10%) del concreto producido. Esto representa una pérdida de las materias primas que componen el concreto, principalmente del agregado natural, ya que este insumo es un recurso natural no renovable. Además, este desperdicio también implica la necesidad de un sitio para su disposición final, lo que a su vez, representa un problema debido a la escasez de áreas disponibles para ello. Por lo tanto, resulta imperativo dar una solución al problema. En este trabajo se propone el reciclaje del concreto premezclado para fabricar agregados para la construcción como una posible solución.¹

La utilización del concreto en grandes cantidades es una constante de la construcción convencional actual. El concreto es el material dominante en las cimentaciones y estructuras; también se utiliza en pavimentos y diversos tipos de prefabricados no estructurales. En las paredes de fachada y en las particiones interiores de los edificios, en cambio, la mampostería es la más empleada. Ambos son, en definitiva, los materiales más frecuentes en las demoliciones. También se estima que los edificios de mampostería progresivamente serán substituidos por los de estructura de concreto.

Estos materiales están constituidos por substancias naturales (la materia prima del cemento también tiene este origen mineral), de modo que cada tonelada de

¹ COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO FABRICADO CON AGREGADOS RECICLADOS, Martínez Soto, Mendoza Escobedo, Ingeniería, investigación y tecnología, 2006, Vol. VII, No. 3; p. 151.876

residuos de concreto que sea reciclado -por ejemplo, como agregado para un concreto nuevo supone un ahorro aproximado de una tonelada de agregado natural, que debería ser extraído de las canteras, con los consiguientes impactos ambientales y en el paisaje. Así pues, reciclar los residuos de obra de mampostería y concreto puede reportar ahorro de dinero y, sin duda, beneficiosos efectos ambientales.

Además de reciclar estos residuos para la obra de edificación, también pueden ser empleados en la formación del paisaje de las zonas ajardinadas comunes. El uso intensivo en obras civiles es igualmente otra buena opción: por ejemplo, en sub-bases de carreteras y para rellenar terraplenes. Todas estas prácticas ahorran los agregados naturales y reducen los impactos asociados al transporte de los residuos al vertedero.²

1.2 TERMINOLOGÍA.

a) Agregados naturales: Agregado convencionales (grava y arena) a partir de los cuales se produce el concreto original. Los agregados originales pueden ser finos o gruesos, de origen natural o manufacturado.

b) Agregados reciclados: Agregados que se producen mediante el tratamiento de la fracción pétreo de los residuos de la construcción, demolición o concreto endurecido. Tales agregados pueden ser finos o gruesos.

c) Concreto: Material conformado por una mezcla de arena y grava embebida en una matriz de cemento y agua. Muy frecuentemente se emplean grava y arena triturada debido a la falta de disponibilidad de agregados completamente naturales. El peso volumétrico de los concreto elaborados con agregados usuales oscila entre los 2.100 y 2.400 kg/m³ y su resistencia a la compresión excede los 100 kg/ cm². Se conoce también con el nombre de concreto hidráulico para diferenciarlo del concreto asfáltico, y porque endurece bajo agua.

d) Concreto CPO: Concreto reciclado producido a partir de la utilización de una pasta con cemento Portland ordinario.

² Construmática. Características Materiales de los Residuos de Excavación y Demolición de Hormigón y obra de fábrica. Dirección:
http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%3ADsticas_Materiales_de_los_Residuos_de_Excavaci%3%B3n_y_Demolici%3%B3n_de_Hormig%3%B3n_y_Obra_de_F%3%A1brica.

e) Concreto CPB: Concreto reciclado producido a partir de una pasta de cemento Portland blanco.

f) Concreto CPP: Concreto reciclado producido a partir de una pasta de cemento Portland puzolánico.

g) Concreto original: Concreto con o sin acero de refuerzo proveniente de estructuras o de unidades prefabricadas que pueden utilizarse como materia prima para la producción de agregados reciclados (u otros propósitos útiles)

h) Concreto reciclado: Concreto que se produce usando agregados reciclados o combinaciones de agregados reciclados con otros tipos de agregados.

i) Escombros: Residuos que se producen durante la demolición o la construcción de edificaciones, contruidos fundamentalmente por concreto, ladrillo, bloques, tabiques, roca, metales, madera, plásticos, papel y otros.

j) Modulo de elasticidad: Relación que existe entre la magnitud de los esfuerzos que provocan la deformación elástica de un sólido y el valor que alcanza dicha deformación.

k) Reciclaje: Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para reincorporarlo a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente.

l) Relación agua-cemento: Razón entre la cantidad de agua y cemento presentes en una mezcla para la elaboración de concreto. Es la principal variable de diseño puesto que determina la resistencia del concreto, a menor relación agua-cemento mayor resistencia.

m) Rehusar, reutilizar: Volver a usar un producto o material sin tratamiento. Equivale a “reciclar directamente”.

n) ACR: Agregados producidos de concreto reciclado mediante un proceso de trituración.

1.3 ANTECEDENTES.

Para reciclar los residuos pétreos es necesario utilizar maquinaria específica. Por ello, en primer lugar hay que definir el uso que tendrán estos residuos, puesto que será ese uso el que determinará el tipo de transformación a que deben someterse. Existen diferentes tipos de trituradoras de materiales pétreos que producen materiales de características asimismo diferentes: para pequeñas cantidades de obra de mampostería puede ser suficiente una trituradora de tamaño pequeño a pie de obra; para cantidades mayores de residuos o de concretos armados es necesario utilizar una central recicladora de agregados.³

La producción de agregado grueso a partir de concreto reciclado es una práctica relativamente nueva que se ha venido desarrollando en gran medida en la última década. La investigación al respecto se ha enfocado a dos procedimientos distintos: uno es el de producir ACR a partir de los residuos sólidos de la construcción y demolición, propiamente dicho, del escombros, y el segundo, es el de obtener ACR a partir del concreto premezclado nuevo proveniente de cilindros de concreto elaborados para el control de calidad de distintas obras, o del desperdicio de las propias plantas premezcladoras.⁴

Respecto al primer procedimiento, se han publicado distintos trabajos, como el de Stamatia y Taichi e 1977 [14], quienes observaron que se producía gran cantidad de escombros de concreto en las áreas metropolitanas, por lo que decidieron estudiar la factibilidad económica de obtener ACR. En su estudio encontraron que el costo del concreto con agregado reciclado era menor en un 38% que el concreto con agregado natural.

³ Construmática. Características Materiales de los Residuos de Excavación y Demolición de Hormigón y obra de fábrica. Dirección:
http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%3ADsticas_Materiales_de_los_Residuos_de_Excavaci%3%B3n_y_Demolici%3%B3n_de_Hormig%3%B3n_y_Obra_de_F%3%A1brica.

⁴ SOTO MARTÍNEZ, Iris. Reciclaje de concreto premezclado para la fabricación de agregados. México. 2005. P. 3

También en 1977, Nixon [15] presentó un estado del arte sobre el concreto reciclado, en el cual concluye que varios investigadores han examinado las propiedades básicas del concreto en las que el agregado es producto de la trituración de otro concreto; muchos han trabajado con materiales limpios sin contaminar, frecuentemente viejos especímenes de laboratorio.

Acerca de las propiedades del concreto hecho con ACR, existe una gran cantidad de investigación al respecto [15-24]. En el caso de la producción de ACR a partir de escombros, se han reportado las propiedades de concretos fabricados con este tipo de ACR en investigaciones recientes. Chen et al [18] llevaron a cabo estudios experimentales utilizando ACR de distintas composiciones obtenidos de escombros de concreto proveniente de diferentes edificios dañados o demolidos.

Los escombros que recolectaron contenían diferentes porcentajes de contaminantes como desperdicios de concreto, azulejo, ladrillo, acero, madera, plástico, papel, entre otros. Dentro de estos materiales, la madera, el papel, y el plástico eran los que afectaban más seriamente la resistencia del concreto reciclado. Para minimizar el contenido de estos contaminantes, implementaron un sistema de limpieza Figura 1.1 y de esta forma obtuvieron dos grupos de agregado reciclado de diferentes regiones de Taiwán que seleccionaron para someterlos a prueba.

Mediante sus estudios, Chen et al concluyeron lo siguiente:

- 1) Los escombros de edificios pueden ser transformados en ACR útil, mediante el procedimiento adecuado. Las propiedades mecánicas del concreto reciclado fueron generalmente menores que las del concreto normal. El efecto en las propiedades mecánicas del concreto de azulejo y ladrillo (0-67%) es relativamente limitado.
- 2) El utilizar ACR sin lavar, en la fabricación de concreto, afecta su resistencia. El efecto se vuelve más evidente a relaciones de agua-cemento bajas. Para una relación agua-cemento de 0.38, la resistencia a la compresión del concreto reciclado mantiene solo el 60% de la resistencia de un concreto normal. Sin embargo, la resistencia se puede incrementar a más del 75% cuando la relación agua-cemento es mayor de 0.60.

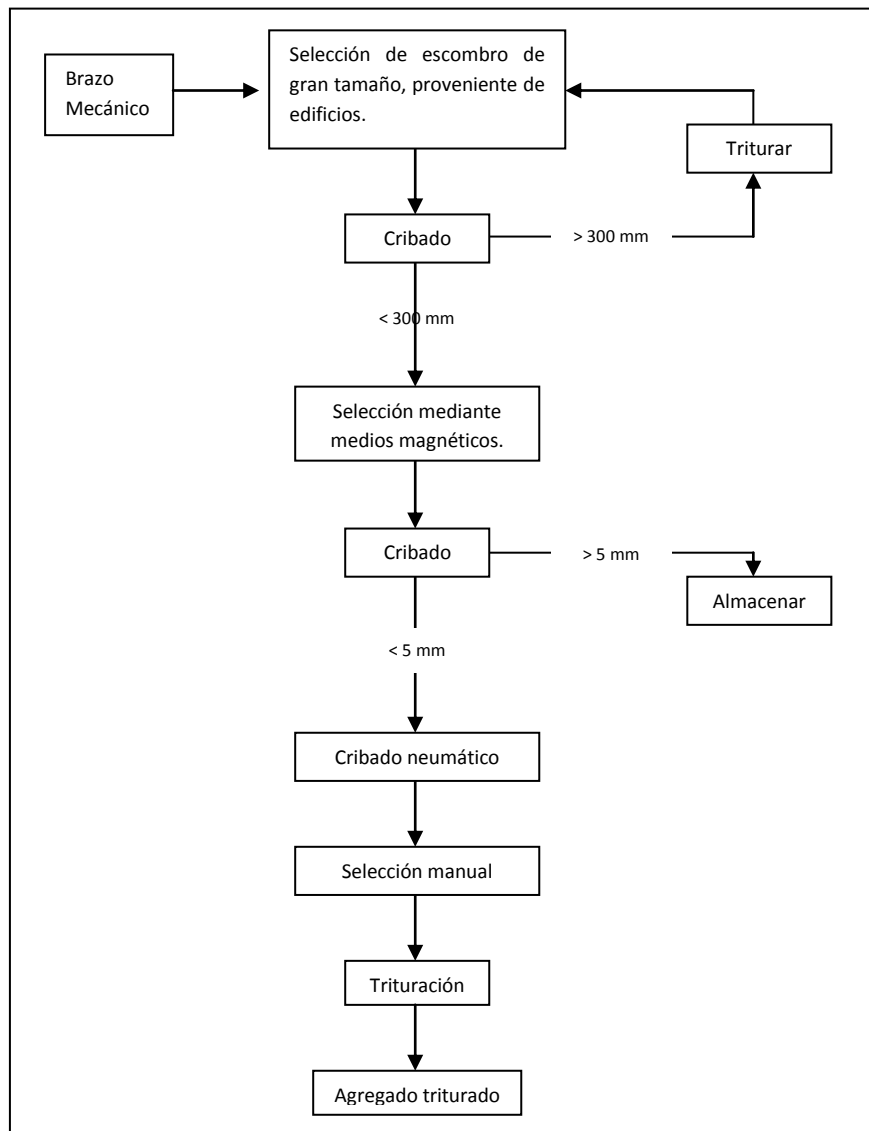
- 3) El módulo de elasticidad de concreto reciclado fue alrededor de 70% de la del concreto normal. Cambiar la relación agua-cemento o el contenido de ladrillo y azulejo en los agregados reciclados no representa un efecto significativo en el valor del módulo de elasticidad.
- 4) Bajo las mismas proporciones de mezcla, las propiedades mecánicas del concreto reciclado fueron de menor calidad que las del concreto normal. Cuando se utilizó ACR lavado, los efectos negativos se mejoraron significativamente. Esto es particularmente cierto para la resistencia a la flexión del concreto reciclado.
- 5) Para relaciones agua-cemento altas, la resistencia a la compresión del concreto reciclado es similar a la del concreto normal. Para relaciones agua-cemento bajas, la resistencia a la compresión del concreto reciclado de alta resistencia se puede alcanzar incrementando la proporción de cemento en la mezcla, aunque no sería un proporcionamiento económico.

De las conclusiones que obtuvieron Chen et al de sus experimentos, es posible observar que la producción de concretos de alta resistencia a partir de ACR obtenidos de escombro, es antieconómico en comparación con los concretos naturales.

De los concreto fabricados con ACR producidos comercialmente, también existe investigación al respecto [15-17,18-20,23]. K.K. Sagoe et al [16] realizaron un estudio del comportamiento de un concreto fabricado con ACR comercial. El experimento consistió en fabricar concreto reciclados y concreto naturales, con agregados de características como las mostradas en la Tabla 1.1. Los detalles de los concreto realizados se muestran en la Tabla 1.2. El agregado fino para todas las mezclas fue arena natural.

Los resultados de sus experimentos mostraron que los ACR producidos comercialmente en una planta, están compuestos de partículas redondeadas, lo que lleva a mejorar la trabajabilidad del concreto en comparación con los concretos naturales producidos con agregado grueso a base de basalto, con una granulometría equivalente.

FIGURA No. 1.1 - Producción de ACR (tomado y adaptado de Chen et al [18]).



Encontraron también, que para las mezclas con proporción volumétrica y trabajabilidad similar, no hubo diferencia significativa, para el 95% de nivel de confianza, a la edad de 28 días, en la resistencia a la compresión, entre los concretos fabricados con ACR comercial y los fabricados con basalto natural. Sin embargo, se observaron valores más altos de contracción lineal en los concretos reciclados.

Tabla No. 1.1- Análisis granulométrico de agregado grueso proveniente de concreto reciclado y agregado de basalto.

Agregado grueso	Pasa la malla, en %						
Tamaño máximo (mm)	19.00	13.5	9.5	6.7	4.75	2.35	150 µm
Agregado de concreto reciclado	100.00	91.4	28.7	7.6	5.40	0.20	0.5
Basalto	100.00	84.0	43.7	7.6	2.10	1.00	0.2

Tabla No. 1.2.- Nomenclatura de las mezclas y detalles de las mezclas de los especímenes de concreto.

Designación de la mezcla	Contenido de cemento (kg/m ³)	Tipo de Cemento	Relación A/C	Revenimiento (mm)	P.V.F. (kg/m ³)	Cont. De aire %	Agregado Grueso
C0912A	242.00	CPO	0.76	90	2466.00	2.40	basalto
C9012B	240.00	CPO	0.73	75	2335.00	2.40	reciclado
C1212A	238.00	CPEG	0.74	95	2321.00	1.80	reciclado
C1212B	254.00	CPO	0.70	80	2335.00	2.30	reciclado

Respecto de la resistencia a la tensión, Sagoe et al encontraron que los especímenes fabricados de concreto reciclado curados por un periodo de 365 días, no mostraron una reducción significativa en la resistencia en el periodo de 91 a 365 días. Se observó también que los concretos reciclados mostraron una reducción en la resistencia a la abrasión de 12% respecto del concreto natural, y además en la absorción hubo una gran diferencia entre ambos concretos.

Las características de concreto reciclados elaborados con cemento blanco también se han examinado. Kartz[16] realizó estudios experimentales sobre concretos reciclados hechos a base de cemento Portland ordinario (CPO) y de cemento portland blanco (CPB), para investigar sus propiedades. El programa experimental consistió en realizar un estudio de las propiedades del concreto nuevo hecho con ACR preparado con concreto viejo parcialmente hidratado.

El término de “concreto viejo” se refiere a los desperdicios de concreto utilizados para producir los ACR, mientras que al decir “concreto reciclado” se refiere al concreto nuevo elaborado con los ACR. EL ACR es el agregado producido mediante la trituración del concreto viejo, mientras que el “agregado natural” se refiere al agregado nuevo obtenido mediante la trituración de roca natural.⁵

Como resultado de los experimentos realizados, Kartz encontró que las propiedades de los ACR triturados a diferentes edades fueron muy similares y que la distribución granulométrica de los ACR fue la misma para las tres edades de los concretos utilizados en el experimento para fabricar los ACR, al igual que otras propiedades como la absorción, peso específico y contenido de cemento. Estas observaciones indican que a estos niveles de resistencia y estructura del concreto viejo, los agregados triturados a un día de edad aun cuentan con cierta capacidad de cementación, pero ésta decrece rápidamente en unos pocos días.

Kartz concluyó que el concreto hecho 100% con ACR es menos resistente que el concreto natural, para la misma relación agua-cemento.

Concluyó también que al parecer existen mecanismos opuestos que afectan las propiedades del concreto nuevo: las propiedades físicas del concreto viejo y la presencia de cemento sin hidratar en el ACR. Estos efectos son más notables cuando la nueva matriz de cemento agua es significativamente más fuerte que la del concreto viejo. En un concreto con estas características, la combinación de resistencia y capacidad de cementación de los agregados reciclados triturados a los 3 días, proveen mejores resistencia sobre los agregados reciclados triturados a 1 y 28 días de edad.

1.4 MÉTODOS ACTUALES DE RECICLAJE.

En el trabajo de Martínez Soto [33] se mencionan tres métodos de reciclaje de concreto: El primero, cuando todavía se encuentra en estado fresco, consiste en lavar el concreto que regresa a la planta, llevándolo a la recicladora para separar el agregado (gravas y arenas), ya sea hidráulicamente o mecánicamente. Este método tiene ciertas variaciones, como el de Bibko and Eviro-Port [29-32, 35] que permite a los

⁵ SOTO MARTÍNEZ, Iris. Reciclaje de concreto premezclado para la fabricación de agregados. México. 2005. P. 7

productores reciclar el agua de lavado para no desperdiciarla, lo que preocupa a los recicladores después de separar los agregados.

El segundo método, consiste en vaciar el concreto que regresa a la planta en pequeños moldes de tamaño de bloques. Éstos se montan en bandas que se mueven a una velocidad determinada que permite al concreto fraguar en un periodo específico de tiempo. Luego, los bloques se envían a una trituradora. Una vez triturado el material, éste se criba y queda listo para usar en una nueva mezcla de concreto [18].

La ventaja del segundo método con respecto del primero es que este último no crea absolutamente ningún desperdicio, en comparación con el primero, el cual desperdicia la pasta de cemento, el agua de mezclado de concreto y el agua de lavado para recuperar los agregados.

El tercer método consiste en reutilizar los escombros de concreto y en general de producto de la construcción. El método funciona igual que el segundo, aunque en este tercero el concreto utilizado puede tener mucha más edad que el de segundo método [17], además de una combinación de elementos y ya no sólo pasta de cemento y agregados.

Existen recomendaciones para la utilización de los agregados producidos a partir de los escombros producto de la construcción, en donde se mencionan también las recomendaciones para agregados producto de concreto triturado, como en el caso de los métodos segundo y tercero mencionados anteriormente. Las recomendaciones más utilizadas para este propósito son las del comité de la RILEM [25], en donde se clasifica a los agregados en tres grupos:

Grupo I: agregados que se componen principalmente de producto de demolición.

Grupo II: agregados obtenidos principalmente de escombros de concreto.

Grupo III: una mezcla de agregado natural (>80%) y escombros provenientes de los otros dos grupos (con más de 10% del grupo I).

Los agregados del grupo III pueden ser utilizados para producir cualquier tipo de concreto, mientras que existen restricciones que limitan la aplicación de los otros dos grupos.

CAPÍTULO SEGUNDO

2. AGREGADOS, PROPIEDADES FÍSICAS.

2.1 AGREGADOS.

Los agregados son materiales pétreos naturales (producto de la desintegración de rocas) seleccionados; materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado.

Los agregados se clasifican en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos son las arenas naturales o las fabricadas, cuyos granos tiene aproximadamente menos de 3/16 de pulgada (4.14mm); los agregados gruesos son las gravas que tienen aproximadamente más de 3/16 de pulgada.

Las gravas y arenas son los materiales más usados en la construcción, ya que al combinarse entre ellos producen un material mejorado utilizado en la estructura de los pavimentos, llamado base y sub-base, y si se combinan con el cemento y el agua se produce el concreto hidráulico, al cual se le da diversos usos. Del mismo modo existen agregados que pueden ser usados para la fabricación de carpetas asfálticas y como sello para pavimentos.¹

2.2 GRAVAS.

Los agregados gruesos o gravas, son materiales extraídos de rocas de cantera, triturados o procesados, piedra bola o canto rodado, cuyas partículas comprenden tamaños desde unos 5 milímetros hasta 6 pulgadas para los fragmentos más grandes.

Por sus propiedades, es necesario que las gravas provengan de materiales duraderos, resistentes y sólidos mecánicamente, sin contaminantes o partículas dañinas que afecten el fraguado del concreto.

¹ MANUAL NORMATIVO LIBRO CMT. CALIDAD DE LOS AGREGADOS PETREOS. CAP. 2. SCT. P1

Por su tamaño, las gravas pueden ser desde muy pequeñas (de 3/16 a 3/8 de pulgada) hasta gravas extra grandes (de 3 a 6 pulgadas).²

2.3 ARENAS.

Los agregados finos o arenas consisten en arena natural extraída de los ríos, lagos, depósitos volcánicos o arenas artificiales, esto es, que han sido triturados.

Estos agregados abarcan normalmente partículas entre 4.75 y 0.075 mm.

La arena es más importante para darle finura al cemento.

Arena, masa desagregada, sin cohesión de materias minerales en estado granular fino, que consta normalmente de cuarzo (sílice) con una pequeña proporción de mica, feldespato, magnetita y otros minerales resistentes. Es el producto de la desintegración química y mecánica de las rocas bajo meteorización y abrasión. Cuando las partículas acaban de formarse suelen ser angulosas y puntiagudas, haciéndose más pequeñas y redondeadas por la fricción provocada por el viento y el agua.

2.4 AGREGADOS PÉTREOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO.

En el concreto los agregados ocupan generalmente del 60 al 80 por ciento del volumen. Por lo tanto, sus características influyen en las propiedades de los mismos. Los agregados también influyen en las proporciones de las mezclas para el concreto y su economía. Deben satisfacer ciertos requisitos y deben consistir en partículas limpias, duras, resistentes y durables, libres de sustancias químicas, recubrimientos de arcilla, o de otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta del cemento.

Las partículas débiles, quebradizas o laminadas son perjudiciales. Deberían evitarse especialmente los agregados que contengan pizarras laminares naturales o esquistos, partículas blandas y porosas, y algunos tipos de cuarzo, ya que tienen mala resistencia al intemperismo. A menudo, basta una inspección visual para descubrir la debilidad de los agregados gruesos. Todos los agregados, de los cuales no se tengan

² Ibíd. P. 2

registros sobre su buen comportamiento, deberán probarse para ver si cumplen con los requisitos.

Los agregados más comúnmente usados como la arena, grava, piedra triturada y escoria de altos hornos enfriada al aire producen concreto de peso normal, es decir, es decir, concreto que pesa de 2,140 Kg. a 2,400 Kg. por metro cúbico. También existen agregados para concretos estructurales ligeros, concretos aisladores y concreto muy denso.

Los agregados de peso normal deben de satisfacer los requerimientos de las especificaciones de los Agregados para Concreto (NMX-C11-2004) y métodos para la Elaboración de Concreto (NMX-C-403-1999).

Al utilizar los agregados para la fabricación de los distintos tipos de concretos debemos tener en cuenta que estos requieren de cumplir ciertas características para que se obtenga un producto de buena calidad.³

2.4.1 ESPECIFICACIONES.

2.4.1.1 GRANULOMETRÍA.

Esta propiedad de los materiales granulares, es en esencia un parámetro de gran influencia en las características del concreto tanto en estado fresco como endurecido, su alcance abarca la manejabilidad, la demanda de agua, el sangrado, la resistencia mecánica, la estabilidad volumétrica y el costo del material.⁴

Granulometría para el agregado fino y grueso: Los agregados objeto de esta norma mexicana de acuerdo a su tipo deben cumplir con la granulometría que se especifica a continuación según corresponda.

- a. Agregado fino: Debe cumplir con los límites granulométricos que se indican a continuación:

³ Staff-Portland Cement Association. Proyecto y Control de Mezclas de Concreto. Editorial, Limusa. 1ra Ed. México. PP 27 - 36

⁴ Uribe Afif, Roberto. Manual de identificación práctica de minerales y rocas para su uso como agregados para concreto. Editorial, IMCYC. 1ra Edición. México. P 47

- i. Estar dentro de los límites establecidos en la tabla 2.1, excepto en los casos que indican en los párrafos 3 y 4 de este inciso y en 2.4.1.3.
- ii. El modulo de finura debe de estar comprendido entre 2.30 y 3.10. El módulo de finura puede ser determinado con pruebas previas, de no existir éstas, se puede determinar con el promedio del valor obtenido de las primeras 10 pruebas consecutivas o el promedio de las pruebas que haya cuando no se completa este número.
- iii. El retenido parcial de la masa total en cualquier criba no debe de ser mayor de 45%. Pueden aumentarse los porcentajes del retenido acumulado de la masa ensayada en las cribas 0.300 mm (No. 50) y 0.0150 mm (No. 100) a 95% y 100% respectivamente, siempre y cuando el contenido de cemento del concreto en que se vaya a utilizar el agregado sea mayor de 240 kg/m^3 para concreto con aire incluido, o mayor de 300 kg/m^3 para concreto sin aire incluido, o bien añadiendo un adicionante (cementante) que supla la deficiencia de material que pase por estas cribas.
- iv. En el caso de que los agregados que se pretendan emplear no cumplan con las tolerancias indicadas en los incisos i, ii y iii, estos, pueden usarse siempre y cuando se tenga antecedentes de comportamiento aceptable en el concreto elaborado con ellos, o bien, que los resultados de las pruebas realizadas a estos concretos sean satisfactorias; los agregados se pueden usar siempre que se haga un ajuste apropiado en el proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.

TABLA 2.1.- Límites de granulometría para agregado fino.

Criba mm (No.)	Material acumulado en masa, en porcentaje; % que pasa.
9.5 (3/8")	100
4.75 (No. 4)	95 - 100
2.36 (No.8)	80 - 100
1.18 (No. 16)	50 - 85
0.600 (No. 30)	25 - 60
0.300 (No. 50)	10 - 30
0.150 (No. 100)	2 - 10

b. Agregado grueso: Debe cumplir con los límites granulométricos que se indican a continuación:

- i. Debe de cumplir con los límites granulométricos que establece la tabla 2.2.
- ii. Cuando se tengan agregados gruesos fuera de los límites indicados en la tabla 2.2, se deben procesar para que satisfagan dichos límites.
- iii. En el caso de aceptar que los agregados no cumplan con estos límites debe de ajustarse el proporcionamiento del concreto para compensar las deficiencias granulométricas, por lo tanto, debe demostrarse que el concreto elaborado tiene un comportamiento adecuado.
- iv. Esta especificación se debe verificar de acuerdo con lo establecido en la norma mexicana NMX-C-077-ONNCCE.⁵

⁵ ONNCCE. Agregados Para El Concreto Hidráulico – Especificaciones y Métodos de Prueba. Editorial ONNCCE. 2da Ed. México. PP 5-6

TABLA 2.2- Límites granulométricos del agregado grueso, en masa, en porcentaje que pasa.

Tamaño nominal, mm (Pulg)	100	90	75	63	50	37.5	25	19	12.5	9.5	No.4	No.8	No .16
	4"	3 ½"	3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	4.75	2.36	1.18
90.0 a 37.5 (3 ½" a 1 ½")	100	90 a 100	----	25 a 60	----	0 a 5	----	----	----	----	----	----	----
63.0 a 37.5 (2 ½" a 1 ½")	----	----	100	90 a 100	35 a 75	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
50.0 a 25.0 (2" a 1")	----	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----
50.0 a 4.75 (2" a No. 4)	----	----	----	100	91a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	----	0 a 5	----	----
37.5 a 19.0 (1 ½" a 3/4")	----	----	----	----	100	91a 100	25 a 55	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----
37.5 a 4.75 (1 ½" a No. 4)	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	----	10 a 30	0 a 5	----	----
25.0 a 12.5 (1" a ½")	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----	----
25.0 a 9.5 (1" a 3/8")	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	----	----
25.0 a 4.75 (1" a No. 4)	----	----	----	----	----	100	95 a 100	----	25 a 60	----	0 a 15	0 a 5	----
19.0 a 9.5 (3/4" a 3/8")	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----
19.0 a 4.75 (3/4" a No. 4)	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	----	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----
12.5 a 4.75 (½" a No. 4)	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	----
9.5 a 2.36 (3/8 a No. 8)	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

2.4.1.2 COEFICIENTE VOLUMÉTRICO DE FORMA

La presencia de partículas planas y/o alargadas, tanto en los agregados naturales como en los triturados, se considera indeseable porque reduce la manejabilidad de las mezclas, dificulta el acomodo y la compactación del concreto fresco en las cimbras y afecta la resistencia mecánica del concreto endurecido.⁶

- i. Los agregados gruesos deben tener un coeficiente volumétrico mayor o igual de 0.20.
- ii. Cuando se tengan agregados con coeficiente volumétrico menos que 0.20, debe realizarse un estudio que muestre el impacto de su uso, y hacer los ajustes correspondientes en las mezclas de concreto, para satisfacer los requisitos de cohesión,

⁶ KOSMATKA STEVEN H., Panarenses William C. Diseño y control de mezclas de concreto. Editorial. IMCyC. 1ra Ed. 1999. México.

trabajabilidad, módulo de elasticidad y contracción requeridos por el cliente.⁷

2.4.1.3 SUSTANCIAS NOCIVAS

En los materiales granulares hay diversidad de partículas que pueden considerarse como inconvenientes si se encuentran en los agregados destinados para su uso en concreto, los tipos pueden estar representadas por rocas parcial o totalmente alteradas, terrones de arcilla, y fragmentos de carbón o lignito.

Contrario a lo que de manera general se estima, este tipo de contaminantes pueden estar presentes en agregados de tipo natural o manufacturado.⁸

- a. Sustancias nocivas en el agregado fino.
 - i. La cantidad de partículas deleznable y carbón o lignito en el agregado fino no debe exceder los límites que establece la tabla 2.3.
 - ii. Impurezas orgánicas (Materia orgánica): Los agregados finos deben estar libres de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. Los agregados después de efectuar la prueba, que den un color más oscuro que la colocación No. 3, deben rechazarse, excepto, si se demuestra que la coloración es debida a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas semejantes, o bien, si se demuestra que el efecto de las impurezas orgánicas en morteros ensayados a la edad de 7 días, dan resistencias calculadas no menores del 95%, conforme al método que establece la NMX-C-076_ONNCCE.

⁷ ONNCCE. Agregados Para El Concreto Hidráulico – Especificaciones y Métodos de Prueba. Editorial ONNCCE. 2da Ed. México. PP 5-6

⁸ Uribe Afif, Roberto. Manual de identificación práctica de minerales y rocas para su uso como agregados para concreto. Editorial, IMCYC. 1ra Edición. México. P 35

- iii. Materiales finos que pasan por la criba 0.075 (No. 200). Para determinar si los agregados finos satisfacen este requisito, se deben cumplir con las condiciones establecidas en la tabla 2.4.

TABLA No 2.3- Límites máximos de partículas deleznable y carbón o lignito en agregados finos.

CONCEPTO	MATERIAL MÁXIMO PERMISIBLE EN LA MASA TOTAL DE LA MUESTRA EN %
Grumos de arcilla y partículas deleznable	3.0
Carbón y lignito:	
En concreto aparente	0.5
En otros concretos	1.0

TABLA No. 2.4 - Materiales finos que pasan por la criba 0.075 mm (No. 200)

CONCEPTO	MATERIAL MÁXIMO PERMISIBLE EN MASA DE LA MUESTRA TOTAL EN %
En concreto sujeto a abrasión	5.0 ⁽¹⁾
En concretos pre-esforzados	8.0 ⁽¹⁾
En otros concretos	15.0 ⁽²⁾

⁽¹⁾ En caso de agregados triturados, si el material que pasa por la criba 0.075 mm (malla No. 200) es el resultado de la pulverización de rocas exentas de arcilla y/o pizarras, este límite puede incrementarse a 6% y 10%, respectivamente.

⁽²⁾ Este valor, queda condicionado por los parámetros de contracción por secado y deformación diferida del concreto cuando así se solicite en el proyecto, y por la naturaleza de estos finos como se establece en las tablas 2.5 y 2.6.

TABLA No. 2.5 - Cantidades de material máximas permisibles menor que la criba 0.075 mm (No.200) en agregados finos.

Límite líquido	Índice Plástico	Material máximo permisible en masa que pasa por la criba 0.075 (No. 200), en porciento %
Hasta 25	Hasta 5	15.0
Hasta 25	6 -- 10	13.0
Hasta 25	11 -- 15	6.0
26-- 35	Hasta 5	13.0
26 -- 35	6 -- 10	10.0
26 -- 35	11 -- 15	5.0

b. Sustancias nocivas en el agregado grueso.

- i. Se deben cumplir con los límites que establece la tabla 2.6, tomando en cuenta como base la severidad del intemperismo de la región donde se construya la obra (véase fig. 2.1).

FIGURA No. 2.1 – Intemperismo: grado de severidad.

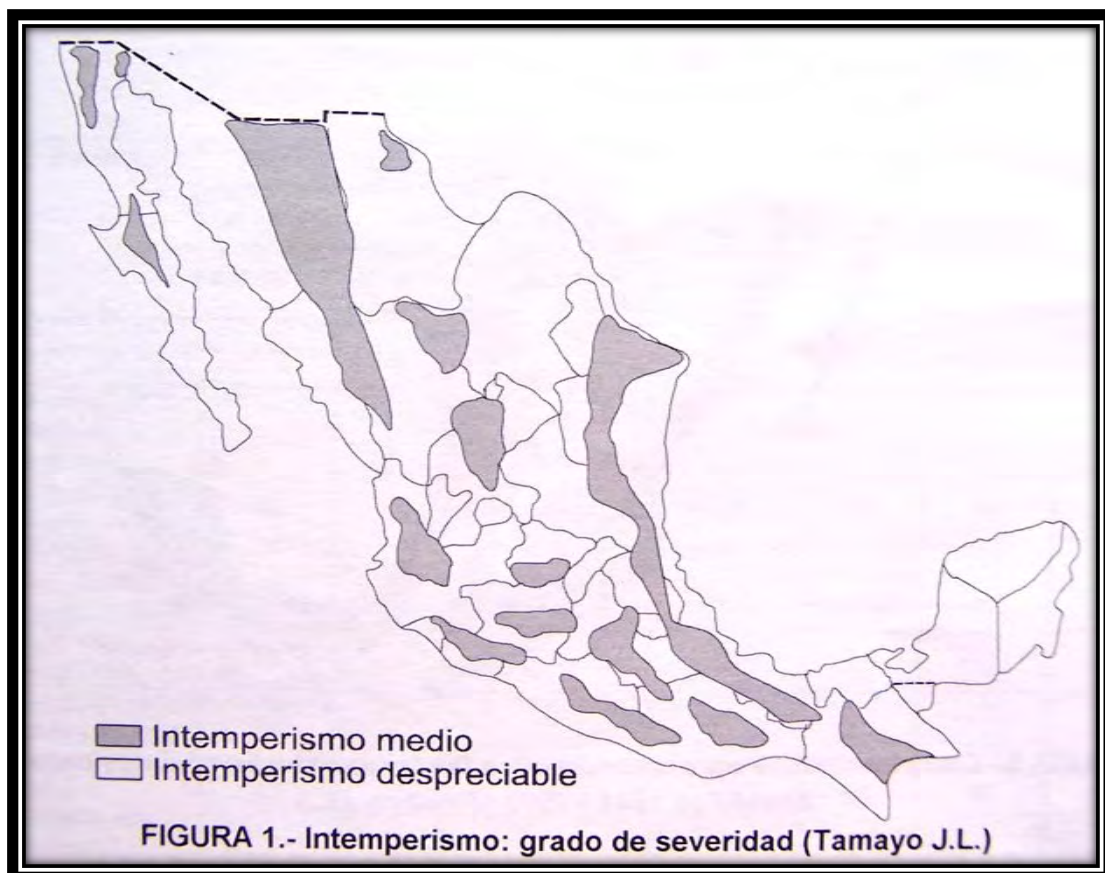


TABLA No. 2.6 - Límites máximos de contaminación y requisitos físicos de calidad del agregado grueso.

Grupo	Elementos	Total de terrones de arcilla y partículas delexnables	Partículas de pedernal con masa específica menor de 2.4 (Véase nota 1)	Suma de los conceptos anteriores (dos primeras columnas)	Material fino que pasa por la criba 0.075 (malla No. 200) (Véase nota 2)	Carbón y lignito	Pérdida por abrasión (Véase nota 3)	Pérdida en la prueba de sanidad (Intemperismo acelerado 5 ciclos) en %	
								NaSo4	MgSo4
Región de intemperismo moderado									
1M	No expuestos a la intemperie; zapatas de cimentación, cimentaciones, columnas, vigas y pisos interiores con recubrimiento.	10.0	---	---	1.0	1.0	50.0	---	---
2M	Pisos interiores sin recubrimiento	5.0	---	---	1.0	0.5	50.0	---	---
3M	Expuestos a la intemperie: muros de cimentación, muros de retención, pilas, trabaes, estructuras de muelles.	5.0	8.0	10.0	1.0	0.5	50.0	12.0	18.0
4M	Sujetos a la exposición frecuente de agua o humedad: pavimentos, losas de puentes, guarniciones, autopistas, andadores, patios, pisos externos y	5.0	5.0	7.0	1.0	0.5	50.0	12.0	18.0
5M	Concretos arquitectónicos expuestos a la intemperie.	3.0	3.0	5.0	1.0	0.5	50.0	12.0	18.0
Región de intemperismo no apreciable									
1N	Losas sujetas a tráfico abrasivo: losas de puentes, pisos, andadores, banquetas y pavimentos.	5.0	---	---	1.0	0.5	50.0	---	---
2N	Otras clases de concreto.	10.0	---	---	1.0	1.0	50.0	---	---

Nota 1: La aceptación del material en base a estos límites de plasticidad está condicionada al cumplimiento del contenido de materia orgánica. (Tabla No. 2.5)

Nota 2: Esta limitación se aplica a materiales donde el pedernal se encuentra como impureza; no es aplicable a agregado grueso que es predominantemente pedernal. Limitaciones de uso de tales agregados en cuanto a intemperismo, deben basarse en antecedentes de servicio donde se pretende emplear tales materiales. (Tabla No. 2.6)

Nota 3: En caso de agregados triturados, si el material que pasa por la criba 0.075 (malla No. 200) es resultado de la trituración de rocas exentas de arcilla y/o pizarras, este límite puede incrementarse en 1.5%. (Tabla No. 2.6)

Nota 4: La pérdida por abrasión del agregado debe ser determinada en una muestra con granulometría lo más cercana a la que va a ser usada en la producción de concreto. Cuando se use más de un tamaño o más de una granulometría en un solo tamaño, el límite de abrasión debe de aplicarse a cada una de ellas. Las escorias de altos hornos enfriadas al aire y trituradas quedan excluidas de los requisitos de abrasión; la masa volumétrica compactada con varilla de estos materiales debe ser mayor que $1,120 \text{ kg/m}^3$. (Tabla No. 2.6)

- ii. Material más fino que la malla 200 en mezcla de agregado finos y gruesos. El contenido máximo de material fino que pasa por la criba 0.075 (malla No. 200), está en función de los límites de consistencia (límites de Atterberg, obtenidos de acuerdo con lo especificado en la NMX-C-416_ONNCCE) y no debe de exceder los límites que establece la tabla 2.7.

2.4.1.4 REACTIVIDAD POTENCIAL (REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO)

Para la elaboración de concreto debe evitarse el uso de agregados, finos y gruesos que contengan rocas y materiales identificados como potencialmente reactivos con los álcalis. Esto es aplicable cuando el concreto en servicio vaya a estar en contacto permanente, o en periodos prolongados, con agua o rodeado de condiciones húmedas (humedad relativa $\geq 80\%$). Los mapas de las figuras 2.2 y 2.3 sirven de guía para delimitar las regiones con rocas silíceas y carbonatadas potencialmente reactivas con los álcalis.

Si las expansiones obtenidas rebasan los límites máximos permisibles, tal como se ilustra en las figuras 2.4 y 2.5, se considera confirmado el carácter reactivo de los agregados y su empleo debe quedar condicionado a la aplicación de la siguiente medida:

- a) Utilizar un cemento Pórtland con bajo contenido de álcalis: menor o igual que 0.60 % (de la masa del cemento) si la reacción es álcali-sílice y menor o igual que 0.40 %, si la reacción es álcali carbonato. O bien hacer ajustes necesarios al diseño para que el contenido total de álcalis en la mezcla de concreto, aportado por diversos componentes no exceda de 3.0 kg/m^3 . Si este recurso no es factible, entonces la medida pertinente consiste en incorporar al concreto un material que sea efectivo para inhibir la reacción álcali-agregado.

TABLA No. 2.7 - Material máximo permisible menor de la criba 0,075mm (No. 200) en agregado finos y gruesos.

Límite líquido.	Índice plástico.	Material máximo permisible en masa que pasa por la criba 0,075 (No. 200), en por ciento %
Hasta 25	Hasta 5	10.0
Hasta 25	6 – 10	9.0
Hasta 25	11 – 15	4.0
26 - 35	Hasta 5	9.0
26 - 35	6 – 10	7.0
26 - 35	11 – 15	3.0
36 - 40	Hasta 5	8.0

FIGURA No. 2.2 - Regiones con materiales silíceos potencialmente reactivos.

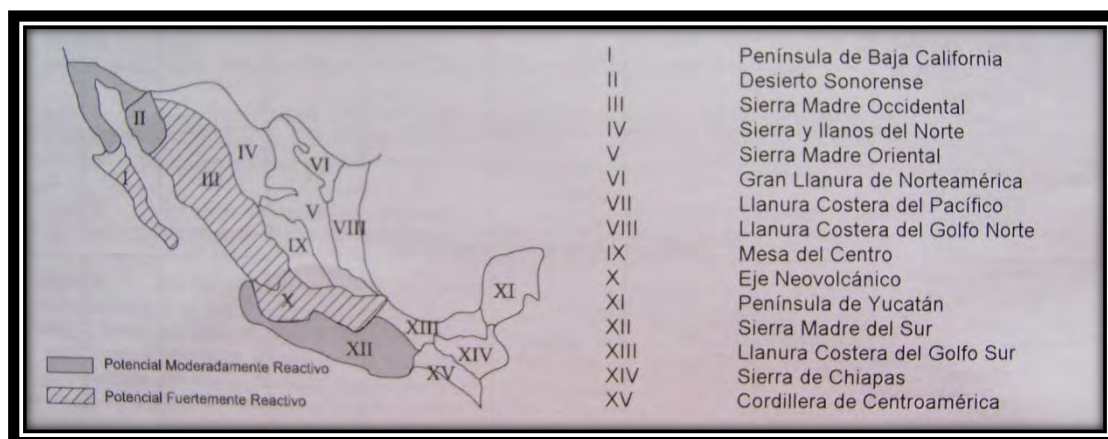


FIGURA No. 2.3 - Regiones con materiales carbonatados potencialmente reactivos a los álcalis.

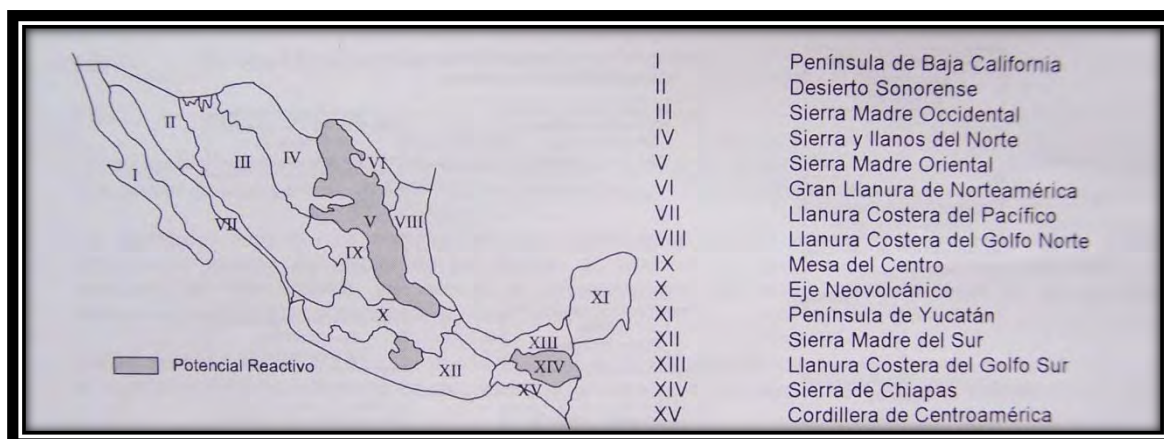


FIGURA No. 2.4 - Criterios de interpretación de resultados cuando los agregados presentan reactividad potencial álcali-sílice.

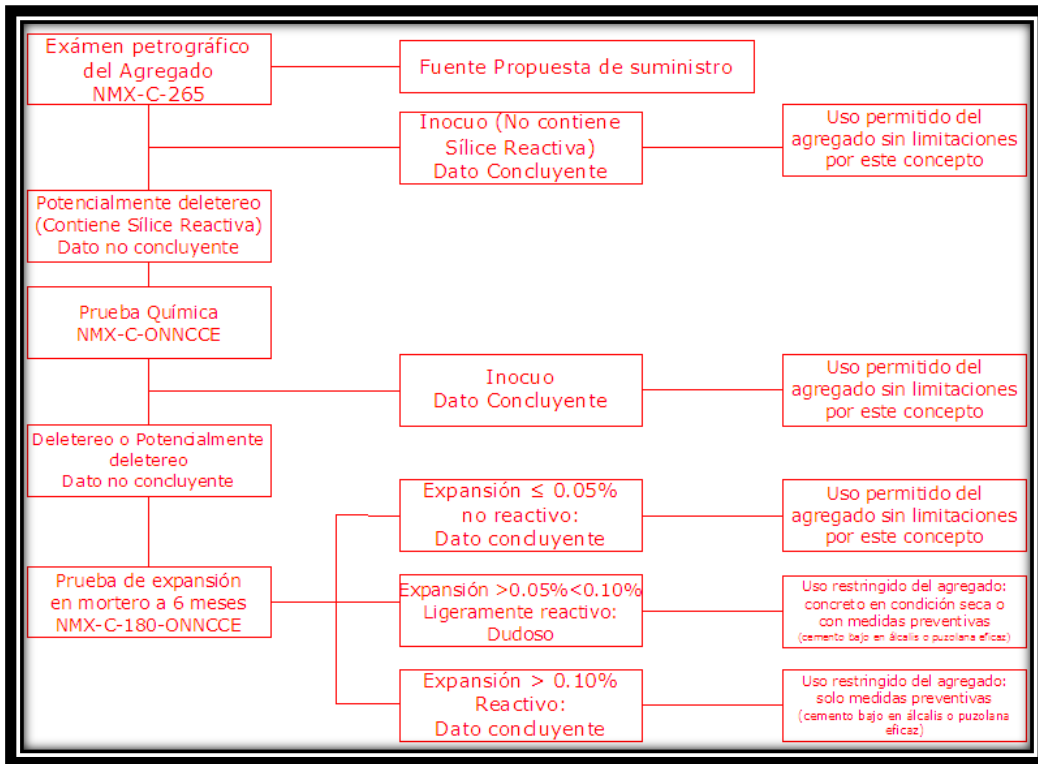
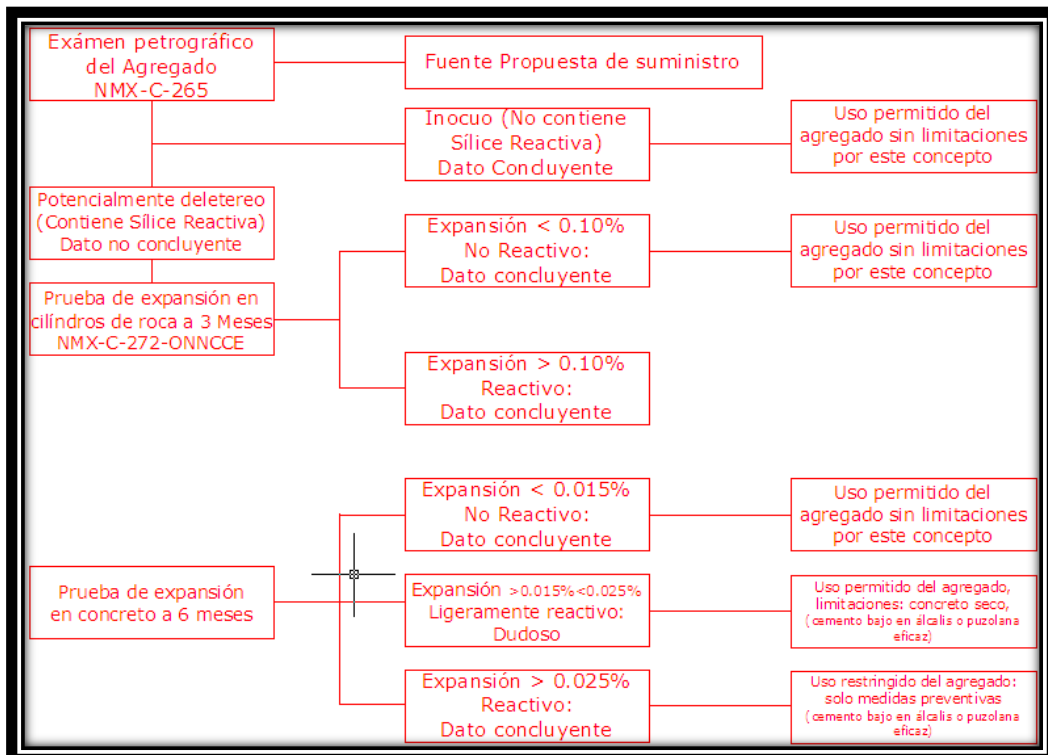


FIGURA No. 2.5 - Criterios de interpretación de resultados cuando los agregados presentan reactividad potencial álcali-carbonato.



2.5 AGREGADOS PÉTREOS PARA CAMINOS Y CARRETERAS.

2.5.1 AGREGADOS PÉTREOS PARA BASES Y SUB-BASES.

La sub-base es la capa de material colocado sobre la sub-rasante, que tiene por función resistir los esfuerzos que transmite la base y distribuirlos a la sub-rasante.⁹

Las principales funciones de la sub-base de un pavimento son las siguientes:

- a) Proporcionar apoyo uniforme al pavimento.
- b) Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a lo que es común en las terracerías y capa sub-rasante.
- c) Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías o la sub-rasante.
- d) Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de las terracerías o de la capa sub-rasante.
- e) Evitar el bombeo.

TABLA No. 2.8 - Valores de calidad para materiales de sub-base y revestimiento.

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE SUB-BASE Y REVESTIMIENTO			
Característica	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Revestimiento
Granulometría			
Zona granulométrica (anexo Fig. 8)	1 -- 2	1 -- 3	1 -- 3
Tamaño máximo (mm)	51	51	76
Porcentaje de finos (Mat. 0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 mín.
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx.	30 máx.	40 máx.
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx.	10 máx.	15 máx.
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín.	100 mín.	95 mín.
Equivalente de arena (%)	40 mín.	30 mín.	---
VRS (%)	40 mín.	30 mín.	30 mín.
Desgaste de los angeles (%)	40 mín.	---	---

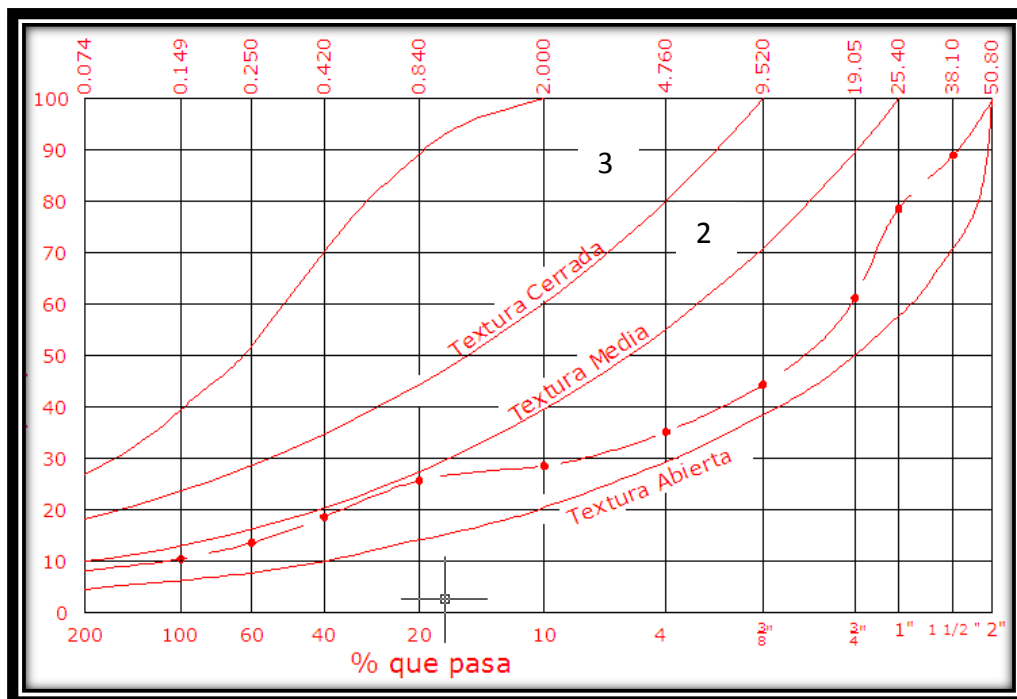
⁹ RUIZ VÁZQUEZ, Mariano, Silvia Gonzalez. Geología aplicada a la ingeniería civil. Editorial, Limusa. México. 2007. P. 215

La base es la capa construida sobre la sub-base, cuyo objetivo es soportar las cargas de los vehículos y distribuir las a las capas subyacentes de manera que no produzcan deformaciones perjudiciales.

TABLA No. 2.9 - Valores de calidad para materiales de base.

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE BASE		
Característica	Calidad	
	Deseable	Adecuada
Granulometría		
Zona granulométrica (anexo Fig. 8)	1 -- 2	1 -- 3
Tamaño máximo (mm)	38	51
Porcentaje de finos (Mat. 0.075 mm)	10 máx.	15 máx.
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx.	30 máx.
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx.	6 máx.
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín.	100 mín.
Equivalente de arena (%)	50 mín.	40 mín.
VRS (%)	100 mín.	80 mín.
Desgaste de los angeles (%)	40 máx.	40 máx.

FIGURA No. 2.6 - Gráfica de composición granulométrica.



2.5.2 AGREGADOS PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICA.

La manera comúnmente empleada de hacer uso del asfalto en la elaboración de carpetas para caminos, es mezclándolo con un agregado pétreo de características conocidas. Sin embargo, no cualquier tipo de agregado puede emplearse en forma adecuada para formar carpeta. De ahí la necesidad de que conozcamos sus características físicas de los agregados para saber si es apto o no.

En general, los materiales pétreos para carpetas asfálticas deben llenar los siguientes requisitos:

- a) No deben de emplearse agregas pétreos que presenten más del 35% en peso de fragmentos en forma de lascas o que tengan marcada tendencia a romper en forma de lascas cuando se les tritura. Generalmente se consideran como lascas las que tengan una longitud mayor de tres veces la dimensión menor del agregado.
- b) No deben emplearse agregado pétreos que contengan materia orgánica en forma perjudicial o arcilla en grumos.
- c) Los agregados pétreos no deben tener más del 20% de fragmentos suaves.
- d) Los agregados pétreos deben emplearse de preferencia secos o cuando mucho con una humedad igual a la de absorción de ese material. En caso contrario, debe emplearse un adicionante en el asfalto.
- e) El tamaño máximo del agregado no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada.
- f) Tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas del equipo de compactación.
- g) La porción que pase la malla No. 40 no debe tener una contracción lineal mayor de 3% para materiales que, en mezclas en el lugar, su granulometría caiga en la zona numero 1, y del 2% si cae en la zona número 2. Para los concretos asfálticos la contracción lineal debe de ser igual o menor a 2%.
- h) Los materiales pétreos deben llenar características granulométricas tales que su curva graficada debe quedar dentro de las zonas marcadas por las curvas siguientes, según sea el caso.

- i) El desgaste determinado con la máquina *Los Ángeles* no debe ser mayor de 40%.
- j) La absorción del material pétreo no debe ser mayor de 5%.
- k) La densidad aparente del material pétreo no debe ser menor de 2.3.
- l) El material pétreo debe tener buena adherencia con el asfalto, debiendo satisfacer una de las especificaciones siguientes:
 - a. Desprendimiento máximo por fricción, 2.5%.
 - b. Cubrimiento máximo con asfalto inglés, 90%.
 - c. Pérdida máxima de estabilidad, por inmersión en agua, 25%.
- m) El material pétreo debe resistir la prueba de intemperismo acelerado.¹⁰

¹⁰ CRESPO VILLALAZ, Carlos. Vías de Comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. Editorial, Limusa. México. 2007. PP. 271-273

FIGURA No. 2.7 - Gráfica de composición granulométrica para concretos asfálticos.

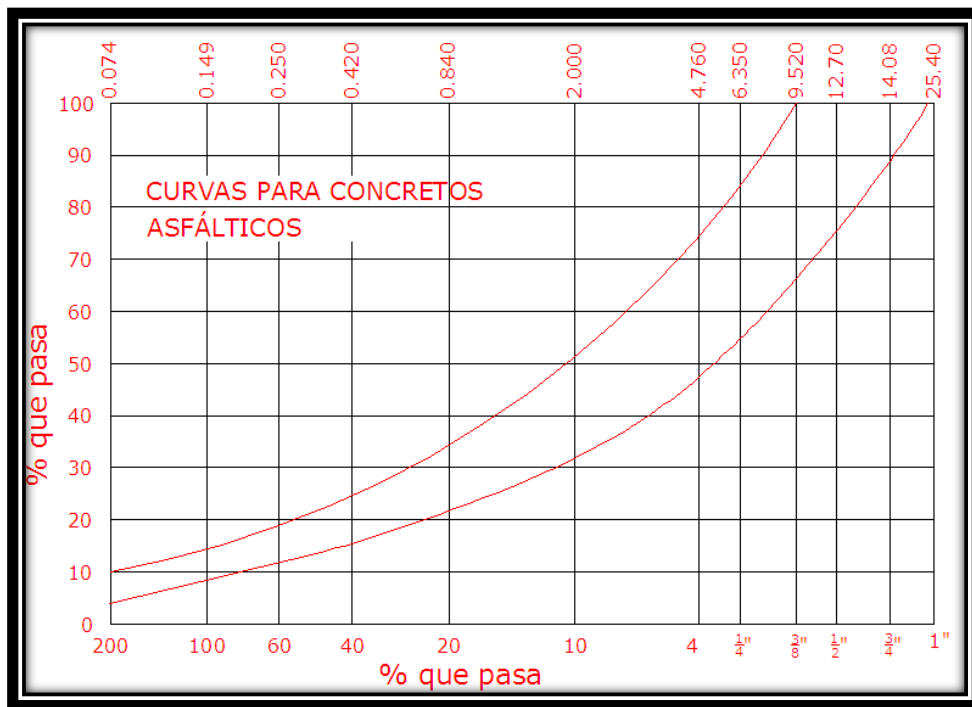
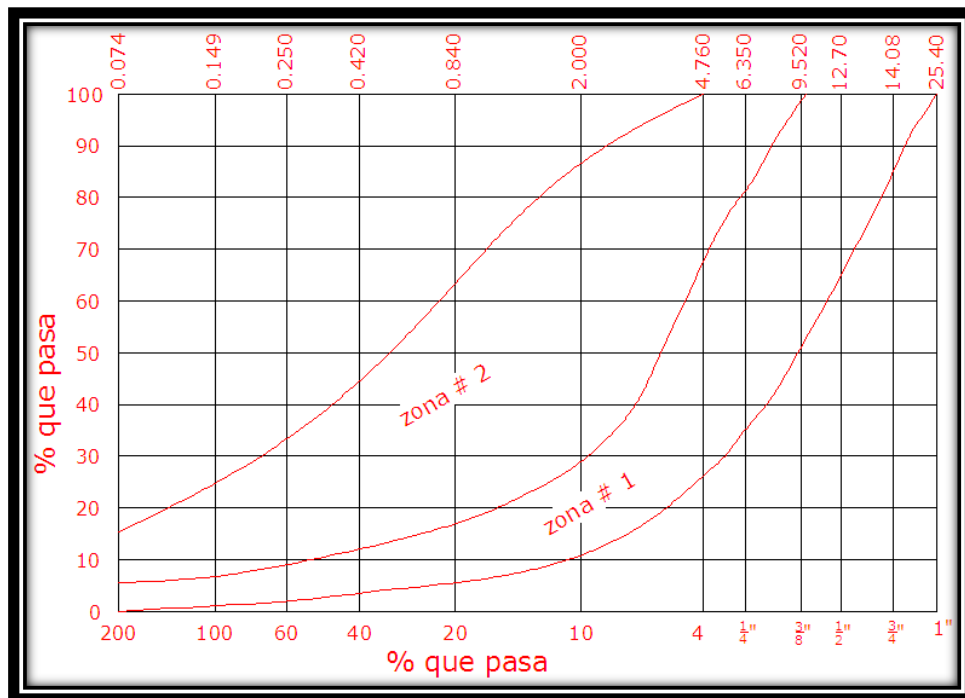


FIGURA No. 2.8 - Gráfica de composición granulométrica para concretos asfálticos; mezclas en el lugar.



CAPÍTULO TERCERO

3. PRODUCCIÓN DE AGREGADOS.

3.1 BANCOS DE MATERIALES (GENERADORES DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN).

Uno de los costos más importantes en la construcción corresponde a los materiales, en nuestro caso, grava y arena, por lo que su localización y selección se convierte en uno de los problemas básicos del ingeniero civil, más aún hablando del reciclado de concreto. La experiencia diaria enseña que, si se da a estas tareas la debida importancia, podrán localizarse depósitos de materiales apropiados cerca del lugar de su utilización, abatiendo los costos de transportación, que suelen ser de los que más afectan los totales; otras veces se logrará obtener materiales utilizables en zonas que antes dependían de otras más alejadas en este aspecto. Por estas razones, no es de extrañar que la búsqueda científica y la explotación racional de los materiales ocupe más y más la atención de los grupos técnicos interesados.¹

Toda dependencia, órgano desconcentrado, entidad de la administración pública, persona física o moral, pública o privada, propietarios de obra, directores responsables de obra, contratistas o encargados de inmuebles en construcción o demolición que durante las actividades relacionadas a la construcción generan residuos de la construcción son catalogados como generadores de dichos residuos.

En la Norma NADF-007-RNAT-2004[12] los generadores de residuos de la construcción de volúmenes mayores o iguales a 7 m³ y los prestadores de servicios además de cumplir con la presentación del plan de manejo de residuos y demás ordenamientos legales aplicables en la materia, deben observar las disposiciones indicadas en las siguientes fases del manejo, según sea el caso: a) Separación de

¹ RICO RODRIGUEZ, Alfonso, Hermilo del Castillo. La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Limusa. México. 2006. P. 291.

fuelle, b) Almacenamiento, c) Recolección y transporte, d) Aprovechamiento, e) Disposición final.²

3.1.1 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN.

Según la Norma NADF-007-RNAT-2004[12] los residuos de la construcción están constituidos generalmente por un conjunto de fragmentos o restos de materiales producto de demolición, desmantelamiento, excavación, tales como tabiques, piedras, tierra, concreto, morteros, madera, alambre, resina, plásticos, yeso, cal, cerámica, tejados, pisos y varillas, entre otros, cuya composición puede variar ampliamente dependiendo del tipo de proyecto, la obra y etapa de construcción.³

Para incrementar el aprovechamiento de estos materiales, los residuos de la construcción se deben clasificar en las fracciones indicadas la Tabla No. 3.1.

3.2 TRATAMIENTO

Las plantas para la producción de agregado reciclados no son muy diferentes a las plantas para la producción de agregados triturados provenientes de otras fuentes. Estas incorporan varios tipos de trituradoras, cribas, bandas transportadoras y dispositivos para la remoción de partículas dañinas. El método básico de reciclaje consiste en triturar escombros para producir un producto granular de un tamaño en particular. El grado de procesamiento obtenido después de esto es determinado por el nivel de contaminación del escombros inicial y la aplicación para cada uno. El material reciclado podrá ser usado como: material de relleno, base o relleno en proyectos de drenaje, sub-base o material de base para la construcción de carreteras o en la fabricación de nuevos concretos.

Las características físicas y químicas básicas de los agregados difícilmente pueden alterarse por el procesamiento, pero si es posible reducir las cantidades de ciertas partículas dañinas.

² SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE D.F. Norma ambiental para el Distrito Federal. NAFT-007-RNAT-2004. México. 2006. P. 17-18

³ *Ibíd.*

Los criterios para la aplicación de especificación para la obtención de ciertos agregados depende mucho del uso final al que vayan a someterse los mismos. En concretos ordinarios es común que no se busque la máxima calidad de las gravas y arenas, siendo esto igual para los agregados de utilización en caminos y carreteras. Sin embargo cuando se buscan concreto de alta resistencia y durabilidad, entonces si es necesario recomendar la mayor calidad y el más alto rigor en la aplicación de las especificaciones.

Sin embargo, concreto limpio no puede ser siempre obtenido de los sitios de demolición o de los bancos de material. El concreto regularmente contiene materiales externos en la forma de metales, madera, plásticos, cartón, recubrimientos y demás. Existen plantas de primera generación en las que el esquema de proceso puede ser adaptado para pequeñas cantidades de contaminantes removiendo gran cantidad de estos de manera manual o mecánica antes del triturado, y con el limpiado del producto triturado por medios de clasificación en seco o lavado.⁴

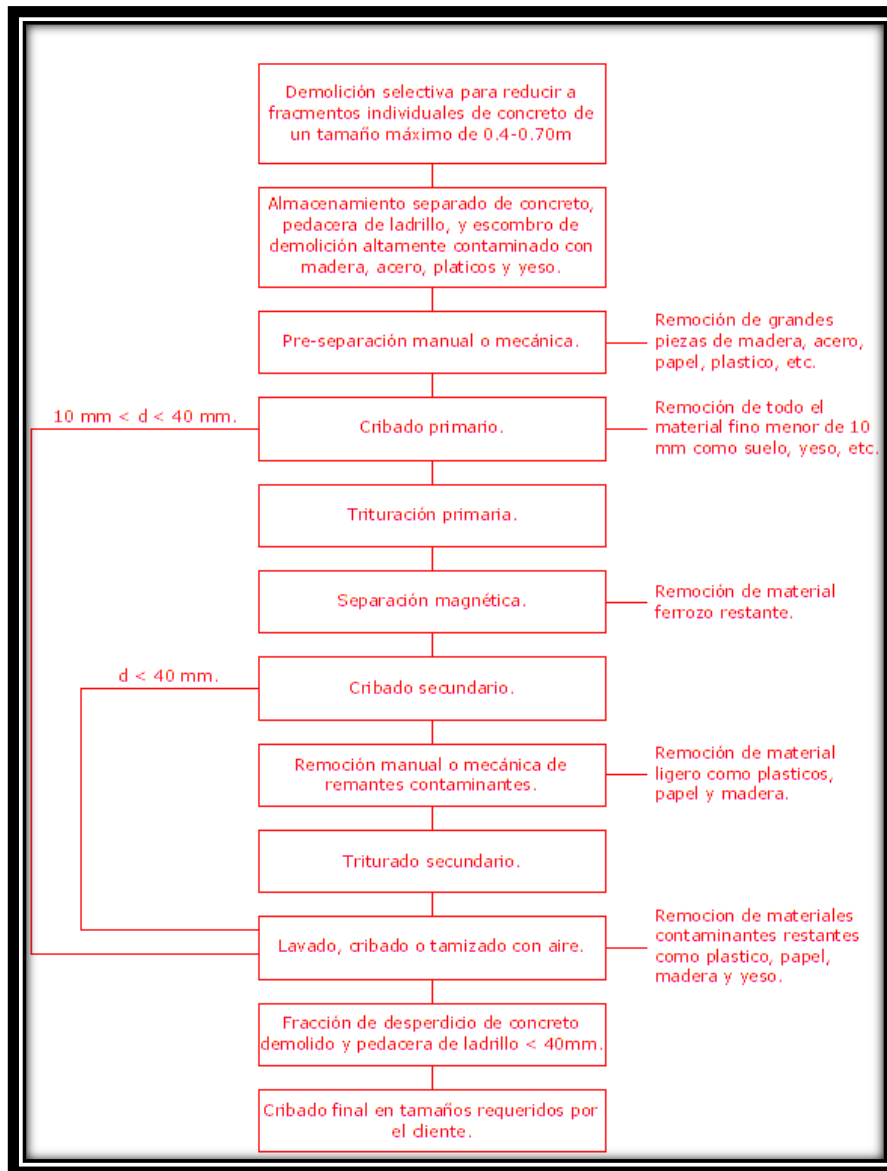
Todas las plantas de segunda generación son similares en el diseño básico, como se muestra en la Figura No. 3.2. Las grandes piezas de escombros que llegan desde la zona de demolición son reducidas a piezas de entre 0.40-0.70 m.⁵

⁴ HANSEN, T.C. Recycling of demolished concrete and masonry. E&FN SPON. Gran Bretaña. 1996. P. 12-14

⁵ *Ibíd.*

TABLA No. 3.1 - Clasificación enunciativa no limitativa de los residuos de la construcción.

A. Residuos potencialmente reciclables para la obtención de agregados y material de relleno	
Nombre	
1.	Prefabricados de mortero o concreto (blocks, tabicones, adoquines, tubos, etc.).
2.	Concreto simple.
3.	Concreto armado.
4.	Cerámicos.
5.	Concretos asfálticos.
6.	Concreto asfáltico producto del fresado.
7.	Productos de mampostería.
8.	Tepetatosos.
9.	Prefabricados de arcilla recocida (tabiques, ladrillos, Blocks, etc).
10.	Blocks.
11.	Mortero.
B. Residuos de excavación	
Nombre	
1.	Suelo orgánico.
2.	Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales contenidos en ellos.
3.	Otros materiales minerales no contaminados y no peligrosos contenidos en el suelo.
C. Residuos sólidos	
Nombre	
1.	Cartón.
2.	Madera.
3.	Metales.
4.	Papel.
5.	Plástico.
6.	Residuos de podas, tala y jardinería.
7.	Paneles de yeso.
8.	Vidrio.
9.	Otros.

FIGURA No. 3.2- Forma de procesamiento de escombros y concreto de demolición.

3.2.1 SELECCIÓN

Los procesos habitualmente empleado para proveer agregado de granulometría satisfactoria empiezan en el frente mismo de la obra.

3.2.1.1 SEPARACIÓN DE LA FUENTE

La norma NADF-007-RNAT-2004[12] menciona que en las áreas de generación de residuos de la construcción, estos deben separarse según la clasificación A, B y C establecida en la Figura No. 3.1 de dicha norma.

En caso de los residuos producidos por los laboratorios estos también se recomiendan separarlos para un mejor aprovechamiento de los mismos.

3.2.1.2 ALMACENAMIENTO (EN OBRA)

El almacenamiento de residuos de construcción dentro del predio del proyecto únicamente debe ser temporal, se debe minimizar la dispersión de polvos y emisión de partículas con el uso de agua tratada en las áreas de mayor movimiento y debe retirarse los residuos en el plazo que establezcan las disposiciones jurídicas correspondientes.

3.2.1.3 RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

La recolección y transporte de los residuos de la construcción referidos en esta norma ambiental debe realizarse conforme a lo dispuesto en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y el Reglamento de Tránsito para el Distrito Federal y demás ordenamientos jurídicos aplicables además de cumplir con lo siguiente:

a. Durante la recolección y transporte de los residuos de la construcción se debe respetar la separación de estos residuos realizada desde la fuente por el generador conforme a lo establecido en el cuadro 2 de ésta norma y evitar mezclarlos con otro tipo de residuos.

b. El prestador del servicio del transporte debe circular en todo momento, con los aditamentos necesarios que garanticen la cobertura total de la carga para evitar la dispersión de polvos y partículas, así como la fuga o derrame de residuos líquidos durante su traslado a sitios de disposición autorizados.⁶

Una vez que la demolición ha sido completada y los escombros llevados a la planta de reciclado termina la selección con el almacenaje selectivo y el cribado primario.

⁶ SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE D.F. Norma ambiental para el Distrito Federal. NAFT-007-RNAT-2004. México. 2006. P. 19-21.



a)



b)



c)



d)

FIGURA No. 3.3- Fuentes de obtención de residuos de la construcción. a) Cilindros de prueba, b) Concreto premezclado, c) Almacenamiento de escombros, d) Recolección.

3.2.2 PROCESAMIENTO BÁSICO (APROVECHAMIENTO)

3.2.2.1 CRIBADO PRIMARIO

Generalmente se utiliza para lograr en un material de naturaleza friccionante una granulometría adecuada, eliminando así porcentajes altos de partículas no deseables como suelo, yeso, etc.

Las instalaciones de cribado para eliminación de tamaños grandes suelen ser muy sencillas. Normalmente se maneja por gravedad, recogiendo en un camión el

material que pasa una criba determinada. Este método tiene peligros de segregación, que conduce a la obtención de materiales no uniformemente mezclados.⁷

El material obtenido es conducido a la trituradora primaria usualmente de tipo quijada o de impacto.

3.2.2.2 TRITURADO PRIMARIO

Es el tratamiento a que generalmente se recurre para llegar a la granulometría adecuada a partir de materiales naturales muy gruesos o de fragmentos de roca. Es normal realizar la trituración en varios pasos o etapas, según el producto final a que desee llegarse; así se habla de trituradoras primarias, secundarias o terciarias.

La trituración suele realizarse en plantas muy complejas que incluyen alimentadores, bandas de transportación, plantas de cribado, elevadores de material y dispositivos trituradores.⁸

Las trituradoras primarias pueden ser del tipo de compresión (de quijada o giratorias). Se puede controlar el tamaño de la carga para las trituradoras primarias para maximizar la producción mediante el uso de alimentadoras de cribas grandes, por varillas pesadas inclinadas o rieles espaciados en forma variada, de modo que los finos puedan separarse y las piezas demasiado grandes puedan ser apartadas por la trituradora.

El producto de la trituradora primaria normalmente contendrá partículas de 6 a 10 pulg (150 a 250 mm). Generalmente se requiere mayor reducción para producir agregados de concreto. En la mayoría de las planas los tamaños más finos, de aproximadamente 1 ½ pulg (38 mm) o menos se separan y se almacenan como producto de “operación de la trituradora” para trabajos de carreteras. Los tamaños intermedios se llevan después a las etapas secundarias y subsecuentes de trituración.

Cuando el tamaño máximo en el depósito es de aproximadamente 3 pulg (75 mm) o menos, la etapa primaria no es necesaria. En caso de que un producto de grava

⁷ RICO RODRIGUEZ, Alfonso, Hermilo del Castillo. La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Limusa. México. 2006. P 302

⁸ Ibíd.

triturada requiera de un porcentaje especificado de partículas trituradas, puede ser necesario introducir en las trituradoras únicamente partículas más gruesas que el tamaño máximo del producto, para asegurar en el total un alto nivel triturado. Algunas plantas de agregado pueden operar regularmente dos circuitos de producción de agregado grueso –uno para grava triturada y otro para grava no triturada-. La producción de agregados a partir de la escoria de alto horno y el reciclado de concreto generalmente requiere trituración y cribado de una naturaleza similar a la requerida para canteras en lecho de roca.⁹

3.2.1.4 SEPARACIÓN MAGNÉTICA

En muchos depósitos, las fracciones dañinas tales como lignito y horsteno son significativamente menores en densidad que el materia de mejor calidad dentro del depósito. Puede sacarse ventaja de esta característica en el proceso de beneficio. Los sistemas de separación por gravedad incluyen dispositivo de agua o aire a alta velocidad, separadores por vibración y lavado, y sistemas de separación en medio pesados. Otros sistemas incluyen separación por fracciones por medio de rebote elástico y separación magnética.¹⁰

EL acero es removido por magnetos auto limpiantes que son colocados en una o más ubicaciones estratégicas encima de las bandas transportadoras.

3.2.2 PROCESAMIENTO SECUNDARIO (APROVECHAMIENTO)

3.2.2.1 CRIBADO SECUNDARIO

Una vez que las materias primas, piedra, grava, escoria o concreto reciclado, han sido reducidas al rango general del tamaño deseado, usualmente por debajo de 3 pulg. (75 mm), se hace entonces necesario separarlas aún más en agregado fino, más fino que la criba No. 4 (4.75 mm) y agregado grueso, usualmente en dos o más intervalos de tamaños. Esto se logra con mayor frecuencia con cribas vibratorias o placas perforadas con aberturas cuadradas, redondas o rectangulares apropiadas y en algunos casos por medio de cribas cilíndricas giratorias (criba rotatoria).

⁹ IMCYC. Guía para uso de agregados. ACI 221.R01. México. P. 27-29

¹⁰ *Ibíd.* P. 29

Los métodos de cribado operan mejor, produciendo los productos más consistentemente graduados, cuando se introducen a una tasa uniforme. Con frecuencia se usan depósitos de compensación y alimentadores especialmente diseñados para lograr esto. La tasa ideal de alimentación es la que distribuye las partículas a todo lo ancho y a una profundidad uniforme de toda la criba. Las cribas de plantas nunca son 100% eficientes, pero su eficiencia se lleva al óptimo al asegurar uniformidad de alimentación, de modo que todas las partículas tienen la oportunidad de pasar a través de las aberturas.

La operación uniforme de una planta de procesamiento bien diseñada debe realizar el objetivo declarado de producir productos consistentes. Es importante hacer notar que aunque pueden acomodarse una amplia variedad de granulometría del agregado, no pueden tolerarse variaciones extremas en la granulometría. La razón por la que esto es importante es evidente por los requerimientos del ACI 318 respecto a la calidad del concreto, que exigen que la resistencia promedio del concreto producido debe de exceder la resistencia a la compresión especificada utilizada en el diseño estructural, en cantidades que se hacen cada vez más grandes a medida que la desviación estándar de las determinaciones de resistencia se hace más grande. La uniformidad del concreto depende de la uniformidad de las partículas constituyentes, la mayor parte de las cuales son agregados.¹¹

3.2.2.2 REMOCIÓN MANUAL Ó MECÁNICA DE REMANENTES

Una vez cribado el material para eliminar las partículas de gran tamaño se procede a realizar la eliminación de remanentes contaminantes de manera manual o mecánica. Con este proceso se busca eliminar los materiales livianos como plásticos, papel y madera.

3.2.2.3 TRITURADO SECUNDARIO

Estas trituradoras de las etapas posteriores son con mayor frecuencia del tipo de compresión (trituradoras de cono) o, cuando la roca no es muy abrasiva, del tipo de impacto (impulsor simple o doble, trituradora de martillos o molinos de quijada). Las trituradoras tipo impacto tienen una característica deseable por su capacidad para

¹¹ Ibíd P. 28

beneficiar ciertos productos por medio de la trituración selectiva de partículas nocivas, más suaves, que pueden ser removidas en las operaciones subsecuentes de cribado.

3.2.1.4 LAVADO, CRIBADO O TAMIZADO CON AIRE

El procesamiento de muchos agregados requiere lavado para quitar sal, arcilla u otros recubrimientos persistentes que pueden adherirse a las partículas e interferir con la adherencia de la pasta de cemento y el agregado. El lavado es más a menudo necesario para agregados de grava provenientes de depósitos que contiene arcillas, que para los agregados de lecho de roca o de escoria producidos tal como se describe arriba. Sin embargo, algunos lechos sedimentarios de roca están inter-estratificados con arcilla o esquisto, y requieren, ciertamente, un vigoroso lavado para remover estos materiales. Muchas especificaciones imponen límites sobre los materiales más finos que las criba No. 200 (75 μm), que son menos restrictivos cuando este material es primordialmente polvo de trituración proveniente de la operación de trituración, esencialmente libre de arcilla y esquisto. En tales condiciones, puede no ser necesario incluir el lavado en el proceso de producción para piedra triturada o agregados gruesos de escoria, a menos que tengan que lavarse los recubrimientos o que tenga que satisfacerse una alta absorción.

Algunas especificaciones pueden requerir un límite más restrictivo en el material menor que No. 200 (75 μm) en el agregado grueso que el permitido, y la cantidad máxima del material que pasa la criba No. 200 (75 μm) puede estar limitada por una cantidad de 0.25 y 0.50%. Estos requisitos más restrictivos usualmente están asociados con trabajo especial cuando se necesita concreto de muy alta calidad. Sin embargo, debe reconocerse que cada manipulación de un agregado grueso generalmente causará un ligero incremento en el contenido de finos, haciendo que los límites extremadamente restrictivos sean difíciles de alcanzar sin relavado.

Clasificación del agua. El control de la granulometría y la remoción de algo del exceso de finos en los agregados finos normalmente se logran por medio de la clasificación en el agua. Se utiliza una gran variedad de artefactos de clasificación para este propósito, todos los cuales están basados en las diferentes tasas de sedimentación de las partículas de distinto tamaño. La clasificación por agua no es

factible para tamaños más grandes de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de pulg. (6 mm). La granulometría puede controlarse con bastante exactitud por medio de re mezclado apropiado, a pesar del traslape de tamaños entre las celdas adyacentes de los artefactos habituales de clasificación.¹²

3.2.1.5 CRIBADO FINAL

En este último cribado se busca obtener los tamaños de agregados solicitados por el cliente, cumpliendo con los criterios de calidad correspondiendo a las normas antes mencionadas.

3.2.3 CONTROL DE LA FORMA DE LAS PARTICULAS.

La forma de las partículas de los agregados triturados depende grandemente del equipo utilizado para la trituración. La experiencia demuestra que el equipo que produce formas aceptables de partículas en un tipo de roca no necesariamente producirá formas aceptables con otro tipo. La forma de las partículas con frecuencia puede mejorarse por las inserción de una trituradora adicional en la línea entra la trituradora primaria y la trituradora final. Se acepta generalmente que la relación de reducción – la relación entre el tamaño medio del alimento para la trituradora y el tamaño medio de producto de la trituradora- no debe ser muy grande, particularmente en el caso de trituradoras de quijada u otras del tipo de compresión. Las trituradoras tipo impacto producen generalmente una formas de partículas más cercana a la cubica, pero cuando se alimenta por ahogamiento, las trituradoras del tipo cónico de ángulo obtuso especialmente diseñadas, generalmente producen formas favorables de partículas cuando en el procesamiento, se usa una variedad más amplia de tipos de roca que las que pueden acomodarse en las triturados del tipo impacto.

La forma de las partículas es una propiedad difícil de definir y especificar. En el caso de agregados finos, existen métodos de prueba en uso con base en el contenido de huecos de todas o de ciertas fracciones del material en una condición suelta. La forma del agregado a veces se especifica en términos de los porcentajes permisibles por peso de las partículas planas o alargadas definidas en términos de longitud, ancho

¹² IMCYC. Guía para uso de agregados. ACI 221.R01. México. P. 28

y grueso de un prisma rectangular que los circunscribe. En las especificaciones debe de desalentarse el uso de términos ambiguos tales como “libre” o “razonablemente libre de partículas planas o alargadas”.¹³

3.2.4 MANEJO Y ALMACENAMIENTO

El control más cuidadoso de la manufactura de los agregados en la planta puede ser rápidamente nulificado por el abuso en el manejo, almacenamiento, carga, transportación al sitio de la obra, carga en las tolvas de almacenamiento, y dosificación. Aun con un control efectivo de calidad en la planta de procesamiento, siempre habrá un grado de variabilidad entre las unidades de volumen, o lotes, o inclusive entre los lotes. Para definir y corregir cualquier variabilidad excesiva al embarcar el material, debe seguirse un programa de muestreo estadísticamente confiable. Deben tomarse muestras de dosificación sub lotes seleccionando al azar de acuerdo con la norma mexicana [NMX-C-030-ONNCCE-2004] en varias etapas del proceso de producción y en todo el trayecto hasta la dosificación final que va a la mezcladora.

El manejo descuidado del agregado procesado pueda dar como resultado uno de los tres principales problemas que pueden afectar las propiedades de las mezclas de concreto. El primero es la segregación, la cual destruye la uniformidad de la granulometría. El segundo es la contaminación o la inclusión descuidada de materiales dañinos. Un tercer problema, la falta de un mantenimiento adecuado, uniforme y estable de la humedad en el agregado conforme es dosificado, complica todavía más la producción de un concreto uniforme. La degradación del material, que produce más finos y tiene un efecto desventajoso en las propiedades del concreto, es un cuarto problema.

Las principales recomendaciones de este reporte y de publicaciones similares sobre el tema se resumen aquí en forma abreviada.

1. La segregación puede minimizarse cuando los agregados se separan en tamaños individuales y se dosifican separadamente.

¹³ *Ibíd.* p. 29

2. El material de tamaños menores que el tamaño mínimo designado en cada fracción debe mantenerse en un mínimo práctico; cuando hubiera ocurrido una degradación significativa, podría requerirse re cribado del agregado grueso en la planta de dosificación para eliminar variaciones inadmisibles en las cantidades de los materiales de infra tamaño.
3. El agregado fino debe controlarse para minimizar variaciones de granulometría y contenido de humedad. La relación de agregado fino a agregado grueso al proporcionarse en la mezcla de concreto está gobernada por el módulo de finura del agregado fino, y la variación excesiva de las cantidades de tamaños menores al de la malla No. 200 tiene un efecto importante en el requerimiento de agua de mezclado, la velocidad de pérdida de revenimiento, la resistencia y la contracción por secado. Cuando es necesaria la combinación de agregados finos de dos fuentes separadamente y debe emplearse un método positivo de control para asegurar una combinación uniforme.
4. Cuando sea necesario, las pilas de los materiales almacenados deben construirse en capas horizontales o de inclinación leve. Deben evitarse las pilas cónicas de los almacenes o cualquier procedimiento de descarga que involucre el volteo de los agregados deslizándose por los lados inclinados de las pilas. Los camiones y los tractores niveladores deben mantenerse fuera de las pilas de materiales almacenados, ya que pueden causar degradación y contaminación.
5. Deben hacerse todos los esfuerzos posibles para mantener un contenido de humedad estable en los agregados, particularmente en agregados finos. El contenido de humedad depende de la granulometría, la forma de las partículas, la textura de la superficie y las prácticas de almacenamiento drenado de los agregados. Por lo tanto, todos los agregados producidos o manejados por métodos hidráulicos y los agregados lavados deben ser aplicados o guardados en tolvas para obtener buen drenaje antes de su dosificación en el concreto. Las partículas bien graduadas, redondas y lisas, que han tenido buenas prácticas de almacenamiento y drenaje, pueden obtener un contenido estable de humedad cuando se drenan por lo menos 12 horas. Inversamente, las partículas de granulometría deficiente, planas y angulares, en pilas pobremente drenadas, pueden requerir de hasta una semana o más para

obtener un contenido estable de humedad, las fluctuaciones en el contenido estable de humedad causada por el clima pueden compensarse por el uso de medidores de humedad para indicar las pequeñas variaciones de humedad a medida que los agregados son dosificados. El uso de agregados para compensación en los ajustes rápidos puede minimizar la influencia de las variaciones de humedad en propiedades tales como revenimiento, contracción, relación agua-cemento y resistencia.

6. Los depósitos de almacenamiento deben mantenerse tan llenos como sea prácticamente posible para minimizar la rotura y los cambios de graduación a medida que retiran los materiales.

Deben tomarse muestras de los agregados a intervalos al azar, tan cerca como sea posible del punto de su introducción en el concreto, además de una verificación de la granulometría; esto facilitará la detección de contaminación de agregados que puede ocurrir durante el transporte y manejo. Es una buena práctica mantener un promedio móvil de 5 a 10 pruebas de granulometría eliminando el resultado con el cual se calcula el promedio. Este porcentaje entonces puede utilizarse para efectuar los ajustes necesarios a las proporciones de la mezcla.¹⁴

3.2.4 INTERÉS EN EL MEDIO AMBIENTE

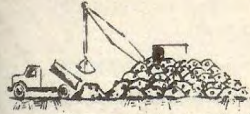
Algunas jurisdicciones tienen estrictas regulaciones ambientales para el control del polvo. Se debe tener mucho cuidado para satisfacer las regulaciones; sin embargo, se deben producir todavía agregados de calidad. Los equipos para coleccionar polvo, diseñados para reducir la contaminación remueven algo de los materiales finos que a veces se producen mientras se procesan los agregados. Algunos de estos equipos también reintroducirán el polvo recolectado dentro de una banda final de la caída a una tasa controlada. Cuando este tipo de equipo se usa, la prueba para asegurar la calidad se lleva a cabo después de este punto para mantener la granulometría adecuada y la limpieza, que se intenta en las especificaciones.¹⁵

¹⁴ IMCyC. Guía para uso de agregados. ACI 221.R-01. Editorial, IMCyC. México 2006. P 29-30

¹⁵ *Ibíd.* P. 30

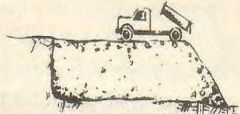
Figura 3.4.- Criterios de almacenaje de los agregados.

ALMACENAMIENTO EN MONTONES DEL AGREGADO GRUESO




PREFERIBLE

Se deberá almacenar el material utilizando una grúa u otro equipo en montones separados, cada uno no mayor que la carga de un camión, de manera que permanezca en el lugar donde se coloque y no ruede por los taludes.




DISCUTIBLE

No usar métodos en los que se permita que el agregado ruede hacia abajo por el talud al añadir material al montón, ni se permita que el equipo de acarreo opere en el mismo nivel repetidas veces.




DE ACEPTABILIDAD LIMITADA-GENERALMENTE DEFECTUOSO

Generalmente, los montones no deberán formarse en capas horizontales radialmente con un bulldozer empujando los materiales que se descargan desde un transportador de banda. Puede necesitarse una escalera para roca en esta forma de trabajo. (Véase Almacenamiento del agregado grueso terminado).




Bulldozer tendiendo capas progresivas con una pendiente no menor de 3:1, lo que es incorrecto, a menos que los materiales no se quiebren.

ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO GRUESO TERMINADO



Cuando se almacenan en montones los agregados de tamaño grande, dejándolos caer de transportadores elevados, la ruptura mínima se obtiene usando una escalera para roca.

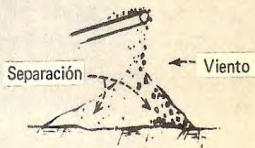
ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO FINO



Uniforme con relación al centro

CORRECTO

La chimenea debe rodear al material que cae del extremo del transportador, para evitar que el viento separe los materiales finos y gruesos. La chimenea deberá tener aberturas de manera que se puedan descargar los materiales a diferentes alturas sobre el montón.



Separación ← Viento

INCORRECTO

No se permita que el material caiga libremente desde el extremo elevado del transportador, lo que permitiría que el viento separara el material fino del material grueso.

46

3.3 EQUIPO

3.3.1 EQUIPO DE TRITURACIÓN

3.3.1.1 TRITURADORAS PRIMARIAS

Trituradoras de quijadas.

Estas trituradoras que son sencillas y económicas, requieren un mínimo de fuerza. Las superficies de triturado consisten en dos quijadas que no se tocan del todo en el fondo y están ampliamente separadas en la parte de arriba. Las caras de estas quijadas pueden ser planas o convexas. Una de las quijadas esta fija y la otra sujeta a un brazo excéntrico. En la parte superior el brazo está montado sobre un eje excéntrico que corre entre dos sólidos volantes. La rotación del eje hace girar el brazo y la quijada, apoyándose primero contra la quijada fija y luego separándose de esta con algún movimiento vertical de fricción. Las rocas que descansan dentro de la V que forman las quijadas, son trituradas a presión y caen al retroceder las quijadas. Este proceso se repite hasta que las rocas son reducidas a pedazos lo suficientemente pequeños para pasar a través del estrecho espacio en el fondo de las quijadas.

Las trituradoras de quijadas se fabrican en gran variedad y en tamaños hasta una abertura de 1.68m por 2.13m. Estas maquinas se clasifican según la abertura entre quijadas. Así, por ejemplo, una trituradoras de 25 cmx76cm posee una abertura de 25cm por arriba y las quijadas tienen 76 cm de largo. El tamaño máximo de roca redonda que admite es de más o menos del 80% del ancho de la abertura.

Triturados giratorias.

Estas trituradoras derivan su nombre del movimiento giratorio de un cabezal situado dentro de un tazón cónico. La parte inferior del eje que soporta el cabezal está montada sobre una excéntrica accionada mediante mecanismo de rueda y piñón. Esto origina un movimiento giratorio.

A medida que gira la excéntrica, el cabezal se mueve del mínimo al máximo, dando lugar a giros excéntricos de 180 grados. Esto produce una acción de compresión sobre el material alimentado en la trituradora. Es, pues, una trituradora tipo presión.

La trituradora es alimentada por arriba, y el material triturado se descarga por el fondo. Estas trituradoras son grandes, pesadas y altas debido a la forma y el volumen de la cámara de triturado.

El cono puede ser más o menos estacionario en la parte superior y moverse nada mas en el fondo, girar arriba y abajo o montado de modo que el cabezal pueda oscilar y girar a la vez. La roca alimentada por arriba cae entre el cono y el cabezal y es triturada a medida que la abertura se estrecha con el movimiento del cono. Al abrirse de nuevo, caen todavía más los pedazos, para ser nuevamente triturados al regreso. En este tipo de maquinas es preciso sincronizar bien la velocidad del cono y la distancia del recorrido. Un amplio espacio permite que las piedras caigan más libremente que uno estrecho y se le adiciona movimiento lento, los pedazos caerán demasiado lejos para el próximo impacto. El giro rápido y recorrido corto no permiten que caigan lo suficientemente lejos y deviene en pérdida de fuerza.

Son más caras que las de quijada, requieren más fuerza y también más espacio vertical para su instalación, pero, en cambio, producen más y brindan un producto más acabado y uniforme.

3.3.1.2 TRITURADORAS SECUNDARIAS Y TERCIARIAS

Trituradoras cónicas

Estas trituradoras son, en verdad, trituradoras giratorias con el cabezal y el tazón modificados mediante reducción en vez de triturado primario. El cabezal es acampanado a un diámetro relativamente mayor en el fondo de la cámara de triturado y el tazón se fabrica siguiendo los contornos del cabezal. Arriba hay una plancha alimentadora para ayudar a terminar el tamaño del material que admitirá la trituradora. Esta plancha sirve, además, para agitar el material de modo que fluya uniformemente dentro de la cámara de triturado. El tamaño de la trituradora cónica se determina por el diámetro del cabezal en su parte inferior. En la mayoría de las plantas estacionarias que producen agregados para la construcción, la trituradora de rodillos y la trituradora cónica pueden considerarse intercambiables.

Trituradoras de rodillos

Esta trituradora, de rodillo simple, consiste de un rodillo dentado que gira cerca a una placa quebrantadora. Los dientes o proyectores se conocen como llantas y actúan como mandarrias al romper piedras grandes.

Los pedazos más pequeños son arrastrados entre el rodillo y la placa y los tritura la presión del arrastre.

Las trituradoras de rodillo trabajan mejor con rocas laminadas o estratificadas que no sean abrasivas.

Las trituradoras de rodillos dobles consisten de dos rodillos accionados a potencia que rotan en direcciones opuestas, con sus superficies superiores moviéndose una contra otra. La piedra cae por gravedad y por fricción con las superficies del rodillo. Los rodillos pueden ser lisos, corrugados o dentados. Por lo general, la razón de reducción de materiales a alimentar de más de 2.54 cm de diámetro queda limitada de 4 a 1, pero pedazos más pequeños pueden reducirse tanto como 10 a 1. El tamaño de piedra que es posible elaborar depende del ángulo de sujeción y de la fricción entre la roca y las superficies de los rodillos. Este ángulo de sujeción se determina trazando líneas desde los centros de los rodillos a los puntos de contacto con la piedra y trazando tangentes a dichas líneas. El ángulo en que se intersectan las tangentes es el ángulo de sujeción. Para rodillo lisos dicho ángulo de sujeción no debe ser mayor de 31°. Este ángulo se reduce empleando rocas más pequeñas o más grandes, o separando los rodillos de modo que el producto resulte más grueso. La fricción se afectara por la dureza o resbalamiento de la piedra y la superficie del rodillo. Una superficie dentada o corrugada aumentará el grado de agarre.

Trituradoras de molino de martillos.

Este tipo de trituradora rompe por impacto. Unos mayales que giran rápidamente a velocidades a veces de más 180 km/hora, golpean las piedras según entran desde la tolva y las lanzan repetidamente contra un placa quebrantadora.

Los mayales barren luego los pedazos partidos a lo largo de una parrilla de barras a través de la cual caen, si son lo bastante pequeños. Todos los pedazos que no pasan son arrastrados nuevamente y lanzados contra la plaza rompedora para retriturarlos.

Los molinos de martillo poseen la mayor razón de reducción que cualquier otro tipo de trituradora, y con roca débil de estructura favorable pueden reducir cubos de 20 m a cubos de 2,54 cm en una sola operación. Se usan como trituradoras primarias en roca blanda y mediana, y como trituradoras secundarias en cualquier tipo de roca.¹⁶

3.3.2 EQUIPO COMPLEMENTARIO

3.3.2.1 CRIBAS

CRIBAS GIRATORIAS

Las cribas vibratorias tienen por objeto la clasificación o elección de los materiales pétreos granulares, en diversas categorías de acuerdo con los tamaños especificados. Dichas máquinas se componen de uno, dos o tres pisos de malla de alambre o de placa perforada en orificios cuadrados, rectangulares o redondos, montados en el interior de una caja o bastidor flotante, equilibrado apoyado sobre resortes o suspendido por medio de cables. Las vibraciones son producidas por el efecto de una flecha excéntrica o provista de contrapesos que gira a elevada velocidad, accionada por un motor eléctrico.

La superficie de cribado está constituida en la mayoría de los casos, por mallas cuadradas, siendo las más comúnmente empleadas en México las que cumplen con las normas americanas del ASTM.¹⁷

¹⁶ CRESPO VILLALAZ, Carlos. Vías de Comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. Editorial, Limusa. México. 2007. PP. 411-417

¹⁷ BENITEZ ESPARZA, Pedro. Técnicas modernas de producción de agregados. UNAM. México. 1977. P.39

DESIGNACIÓN DE LA MALLA		CLARO ENTRE ALAMBRES		
(MALLAS MÁS USUALES)		EN MM		
PULG	3"		76	
	1-1/2"		38	
	3/4"		19	
	1/4"		6.3	
NÚMERO	4		4.76	
	8		2.38	
	16		1.19	
	30		0.59	
	50		0.297	
	100		0.149	
	200		0.074	
	400		0.037	

Existen cribas vibratorias horizontales con doble mecanismo excéntrico, aconsejables para equipar los grupos móviles y cribas vibratorias inclinadas de mecanismo excéntrico simple, utilizadas en las plantas fijas principalmente. Con ambos tipos se logran las mismas producciones y eficiencias. Las inclinadas son más económicas por su excéntrico simple, pero ocupan, para tamaños iguales, un mayor espacio vertical de instalación, que sus homólogos horizontales.

Los tamaños más utilizados (ancho por longitud de la superficie de cribado) en obras civiles son: 4'x8', 4'x10', 4'x12', 5'x12', 5'x14', 5'x16', 6'x16', en sus versiones de uno, dos y tres pisos.¹⁸

3.3.2.2 ALIMENTADORAS

La alimentación del material en greña a la quebradora primaria, puede realizarse por el vaciado directo de los medios de transporte arrojando la roca a la boca de la quebradora, o bien por medio de un equipo especial mecánico o "alimentador", con o sin dispositivo de pre-cribado.

EL alimentador vibratorio con rejilla (Grizzly) de Pre-cribado es el más recomendado para la industria de la construcción. Ya que puede ser utilizado en instalaciones de mediana y elevada producción, con la ventaja de que sólo envían a la

¹⁸ Ibíd. P. 41

quebradora primaria el material que requiere la trituración primaria, pre-cribado el material pequeño que puede contener el material en greña.¹⁹

3.3.2.3 TRANSPORTADORES DE BANDA

Para el manejo de los materiales granulares en las plantas de producción de agregados pétreos se utilizan básicamente las bandas transportadoras, equipo de mecánica simple y de gran eficiencia en el transporte de cualquier tipo de materiales a granel.

Varios tipos de transportadores de banda se han diseñado para satisfacer las amplias necesidades de la industria en general, para el manejo de cualquier clase de materiales, pero todos constan de un cinta o banda de hule reforzada con capas de lona o de nylon, en anchos de 18", 24", 30", 36", 42", 48", 54", 60", etc., montada sobre trenes de tres rodillos uniformemente espaciados y accionada por una polea de cabeza motriz que a su vez es accionada por un motor-reductor eléctrico, que le imprime a la banda una velocidad lineal que va de 100 a 600 pies por minuto en la mayoría de los casos, para transportar de este modo material a un flujo uniforme.²⁰

3.3.3 EQUIPO MÓVIL

Los equipos móviles ofrecen versatilidad en las construcciones para caminos y carreteras ya permite transporta toda la planta en conjunto ofreciendo un mejor manejo de los equipos.

3.3.3.1 TRITURADORA DE CONO

Características de equipos comerciales:

- Potencia hidráulica diesel con motor C13 – 328 kw / 430 hp, que provee transmisión hidráulica sin embrague.
- Cono Telsmith 44SBS líder mundial.
- Velocidad variable, alta torsión para una alimentación controlada y continua.
- Tolva de alimentación montada sobre aro de rotación hidráulicamente controlado.
- CSS: Sistema hidráulico de ajuste del tamaño del material.
- La máquina completa se eleva en sus patas hidráulicas para facilitar la limpieza y el mantenimiento de las orugas.

¹⁹ Ibíd. P 45

²⁰ Ibíd p 51-52

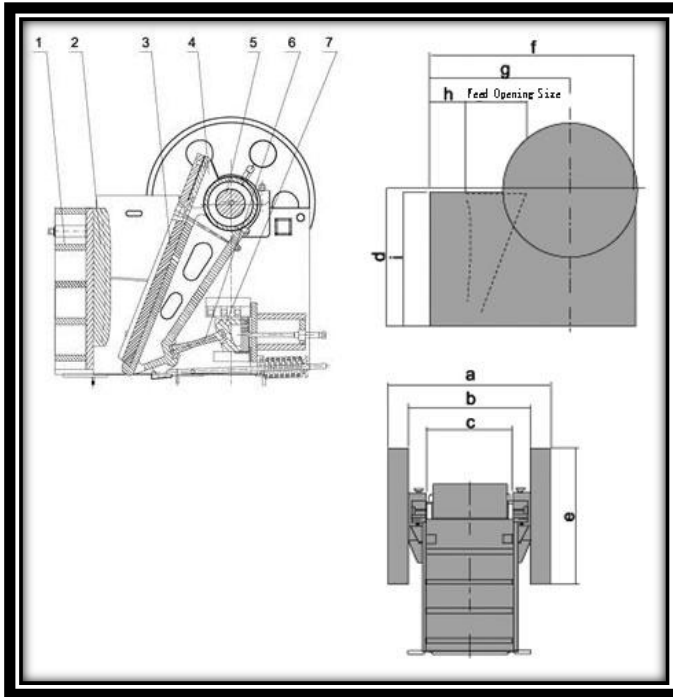
- Máquina autopropulsada por control remoto o por microteléfono con control umbilical.
- Detector de metal para la tolva de alimentación.
- Caja de cribado con sistema de circuito cerrado opcional, para mayor precisión del tamaño final.
- Sistema opcional de cinta transportadora en circuito cerrado. Se puede desplegar hasta 90 grados para mayor almacenamiento de diferentes tamaños de material.
- Sistema de control inteligente que permite la comunicación de hasta 8 máquinas operando en línea.

3.3.3.1 TRITURADORA DE QUIJADA

Esta máquina compacta auto-propulsada lleva las características revolucionarias de Extec[40] a la cantera más pequeña o lugar de demolición donde el espacio es limitado pero se requiere optimización de resultados. Su poder de manejo junto con el diseño único de la mandíbula la hace un ícono en esta categoría de machacadoras en las construcciones más fuertes.

Características de equipos comerciales:

- Gran poder y velocidad de machaqueo
- Mandíbula hidráulicamente controlada totalmente regulable
- De 25 a 50 % más de producción que su predecesor
- Reducción espectacular del tamaño del producto
- Acción invertida de machaqueo para suprimir obstáculos
- La facilidad de la rodada rápida despeja la máquina de barras enrevesadas que elimina el tiempo de espera predominante en machacadoras convencionales
- Toda la máquina se levanta hidráulicamente para facilitar la limpieza y revisión
- Se auto-propulsa en el sitio aunque se mueve por carretera sin transporte auxiliar



TRITURADORA DE QUIJADA

Componentes:

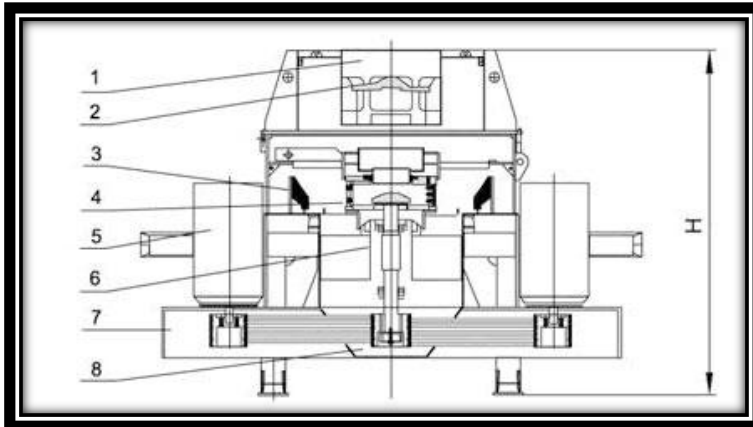
- 1) Panel.
- 2) Placa de quijada fija.
- 3) Placa de quijada móvil.
- 4) Quijada móvil.
- 5) Eje excéntrico.
- 6) Placa de articulación.
- 7) Asiento ajustable.

a)



b)

FIGURA 3-5. TRITURADORA DE QUIJADA. a) Esquema del equipo, b) imagen del equipo.



TRITURADORA GIRATORIA O DE IMPACTO

Componentes:

1) Abertura de alimentación.

2) Conicidad.

3) Placa de impacto.

4) Rotor.

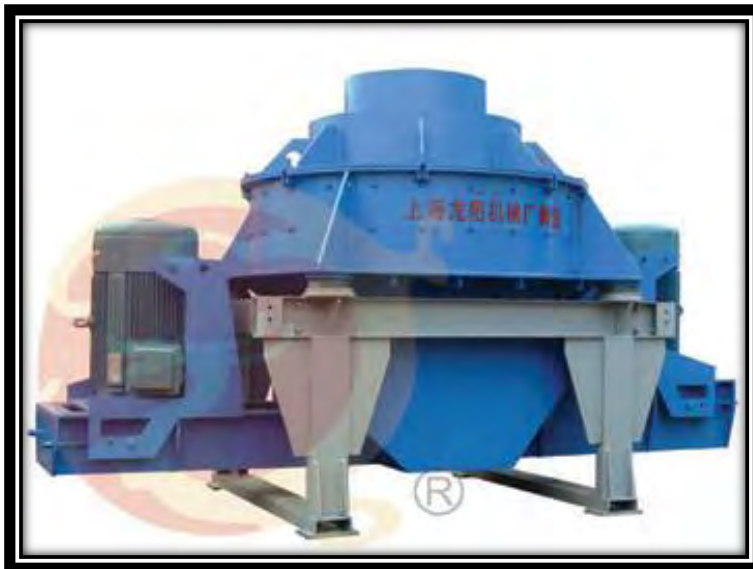
5) Motor.

6) Eje vertical.

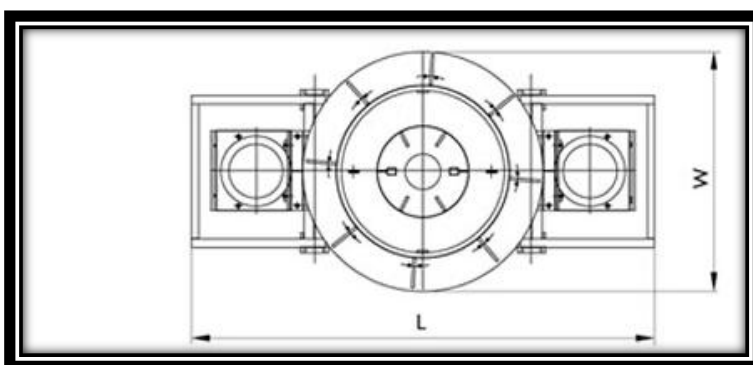
7) Máquina.

8) Abertura de descarga.

a)

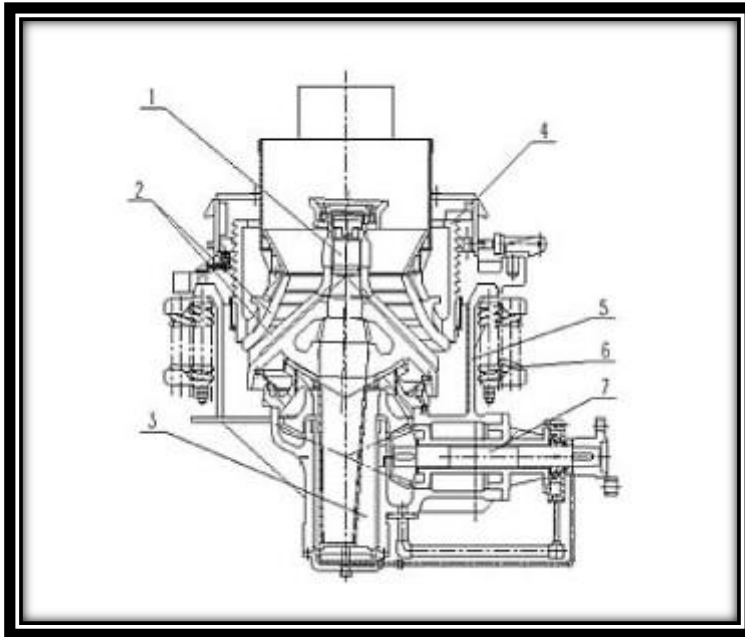


b)



c)

FIGURA 3-6. TRITURADORA GIRATORIA, a) Corte, b) Imagen del equipo, c) Vista en planta



TRITURADORA DE CONO

Componentes:

- 1) Eje principal.
- 2) Concave y Mantle.
- 3) Eje excéntrico.
- 4) Concave Holder.
- 5) Cuerpo principal.
- 6) Resorte.

a)

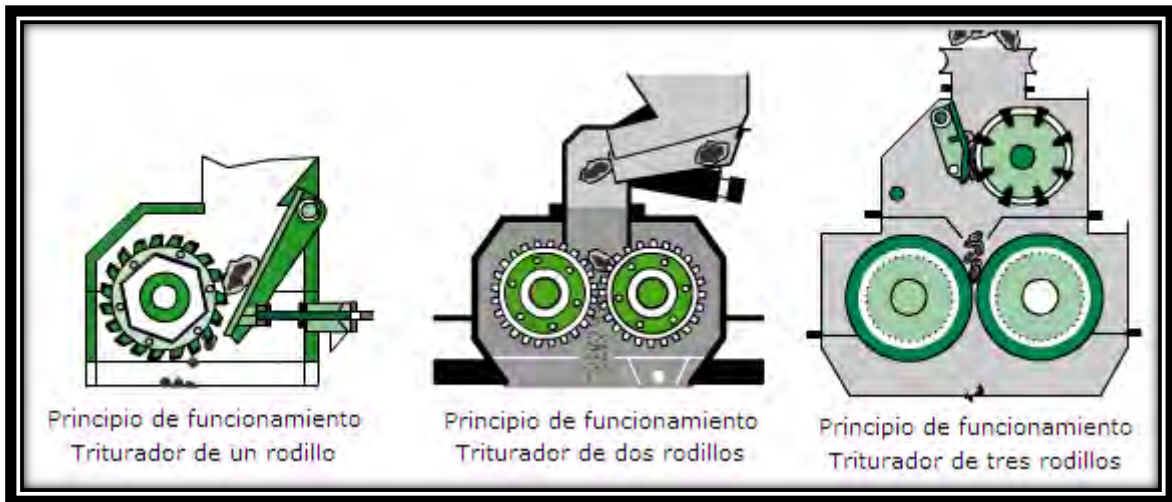
7) Árbol de transmisión.

8) Abertura de descarga.



b)

FIGURA 3-7. TRITURADORA DE CONO, a) Esquema del equipo, b) imagen del equipo.



a)



b)



c)



d)

FIGURA 3-8. TRITURADORA DE RODILLO, a) Funcionamiento de los distintos tipos, b) trituradora de rodillo sencillos, c) trituradora de rodillo doble, d) trituradora de triple rodillo.

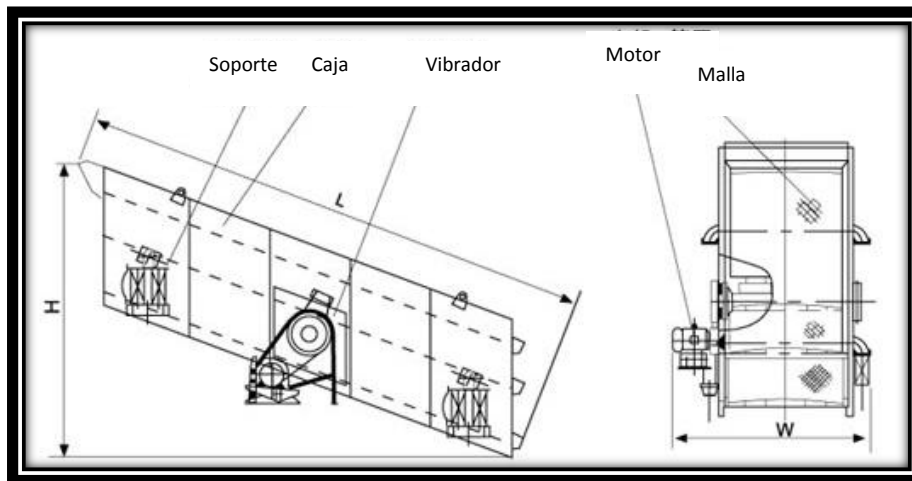


a)

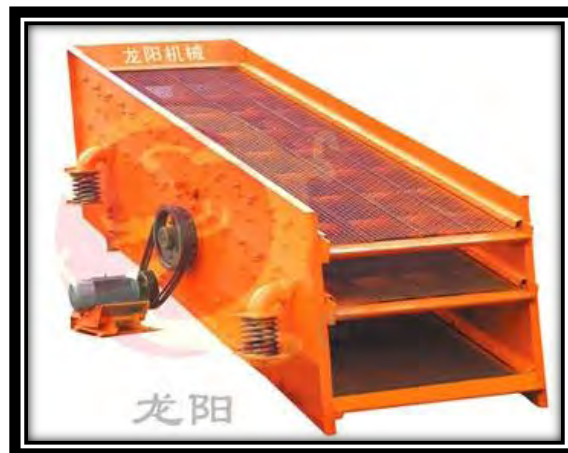


b)

FIGURA 3-9. TRITURADORA DE MARTILLO, a) Funcionamiento, b) trituradora de martillo.

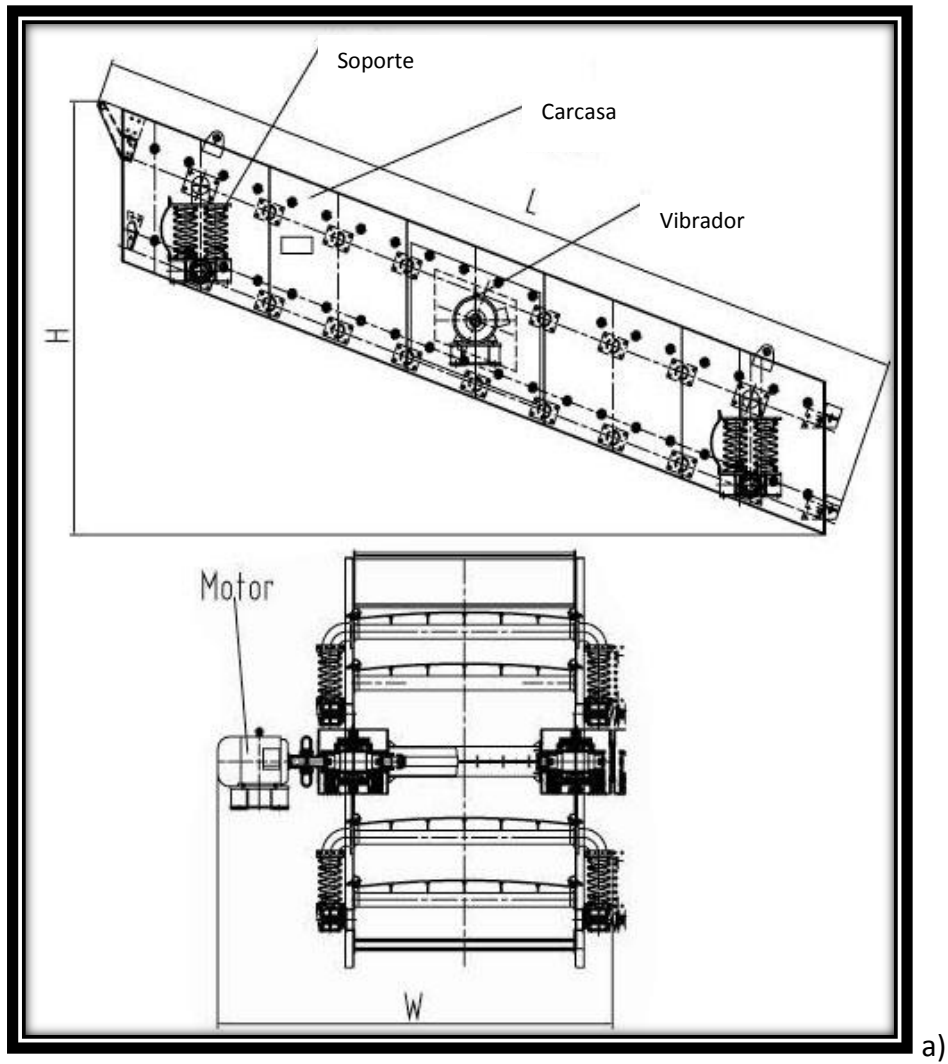


a)

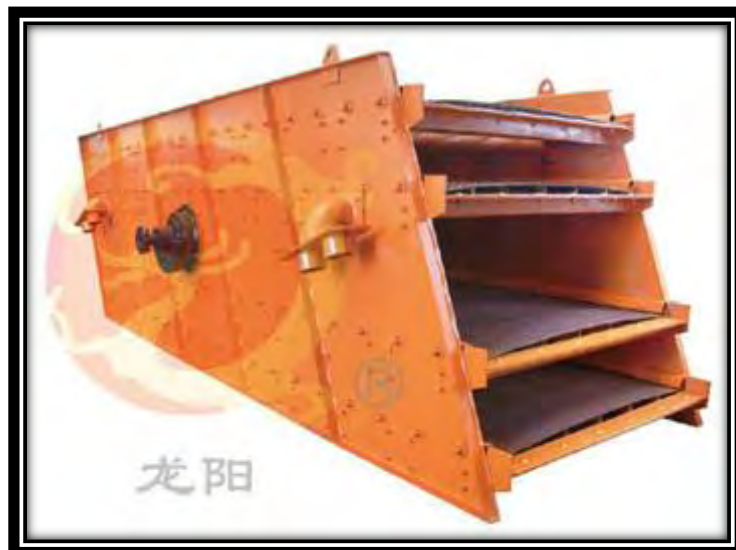


b)

FIGURA 3-10. CRIBA VIBRATORIA INCLINADA DE 3 PISOS, a) Esquema, b) imagen.

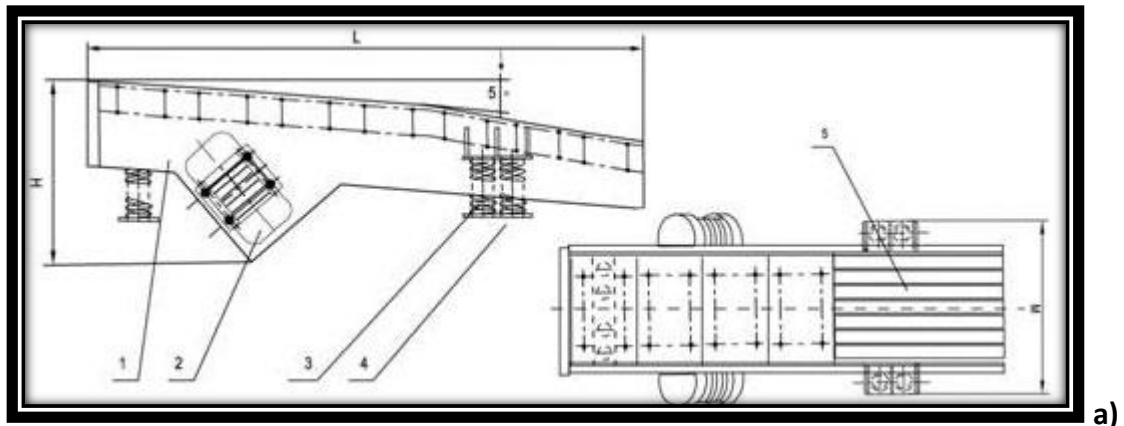


a)



b)

FIGURA 3-11. CRIBA VIBRATORIA HORIZONTAL DE 4 PISOS, a) Esquema, b) imagen.



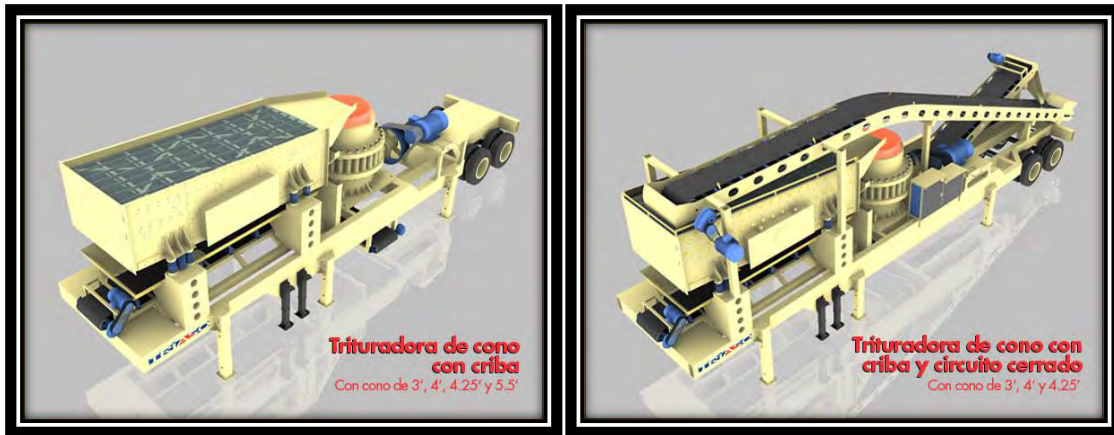
- 1) Máquina, 2) Motor vibratorio, excitador, 3) Resorte, 4) Base de resorte,
5) Barra de criba



FIGURA 3-12. ALIMENTADOR VIBRATORIO, a) Esquema, b) imagen.

EQUIPO MÓVIL

TRITURADORA DE CONO



a)

b)



c)

d)

FIGURA 3-13. Trituradoras de cono. a) Trituradora con criba, b) Trituradora con criba y circuito cerrado, c) Trituradora de cono con equipamiento integral, d) Trituradora de cono.

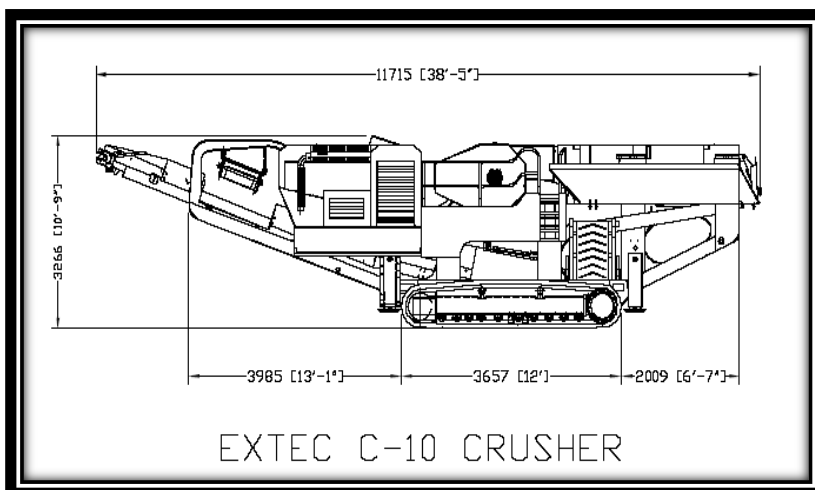
TRITURADORA DE QUIJADA



a)



b)



c)

FIGURA 3-15. Trituradoras de quijada. a) Trituradora de quijada, b) Trituradora de quijada, c) Esquema de un trituradora de de quijada.

3.3.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Cuando se vaya a seleccionar una trituradora primaria es muy importante prestar atención al tamaño del material que ha de alimentarse y la capacidad deseada. Como ya se ha visto, la eficiente explotación de una cantera exige una íntima correlación entre la trituradora primaria, la pala para la carga del material y el equipo de transporte de dicho material. Hay que tomar en cuenta que se obtienen buenas economías cuando se hacen voladuras que produzcan materiales del tamaño máximo que puedan moverse con la pala y los camiones, lo que nos indica que debe buscarse una trituradora con abertura receptora lo bastante grande como para que pueda aceptar grandes trozos de roca sin obstruirse.

En cualquier tipo de trituradora, la clase de material que ha de triturarse afectará su capacidad así como el método de alimentación. Una alimentación uniforme y bien regulada es importante para una máxima producción. Los factores tales como granulometría, dureza, densidad, tamaño y forma de material, así como el contenido de humedad del mismo, afectan el ritmo de producción de cada una de las trituradoras.

En general, la capacidad de la trituradora tipo a presión como lo son las de quijada y las giratorias, se determinan por la ubicación de la trituradora, lo que a su vez determina el área disponible para la descarga del material triturado.

La capacidad de las trituradoras de impacto se determina por la velocidad de los martillos, la ubicación de los rompedores o barras, de la fuerza aplicada y de la alimentación.²¹

La capacidad de la trituradora de rodillo simple depende de la distancia entre el rodillo y yunque y del tamaño del material alimentado.

Las máquinas primarias producen materiales en el rango de 1" a 3" de tamaño, las secundarias materiales en el rango de ½" a ¾" y las terciarias en el rango de ¼" a 3/8" de tamaño máximo, en términos generales.²²

²¹ CRESPO VILLALAZ, Carlos. Vías de Comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. Editorial, Limusa. México. 2007. PP. 416-417

Se ha visto, que en lo que respecta a la trituración primaria, el equipo seleccionado universalmente como el apropiado en todos los casos para integración de los grupos móviles camineros, lo constituyen las quebradoras de quijadas.

Por lo que respecta al equipo secundario y terciario, se puede resumir lo expresado anteriormente, en el cuadro siguiente:

TIPO DE TRITURADORA	ÍNDICE DE REDUCCIÓN	COEFICIENTE DE PRODUCTO	GRADO DE ABRASIVIDAD RECOMENDADO DE LA ROCA	CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA
RODILLOS	Bajo: 3 / 1	Bajo: Muchas lajas	Poco abrasiva	Normal
MARTILLOS E IMPACTO	Muy alto: 20 / 1	Muy bueno	No abrasiva	Muy alto
CONOS	Alto 10 / 1	Bueno	Todo tipo de rocas	Normal

Del examen de la tabla anterior, se deduce que el tipo de trituradora más versátil, capaz de triturar eficiente y económicamente todo tipo de rocas, cualidad indispensable para los grupos móviles caminero, por la diversidad de bancos en los cuales van a trabajar a todo lo largo de su vida útil, son las trituradoras de cono, que cuentan además con un elevado índice de reducción y dan productos con un buen coeficiente de forma teniendo consumos específicos de energía normales.

Por las razones anteriormente expuestas, y una vez roto el “tabú” de que las trituradoras de cono era máquinas de mecánica complicada y de operación y mantenimiento delicados y complejos, su uso se ha popularizado entre los constructores de caminos y autopistas, para integrar los grupos móviles de trituración secundaria y terciaria, en un principio en los tamaños de 36” y en la actualidad en los tamaños de 48” y 66”, de muy elevada capacidad, que si bien tienen mayores costos de adquisición, se compensa con creces este factor, por los bajos costos de producción que se obtienen y el poco tiempo en el que trituran los volúmenes asignados para cada banco.²³

²² BENITEZ ESPARZA, Pedro. Técnicas modernas de producción de agregados. UNAM. México. 1977. P.62

²³ *Ibíd.* pp.64-66

Para la instalación de plantas de agregados reciclados las recomendaciones anteriores son muy útiles, y la instalación en una zona fija permite establecer un acomodo del equipo que permita obtener eficiencias ideales.

3.4 PLANTA DE RECICLADO EN MÉXICO.

En la actualidad existe, en el Estado de México una planta cribadora que realiza el proceso de reciclado de residuos de la construcción para la fabricación de agregados pétreos.

Dicha planta se encuentra en el Cerro “Yehualique”, Delegación Iztapalapa, México, D.F. la cual transforma los desechos de la construcción en materiales reutilizables por medio de la utilización de tecnología de punta, como es el uso de máquinas de trituración y clasificación, computarizadas y robotizadas, equipadas con motores ecológicos, para reciclar los materiales pétreos.

Contamos con una superficie aproximada de 8 hectáreas para el desarrollo de esta actividad, además otra similar como área de amortiguamiento del impacto al medio ambiente que será acondicionada con áreas verdes y estanque para almacenamiento de agua pluvial utilizada en la actividad del reciclaje, así como caminos de acceso, estacionamiento vehicular, oficinas y talleres.

Entre los productos que la planta utiliza como materia prima están los siguientes: tabiques, ladrillos, concretos, cerámicos, arcillas, blocks, adocretos, mamposterías.

Obteniendo con ellos partículas que van desde 3” a finos con lo cual ofrece material para rellenos, filtros, pedraplenes.

CAPÍTULO CUARTO

4. FACTIBILIDAD DE PRODUCCIÓN.

4.1 CONCRETO RECICLADO.

4.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima capacidad de carga axial por unidad de área de un espécimen de concreto o de mortero, generalmente a la edad de 28 días. Usualmente se expresa en kilogramos sobre centímetro cuadrado (kg/cm^2) y se le designa con el símbolo $f'c$.

De los estudios realizados por Martínez Soto [32] a 115 especímenes elaborados para la compresión, los cuales se ensayaron a las edades de 7, 14 y 28 día, utilizando una velocidad de aplicación de carga de 25 ton/min, según lo especifica la norma ASTM C 39 [13].

TABLA No. 4.1 - Resistencias de todas las mezclas a diferentes edades de ensaye, porcentajes de resistencia normalizadas a los 28 días de edad.

Edad (días)	Relación	7	14	28	7	14	28
Mezcla	a/c	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)			Resistencia normalizada a 28 días (kg/cm^2)		
CN200	1.01	116.70	145.08	188.20	62%	77%	100%
CR200	1.30	103.52	140.48	185.53	56%	76%	100%
AN200	0.9	95.84	113.22	155.48	62%	73%	100%
AR200	1.28	116.72	153.31	182.76	64%	84%	100%
CN300	0.72	218.20	252.25	306.86	71%	82%	100%
CR300	0.85	209.97	266.99	300.73	70%	89%	100%
AN300	0.67	169.88	214.27	263.32	65%	81%	100%
AR300	0.85	225.21	294.85	331.36	68%	89%	100%
CN400	0.56	286.85	330.78	385.61	74%	86%	100%
CR400	0.68	256.43	281.63	360.36	71%	78%	100%
CRS400	0.53	N/A	N/A	355.35	N/A	N/A	100%
AN400	0.51	248.17	284.11	330.79	75%	86%	100%
AR400	0.61	279.17	342.73	414.76	67%	83%	100%
ARS400	0.51	N/A	N/A	402.84	N/A	N/A	100%

De lo anterior se puede resumir que para relaciones agua-cemento altas, mayores o iguales a 1, las resistencias alcanzadas tanto por los agregados reciclados como por los naturales tienden a ser muy semejantes o iguales.

Para todas las relaciones agua-cemento obtenidas en el trabajo de Martínez [32], las mezclas elaboradas con agregados reciclados obtuvieron resistencias mayores; para los concretos de andesitas esta diferencia fue notable debido a la mejor calidad del agregado natural que contenía el concreto que se recicló para fabricar los agregados.

4.1.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD.

El módulo de elasticidad (E) definido como la relación entre el esfuerzo y la deformación correspondiente a esfuerzos normales de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material, depende de factores tales como la resistencia a la compresión y el tipo de agregado.

TABLA No. 4.2 - Módulos de elasticidad promedios de todas las mezclas.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	Relación	Resistencia a la compresión 28d (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (E)x10 ³ (Kg/cm ²)	(fc) ^{1/2} x 14000 (calizas) (E)x10 ³ (Kg/cm ²)	(fc) ^{1/2} x 8000 (andesitas) (E)x10 ³ (Kg/cm ²)	Factor de E Elab/(f'c) ^{1/2}
Mezcla	a/c					
CN200	1.01	188.20	227.00	192.00		16547
CN300	0.72	306.86	263.00	245.00		15014
CN400	0.56	385.61	264.00	275.00		13444
AN200	0.9	155.48	122.00		88	9784
AN300	0.67	263.32	137.00		94	8443
AN400	0.51	330.79	144.00		96	7917
CR200	1.3	185.53	170.00	191.00		12481
CR300	0.85	300.73	214.00	243.00		12340
CR400	0.68	360.36	188.00	266.00		9904
AR200	1.28	182.76	177.00		106	12481
AR300	0.85	331.36	198.00		113	12340
AR400	0.61	414.76	201.00		113	9904

En la columna (5) y (6) de la tabla --, se encuentran los módulos de elasticidad estimados a partir de la resistencia a la compresión obtenida a la edad de 28 días para calizas y andesitas, respectivamente, especificado en el reglamento del D.F. []. En la columna (7) se presenta el factor para estimar el módulo de elasticidad de los

concretos con sus respectivos agregados utilizados, a partir de los resultados que obtuvieron de los experimentos en el laboratorio.

Martínez Soto [32] observó que en las mezclas elaboradas tanto con agregado natural como con agregado reciclado, tuvieron valores de módulo de elasticidad mayor a los estimados. Las mezclas con andesita natural obtuvieron valores menores que las elaboradas con agregados reciclados, pero esto se debe a lo comentado anteriormente, sobre la calidad del agregado natural que conforma el agregado reciclado debido a la época de extracción.

Por otra parte, las mezclas que se elaboraron con caliza reciclada presentaron valores de módulos bajos respecto de las elaboradas con caliza natural, conservando entre ellas la misma tendencia que se ha observado en todas las propiedades.

4.2 CAMINOS Y CARRETERAS.

Se han encontrado estudios de proyectos realizados por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos de desarrollos en el reciclado de concreto RILEM[26].

Dichos proyectos incluyen carreteras y aeropuertos. Con el uso de concreto reciclado en sub-bases, sub-bases y bases cementadas y pavimentos de concreto.

En Love Field, Dallas, Texas, una nueva carpeta fue colocada sobre 15 cms de base cementada en 1964. La mezcla utilizada fue de 72% de concreto triturado proveniente de un viejo pavimento del sitio de la nueva carpeta, 28% de arena natural y 4% de cemento.

El primer uso exitoso de agregado reciclado para la producción de nuevo concreto fue en Iowa en 1976. Un pavimento de concreto de 41 años fue triturado y usado como agregado en la producción de concreto para la construcción de pavimento hidráulico en una carretera de una milla de largo y 22.5 cm de espesor.

4.3 APLICACIONES DE LOS AGREGADOS RECICLADOS.

4.3.1 PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.

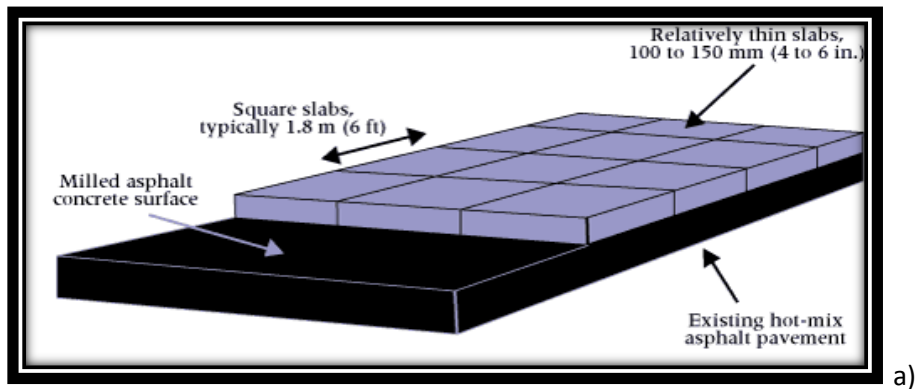


FIGURA 4-1. PAVIMENTO WHITETOPPING. a) Esquema de pavimentación con whitetopping. b) Whitetopping sobre pavimento viejo.

4.3.1 PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO.



FIGURA 4-2. PAVIMENTO ASFÁLTICO.

CAPÍTULO QUINTO

5. CONCLUSIONES.

En el presente trabajo se estudiaron los criterios existentes para la producción de agregados reciclados para la construcción, tomando en cuenta el análisis de los distintos tipos de maquinaria, equipo y especificaciones vigentes en la actualidad. De lo cual es posible concluir lo siguiente:

5.1 La producción de agregados reciclados para la construcción es una práctica nueva en México, sin embargo, esto no implica que no haya sido probada en otros países, en los cuales hace ya un par de décadas se reciclan los residuos de la construcción, en particular el concreto, para la obtención de agregados pétreos reciclados para caminos, carreteras e incluso concreto nuevo.

5.2 El equipo utilizado en las plantas para producción de agregados reciclados no es muy distinto al de las plantas de producción de agregados naturales. Lo cual facilita la selección de los mismos y evita tener que recurrir a equipos especializados, pudiéndose emplear equipo convencional con tan solo realizar ciertas modificaciones en el proceso de producción.

5.3 Las plantas de primera generación o convencionales pueden ser utilizados para la producción de agregados reciclados provenientes de concreto simple, ya que con ellas no es posible separar los remantes de acero que puede tener el concreto estructural. Este tipo de plantas resulta ideal para el procesamiento de concreto de pavimentos hidráulicos.

5.4 Las plantas de segunda generación otorgan la ventaja de poder procesar todo tipo de residuos de la construcción ya que cuenta con los sistemas de limpieza y retiro de productos contaminantes tales como, madera, plástico, cartón y acero.

5.5 Al tener un plan de demolición de estructuras o edificaciones adecuado se pueden obtener residuos más limpios y manejables reduciendo con esto los tiempos en los procesos de selección y separación.

5.6 Un mayor escrutinio a la hora de realizar la separación de los residuos de la construcción tiende a aumentar la eficiencia de operación de las plantas de producción de agregados reciclados.

5.7 La selección de los equipos de trituración para una planta de producción de agregados va a depender mucho de los resultados que se deseen obtener. Ya que el diseño del concreto requiere agregados de características distintas a los que se necesitan en la construcción de una carretera.

5.8 El llevar a cabo un buen control de forma de las partículas de agregados reciclados influye de manera determinante en la calidad de los productos que con ellos se fabriquen.

5.9 Una buena disposición de los equipos dentro de la planta de producción dará mejores resultados y trabajar menos los agregados para obtener los tamaños requeridos.

5.10 Una buena logística de almacenamiento de los agregados reciclados producidos facilita la conservación de la calidad de los mismos y su disposición final.

5.11 Numerosos experimentos de laboratorio, pruebas de campo, y rehabilitaciones completas de pavimentos han demostrado que es posible producir agregados para terracerías, pavimentos, sistemas de drenaje, bases, asfaltos y concretos.

Al igual que generar concretos estructurales con agregados reciclados resulta técnicamente posible tomando en cuenta las consideraciones de diseño y proporcionamiento de mezclas pertinentes.

5.12 Al operar plantas de producción de agregados estas tienden a producir ruido y polvo. Es por ello que al instalar una planta de producción de agregados se debe tener cuidado para satisfacer las regulaciones existentes, sin dejar de lado la importancia de la fabricación de agregados de calidad. Existen equipo que reducen la emisión de polvo que pueden operar de manera satisfactoria.

5.13 Al fabricar agregados reciclados por cada metro cubico de agregado reciclado producido es un metro cubico menos de material natural explotado de una cantera o extraído de la margen de un río. Y a su vez se reduce el porcentaje de residuo de la construcción que va a parar a los rellenos sanitarios o zonas de disposición de desechos.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- (1) BENITEZ ESPARZA, Pedro. Técnicas modernas de producción de agregados. UNAM. 2da Edición. México. 1977.
- (2) CRESPO VILLALAZ, Carlos. Vías de Comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. Editorial, Limusa. 4ta Edición. México. 2007.
- (3) HANSEN, T.C. Recycling of demolished concrete and masonry. Editorial, E&FN SPON. 1ra Edición. Gran Bretaña. 1996.
- (4) KOSMATKA STEVEN H., Panarese William C. Diseño y control de mezclas de concreto. Editorial. IMCyC. 1ra Ed. 1999. México.
- (5) RUIZ VÁZQUEZ, Mariano, Silvia Gonzalez. Geología aplicada a la ingeniería civil. Editorial, Limusa. 1ar Edición. México. 2007.
- (6) RICO RODRIGUEZ, Alfonso, Hermilo del Castillo. La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Vol. 2. Editorial, Limusa. 1ra Edición. México. 2006.
- (7) STAFF-PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Proyecto y control de mezclas de concreto. Ed. LIMUSA. 1ra Edición. México.

Normas:

- (8) ONNCCE. Agregados para concreto hidráulico - especificaciones y métodos de prueba. NMC-C-111-ONNCCE 2004. 2da Edición. México.
- (9) ONNCCE. Agregados para concreto hidráulico - análisis granulométrico - métodos de prueba. NMC-C-111-ONNCCE 2004. 2da Edición. México.
- (10) IMCYC. Guía para uso de agregados. ACI 221.R01. México.
- (11) SCT. Calidad de los agregados pétreos. Manual Normativo Libro CMT. México.
- (12) SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE D.F. Norma ambiental para el Distrito Federal. NAFT-007-RNAT-2004. México. 2006.
- (13) ASTM. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. ASTM C 39. Estados Unidos.

Referencias Hemerográficas:

- (14) STAMATIA A. Frodistou-Yannas y Taichi Itoh, Economic Feasibility of Concrete Recycling. Journal of structural division. Vol. 103, April 1977, pp. 885-899.
- (15) NIXON, P.J. (1978), Recycled concrete as an aggregate for concrete-a review. RILEM TC-37-DRC. Material and Structures (RILEM), 65, (1977), pp. 371-378.
- (16) SAGOE-CRENTSIL, K.K., BROWN, T., TAYLOR, A.H. (2001). Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. Cement and Concrete Research. Vol. 31. Pp. 707-712.
- (17) KATZ, Amnon, (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. Cement and Concrete Research. Vol. 33. Pp. 703-711.
- (18) José M.V. Gómez- Soberón. Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate; An experimental study. Cement and Concrete Research. Vol. 33. (2002). Pp. 1301-1311.
- (19) How-Ji Chen, Tsong Yen, Kuan-Hung Chen (2003). Use of building rubbles as recycled aggregate. Cement and Concrete Research. Vol. 33. (2003). Pp. 125-132.
- (20) Rashwan, M., Aourizk, S. (1997). Factors affecting properties of concrete made with reclaimed material in ready mix plants. ACE Concrete International, Vol. 10 No.7. pp. 56-60.
- (21) Rashwan, M., Aourizk, S. (1997). The properties of recycled concrete. ACE Concrete International, Vol. 19 No.7. pp. 56-60.
- (22) Abdol R. Chini, Shiou-San Kuo, Jamshid M. Armaghani, James P. Duxbury, (2001). Test of recycled concrete aggregate in accelerated test track. Journal of Transportation Engineering, Vol. 127, No. 6. November/December. Pp. 720-727.
- (23) Luc Taerwe, Peter De Pauw, Jan Desmyter (1999). Concrete with recycled materials as coarse aggregates: Shrinkage and creep behavior. Materials and Construction: Exploring the Connection. Proceeding of the Fifth ASCE Materials Engineering Congress held in Cincinnati, Ohio, May 10-12, 1999. Pp 720-727.
- (24) Abdol R. Chini, Shiou-San Kuo, Jamshid M. Armaghani, James P. Duxbury, (1999). Testing and evaluation of recycled concrete aggregate (ACR) as mixture and base material. Materials and Construction: Exploring the Connection. Proceeding of the Fifth ASCE Materials Engineering Congress held in Cincinnati, Ohio, May 10-12, 1999. Pp 704-711.

- (25) A. Nataatmadja and Y.L. Tan (2001). Resilient response of recycled concrete road ggregated. Journal of Transportation Engineering. Vol. 127, No. 5, September/October 2001, pp. 450-453.
- (26) RILEM 121-DRG. Specification for concrete with recycled aggregates. Materials and Structures 27 (173) (1994), pp. 557-559.
- (27) J. Vyncke, E. Rousseau. Recycling of construction and waste in Belgium: actual situation and future evolution. In: E.K. Lauritzen (Ed.), Demolition and reuse of concrete and masonry, Guidelines for Demolition and Reuse of Concrete and Masory, E&FN SPON, Denmark, 1993, pp. 57-69.
- (28) J. Kasai, Y. Kasai, Guidelines and the present state of the suse of demolished concrete in Japan. In: E.K. Lauritzen (Ed.), Demolition and reuse of concrete and masonry, Guidelines for Demolition and Reuse of Concrete and Masory, E&FN SPON, Denmark, 1993, pp. 93-104.
- (29) C.F. Hendriks, Certification system for aggregates produced from building waste and demolished buildings. In: J.J.J.M. Goumans, H.A. Van Der Sloot, T.G. Aalbers(Eds.). Enviromental Aspects of Construction with Wase Materials, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1994, pp. 821-843.
- (30) J. Bjorn.Jakobse, M. elle, E.K. Lauritzen. On site use of regenerated demolition debris. In: Y. Kasai (Ed.), Demolition and Reuse Of Concrete and Masonry, Reuse of Demolition Waste, VOI 2, E&FN SPON, London, 1988, pp. 537-546.
- (31) Periódico Reforma, Ciudad y Metrópoli, sección Hábitat. México, D.F. p. 4B, fecha: 19 de septiembre 2008
- (32) Hincapie-Henao Ángela María, Aguja-López Elisa Andréa. Evaluación experimental del mortero de pega elaborado con agregado reciclado. E-Mat – Revista de Ciencia y Tecnología de Materiales de Construcción Civil. Vol. 1, No. 1, pp. 33-46, Medellín, Colombia, Mayo 2004.

Tesis:

- (33) MARTÍNEZ SOTO, Iris. Reciclaje de concreto premezclado para la fabricación de agregados. Director: Juan Luis Cottier Caviedes. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México D.F. 2005.

Páginas de internet:

- (34) Henan Liming Road & Bridge Heavy Industry Co., Ltd. Dirección: <http://www.break-day.com/es/products.asp?id=1&gclid=Ci3f-vtjZUCFQllsgodTUqHfg>. Fecha de consulta: 15 de Noviembre 2008.

- (35) Concret Reclamation Project. Dirección: <http://irc.construction.ualberta.ca/html/research/concretereclamation.html>. Fecha de consulta: 18 de Octubre 2008.
- (36) Triaso Trituradoras. Dirección: <http://www.triaso.com.mx/site/trituradoras.htm>. Fecha de consulta: 22 de Noviembre 2008.
- (37) Fábrica de maquinarias Longyang, Shanghai. Dirección: <http://www.chinacrusher.es/index.html>. Fecha de consulta: 25 de Noviembre 2008.
- (38) Sandvik. Dirección: <http://www.aubema.cn/es/index.php>. Fecha de consulta: 25 de Noviembre 2008.
- (39) Voladuras y Demoliciones. Dirección: <http://www.voladurasydemoliciones.com/reciclaje.htm>. Fecha de consulta: 14 de Noviembre 2008.
- (40) ECT MAQUINARIAS C.A. Dirección: <http://www.ect-maquinarias.com>. Fecha de consulta: 30 de Noviembre 2008.

Artículos:

- (41) COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO FABRICADO CON AGREGADOS RECICLADOS, Martínez Soto, Mendoza Escobedo, Ingeniería, investigación y tecnología, 2006, Vol. VII, No. 3; p. 151.876