

Análisis de la relación de ensayos de fragmentación dinámica de los agregados pétreos con yacimientos de la región.

1.1 INTRODUCCIÓN

Desgaste de los Ángeles

La Norma ASTM G40-92 define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella.

EL objetivo del ensayo es el de determinar la dureza de los materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas, carpetas por riegos, riegos de sello, material de balasto, etc. Este ensayo es para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de las partículas, etc.

Se determinan mediante la tabla el número de esferas que forman la carga abrasiva, tomando en cuenta el tipo de la muestra de prueba seleccionado.

A continuación se coloca dentro del cilindro de la máquina de los Ángeles la muestra de prueba con peso W_i determinado y con la carga abrasiva correspondiente; se instala su cubierta y se cierra esta herméticamente.

Se hace funcionar la máquina para que gire a una velocidad uniforme de 30 a 33 rev/min, hasta completar 500 revoluciones en el caso de muestras de los tipos A, B, C y D, y de 1000 revoluciones para los de tipo E, F y G.

A continuación se saca la muestra del cilindro, se vacía en una charola y se criba por la malla No. 12; se pesa la fracción retenida en dicha malla y se registra su peso como W_f en grs.

El porcentaje de desgaste del agregado pétreo se calcula por medio de:

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100$$

Dónde:

D = Desgaste del material pétreo, en %.

W_i = Peso inicial de la muestra de prueba, en gr.

W_f = P eso final de la muestra de prueba, en gr.

Fragmentación Dinámica

El ensayo de Fragmentación Dinámica (FD), Al igual que el Desgaste Los Ángeles (LA), mide fundamentalmente la resistencia a la fragmentación de los áridos. Es de origen francés, y actualmente es norma europea. El equipo utilizado en el ensayo es menos costoso que los otros métodos de medición de la resistencia de los agregados a la fragmentación (ensayos Los Ángeles, Schlagversuch, etc.). En Argentina se encuentra normalizado como norma IRAM 1556 desde el año 1991. Dada su simplicidad, este ensayo se utiliza en plantas de producción, en estudio de canteras y yacimientos “in situ” para verificar la calidad de los agregados.

El ensayo se realiza sobre una muestra de 350 gramos, previamente colocada dentro del molde cilíndrico, de la fracción de ensayo elegida. La Norma IRAM tiene tres fracciones de ensayo, al igual que la Norma Francesa NF P 18-574. Se procede luego a dar una determinada cantidad de golpes con el martillo de 14 kg de masa, de acuerdo a la fracción elegida. En la tabla de la Figura 2 se encuentran indicados las granulometrías de ensayo y el número de golpes indicado para cada una. Por último se tamizan los agregados sobre tamiz 1,6 mm. El resultado del ensayo, el valor FD, es la cantidad de material que pasa dicho tamiz, expresada en porcentaje en masa de la muestra de ensayo se la calcula:

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100$$

Dónde:

D = Desgaste del material pétreo, en %.

Wi = Peso inicial de la muestra de prueba, en gr.

Wf = P eso final de la muestra de prueba, en

En Bolivia, el análisis de la aptitud de los agregados pétreos para formar parte de las mezclas asfálticas, se realiza mediante ensayos de caracterización. Entre estos se encuentran los ensayos de caracterización mecánica, como ser ensayo de Desgaste de Los Ángeles.

En algunos países, en particular de la Unión Europea, se utiliza también otro ensayo para la caracterización mecánica, la Fragmentación Dinámica por impacto, de origen francés. Este ensayo es sencillo y práctico de realizar, ya que requiere poca cantidad de material, un tiempo breve de ejecución y es fácilmente transportable.

En base a un gran número de ensayos realizados por distintos autores con los dos métodos de fragmentación citados: Los Ángeles y Fragmentación Dinámica, se ha arribado a que existe una buena correlación entre los mismos.

En el presente trabajo se analizará la relación existente entre ambas resistencias en base a los resultados obtenidos en agregados pétreos de distinta mineralogía. Se valorará además la posibilidad de la utilización del ensayo de Fragmentación por Impacto en obra y su inclusión en las especificaciones como ensayo alternativo al ensayo Los Ángeles.

En Bolivia, siempre han sido utilizados como parámetro de la resistencia de los agregados pétreos los resultados del ensayo Los Ángeles, el que se encuentra ampliamente difundido y acerca del cual se ha creado una vasta experiencia.

En la actualidad se conoce que dicha valoración, por sí sola, es insuficiente, y que es necesario complementar la valoración de la resistencia mecánica de los agregados con otros ensayos de laboratorio, como son: Micro Deval y Coeficiente de Pulimento Acelerado, si es que el agregado formará parte de la carpeta de rodamiento.

El ensayo de Fragmentación Dinámica (FD), Al igual que el Desgaste Los Ángeles (LA), mide fundamentalmente la resistencia a la fragmentación de los áridos. Es de origen francés, y actualmente es norma europea. El equipo utilizado en el ensayo es menos costoso que los otros métodos de medición de la resistencia de los agregados a la fragmentación (ensayos Los Ángeles, Schlagversuch, etc.).

En trabajos parecidos se muestra que los resultados de FD son independientes de la fracción granulo métrica ensayada, concluyendo que la variación en el número de golpes con que se ensaya cada fracción compensa la diferencia que podría obtenerse en los resultados si se ensayaran todos de igual manera.

En el presente trabajo se analizará la relación existente a través de una ecuación empírica entre ambas resistencias en base a los resultados obtenidos en agregados pétreos de distintos Lugares. Se valorará además la posibilidad de la utilización del ensayo de Fragmentación por Impacto en obra y su inclusión en las especificaciones como ensayo alternativo al ensayo Los Ángeles.

La presente investigación será realizada netamente para fines de uso científico para aplicarlo con finalidad de investigación además de valorar la posibilidad de incluirlo como ensayo alternativo al ensayo de los ángeles.

1.2 JUSTIFICACION

En Bolivia según normas para la caracterización del agregado como ser su resistencia siempre se tiene como parámetro el desgaste del agregado por la máquina de los Ángeles.

En la actualidad se conoce que dicha valoración, por si sola, es insuficiente, y que es necesario complementar la valoración de resistencia mecánica de los agregados con otros ensayos de laboratorio. Pudiéndose dar el caso de que puede existir una serie de métodos para determinar las características de los agregados por medios de fragmentación.

Con la siguiente investigación se pretende dar a conocer en base a un gran número de ensayos que se realizaran durante el transcurso de la siguiente investigación, la relación a través de una ecuación empírica que existe entre los diferentes métodos de fragmentación, que de igual manera servirían para el uso en pavimentos.

Lo que se pretende resolver en la presente investigación es el de afirmar o verificar a través del análisis de la fragmentación de los agregados si es que existe la relación entre un método y otro, para poderlo utilizar en mezclas asfálticas.

Lo que se pretende obtener a través de la siguiente investigación es el de analizar la relación existente entre ambas resistencias en base a la muestras de agregados pétreos de distinta mineralogía. Se valorara además la posibilidad de la utilización del ensayo de fragmentación por impacto en obra y su inclusión en las especificaciones como ensayo alternativo a otros ensayos.

Además con los resultados obtenidos en la práctica nos servirán como base para la comparación de materiales de distinta mineralogía, y poder comparar el comportamiento entre los métodos de fragmentación dinámica y desgaste de los ángeles. Para así poder ser de utilidad en mezclas asfálticas.

De igual manera se pretende aprovechar la mayor cantidad de equipo disponible en laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en relación a algunas empresas, instituciones y centros que también tienen la capacidad de realizar dichos estudios o investigación pero con resultados más pobres e incompletos en lo que se refiere a caracterización de los materiales en estudio.

Una vez obtenidos los resultados, este estudio nos servirá para verificar la relación entre la fragmentación dinámica y el desgaste de los ángeles, entonces se podrá optar como parámetro muy importante el ensayo de fragmentación dinámica en la obra o en canteras que no tengan la máquina de los ángeles ya que para la realización del ensayo de fragmentación dinámica se requiere de un equipo muy fácil de conseguir. Dada su simplicidad, este ensayo se puede utilizar en plantas de producción, en estudio de canteras y yacimientos “in situ” para verificar la calidad de los agregados.

1.3 PROBLEMA

En nuestra región se tiene como parámetro de resistencia de los agregados pétreos el resultado del Desgaste por abrasión que se realiza con la máquina de los ángeles.

¿Se puede establecer una relación entre los resultados de Fragmentación Dinámica con los resultados de los ensayos de desgaste de los Ángeles?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general:

Realizar una comparación de resultados entre los ensayos de Fragmentación Dinámica y el ensayo de desgaste de los Ángeles, mediante un análisis de relación estadística de tal manera se pueda obtener una ecuación representativa de fácil aplicación en los trabajos de ingeniería.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Analizar la fundamentación teórica conceptual sobre la fragmentación y desgaste de los materiales.
- Realizar un muestreo representativo de los materiales con el propósito de investigar el desgaste y la fragmentación de materiales.

- Realizar varios ensayos con una cantidad de muestras de diferentes orígenes en la región y analizar sus resultados.
- Establecer una relación en base a una ecuación entre los resultados del ensayo de Los Ángeles (LA) y el ensayo de Fragmentación Dinámica (FD).
- Valorar la posibilidad de la utilización del ensayo de Fragmentación por Impacto en obra y su inclusión en las especificaciones como ensayo alternativo al ensayo Los Ángeles.
- Identificar la alternativa que brindara mayor eficiencia en la identificación de la resistencia característica de los agregados a partir del desgaste y la fragmentación.
- Establecer conclusiones de la investigación y recomendaciones sobre la aplicabilidad de la Fragmentación Dinámica y su correlación con el desgaste de los ángeles.

1.5 ALCANCE

El alcance **general** de la presente investigación tiene como objetivo establecer un área de estudio para extraer la mayor cantidad de muestras y poder realizar varios ensayos de Desgaste de los Ángeles como también así realizar varios ensayos de Fragmentación Dinámica para poder determinar un relación expresada en una ecuación.

Determinada la ecuación representativa de la relación entre Desgaste de los Ángeles y Fragmentación Dinámica poderla utilizar en trabajos de ingeniería para determinar resistencia de los agregados pétreos.

La ecuación no se limita a ser usada en la zona de estudio pudiéndose dar el caso de ser utilizado en toda la región si es que lo agregados presentaran características similares con las que se realizaron la presente investigación.

Inicialmente se abarca los aspectos generales del proyecto, se dan a conocer todos los objetivos del proyecto tanto general como específicos, la problemática a resolver, además de un conjunto de razones que justifican el tema por la cual se debe realizar la investigación, y dando a conocer las herramientas que se van a utilizar a lo largo de la investigación.

Posteriormente se dan a conocer las definiciones generales y la aplicación de los agregados pétreos en mezclas asfálticas, dando a conocer las normas que se deben cumplir los agregados gruesos para su utilización en mezclas asfálticas además de conocer la calidad de los materiales a utilizar, también nos da a conocer los métodos a ser utilizados (**Desgaste de los agregados en la máquina de los Ángeles y fragmentación dinámica de agregados**).

La aplicación práctica contiene la selección del área de estudio, tomando en cuenta los yacimientos existentes de nuestra región. En este capítulo nos indicara la ubicación específica de la toma de muestras de material para su posterior análisis con la Maquina de los Ángeles y la Fragmentación Dinámica.

Además se describen todos los procedimientos de la investigación, la comparación con ambos métodos, la correlación existente entre los métodos. Además con los resultados obtenidos se procederá a realizar el análisis de los diferentes materiales.

Además se valorara la posibilidad de aplicar ambos métodos comparativos en algunos bancos de préstamos de agregados de nuestra región para verificar la aplicabilidad del método de fragmentación dinámica como un método novedoso en la región.

Finalmente se presentaran las conclusiones, donde a conocer los resultados obtenidos y su previo análisis llegando así a la conclusión de la aplicabilidad o no del método de fragmentación Dinámica. Además se conocerán la resistencia característica de los diferentes agregados de la región, y verificar su calidad como material parte de las mezclas asfálticas.

También se establecen las recomendaciones necesarias para realizar dichas prácticas de laboratorio tanto del uso de la máquina de los Ángeles como de la fragmentación dinámica de los agregados. Además se adjuntaran los anexos contenidos tablas utilizadas, fotografías de cada tipo de agregado y sus características y la correlación existente entre ambos métodos.

1.6.- ELEMENTOS DE APOYO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la presente investigación se plantea a continuación: los aspectos metodológicos, bibliografía preliminar consultada y disponible y el cronograma de actividades.

En el siguiente diagrama de flujo se establecen las tres etapas y diez actividades que se plantean para el desarrollo de la propuesta:

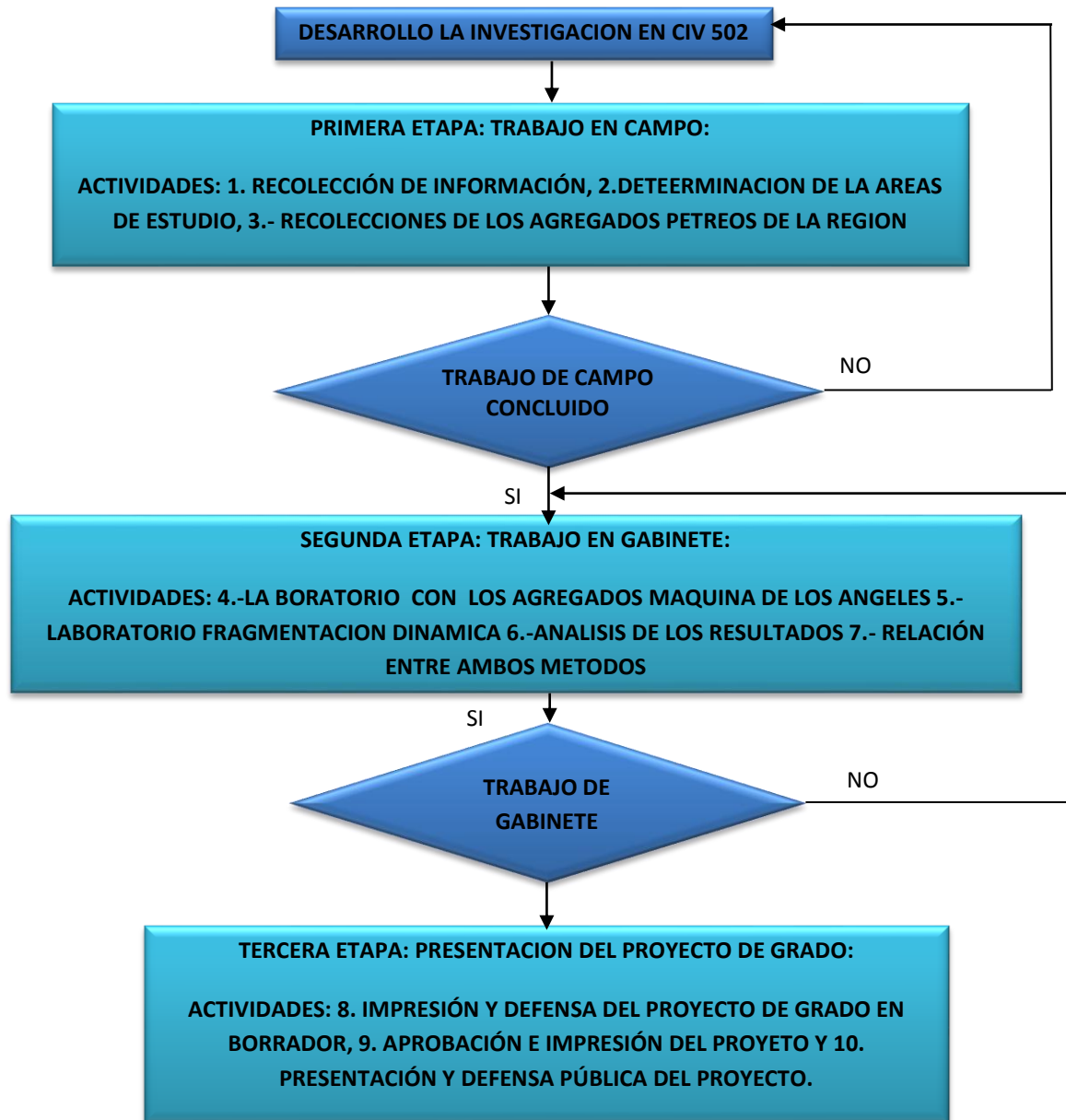


Figura 1 Elaboración Propia

Una vez recolectada la información teórica de los tipos de agregados con sus definiciones, orígenes y usos, se procede a la recopilación de los tipos de agregados según su mineralogía y según se encuentren en nuestra región.

Luego se procede a realizar los ensayos en laboratorio correspondientes de cada método, es decir ensayo de laboratorio de los agregados con la máquina de los ángeles, y ensayo de agregados de fragmentación dinámica

Una vez obtenidos los resultados de cada ensayo se procede a su respectivo análisis tanto individual de cada método, como también un análisis en conjunto entre ambos métodos.

Una vez comparados ambos métodos se procede a sacar conclusiones de si es que el método de fragmentación dinámica es o no aplicable en nuestro medio como alternativa paralela para determinar resistencia de los agregados para su posterior uso en mezclas asfáltica.

2.1. Agregados Pétreos

2.1.1. Definición agregados pétreos

Se llama roca a un agregado natural, que está formado por uno o más minerales asociados químicamente e impurezas en cantidades variables. Sus dimensiones son considerables y no tienen una forma determinada. Su composición y estructura no son fijas. Son las típicas “piedras” que todo el mundo conoce. La roca es heterogénea y puede ser simple o compuesta.

En la Naturaleza se encuentran formando masas de donde se extraen en explotaciones denominadas canteras. Al ser la Litosfera la capa más superficial del planeta, de ella se obtienen las rocas destinadas a construcción, estando formadas básicamente por silicatos de aluminio, aunque también existen otra serie de compuestos que dan lugar a una gran variedad de rocas en cuanto a composición y características.

Las rocas en la construcción se pueden utilizar como:

- 1.- Elemento resistente.
- 2.- Elemento decorativo.
- 3.-Materia prima para la fabricación de otros materiales (hormigón, cerámicos, mezclas asfálticas, etc.)

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos. (Smith M. R. and L. Collins, 1994).

2.1.2. Tipo de agregados pétreos

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a) Agregados Naturales.

Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.

b) Agregados de Trituración.

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

c) Agregados Artificiales.

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

d) Agregados Marginales.

Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

2.1.3. Propiedades de los agregados pétreos

Las propiedades de los agregados se pueden concepcionar bajo dos puntos de vista: uno como elementos aislados, o individuales, y otro como conjunto.

2.1.3.1. Propiedades individuales

Los agregados como elementos aislados tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad,

permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc. Asimismo presentan unas propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.

2.1.3.2. Propiedades en conjunto

Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como un todo. La distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado.

2.1.4. Naturaleza petrológica de los agregados pétreos

Desde un punto de vista práctico, los agregados se pueden clasificar en tres grandes grupos: agregados calizos, agregados silíceos y agregados ígneos y metamórficos.

Agregados Calizos.

La roca caliza es muy común, abundante y económica en los procesos de trituración, se emplea generalmente en todas las capas de los firmes, exceptuándose en algunas ocasiones como agregado grueso en las capas de rodadura, debido a la facilidad que tiene de pulimentarse en condiciones de servicio, su carácter es básico, presenta por lo regular menores problemas de adhesividad, es decir, de afinidad con los ligantes asfálticos. En mezclas asfálticas se utiliza para mejorar esta característica cuando se emplean además otro tipo de agregados, más duros pero también más ácidos (silíceos, pórfidos, entre otros).

Agregados Silíceos.

Los agregados silíceos procedentes de trituración de gravas naturales es otro material de amplia utilización en las todas capas de los firmes. Se extraen de yacimientos granulares, en los que las partículas de mayor tamaño se separan por cribado y a

partir de ellas por machaqueos sucesivos, se obtienen fracciones de menor tamaño, con una angulosidad tanto mayor cuantas más caras de fractura presenten. Pueden no aportar una suficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, sin embargo, si el material obtenido tiene un elevado contenido de sílice y de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno para utilizarlo incluso en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico.

Agregados Ígneos y Metamórficos.

Son materiales que por sus características resultan muy adecuados para utilizarlos como agregado grueso en las capas de rodadura. Pueden incluirse en este grupo los basaltos, gabros, pórfidos, granitos, cuarcitas, etc. Sus cualidades para resistir al pulimento los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un periodo de tiempo, incluso con tráficos muy intensos. En este grupo tan amplio, los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, pero en la mayoría de los casos el problema se puede resolver con activantes que son sustancias que tienen la misión específica de mejorar la adhesividad con los ligantes, o también el problema se resuelve empleando emulsiones adecuadas y en el caso de mezclas asfálticas, con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado.

2.1.5. Consideraciones acerca del empleo de los agregados pétreos

Cuando se pretende hacer uso de los agregados pétreos para la construcción de pavimentos se deben considerar algunos aspectos fundamentales para su buen desempeño a la hora de formar parte en alguna de las capas del firme y principalmente en la elaboración de las mezclas asfálticas.

a) Naturaleza e identificación:

Evaluación de la naturaleza petrográfica de los agregados, grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas.

b) Propiedades geométricas:

Principal y básicamente la forma y angulosidad de las partículas; con relación al conjunto del esqueleto mineral se estudia la distribución granulométrica.

c) Propiedades mecánicas:

Engloban los parámetros básicos de resistencia al desgaste y al pulimento.

d) Ausencia de impurezas:

Es fundamental que los agregados a emplear en la construcción de pavimentos estén libres de impurezas capaces de afectar el buen comportamiento de las capas. El empleo de agregados sucios en la construcción de un pavimento, puede ser una causa suficiente para provocar su degradación.

e) Inalterabilidad:

Es imprescindible la evaluación de las posibles degradaciones que puedan sufrir los agregados pétreos que se van a utilizar en una obra; así, los materiales evolutivos han de ser empleados con especiales precauciones para evitar comportamientos anómalos que puedan afectar la vida útil de las capas.

f) Adhesividad:

Los agregados pétreos han de ser afines con los ligantes asfálticos que vayan a ser empleados en la construcción del pavimento, y en caso de problemas de afinidad, será

necesario el uso de activantes, para garantizar el buen comportamiento de las mezclas asfálticas.

2.1.6. Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño.

Agregado grueso

a) Definición de agregado grueso.

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4. Y según la normativa Europea UNE-EN 933-2., se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz 2 mm.

b) Características y propiedades deseables de los agregados gruesos para su utilización en las mezclas asfálticas.

Granulometría.

La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica del conjunto (esqueleto mineral). Normalmente se utilizan granulometrías sensiblemente continuas, a fin de conseguir la máxima compacidad del conjunto, aunque también se emplean granulometrías discontinuas en el caso de algunas mezclas asfálticas. Para encajar una granulometría dentro de algún Huso normalizado se parte de fracciones uniformes que se mezclan en las proporciones adecuadas. Los análisis granulométricos se realizan por tamizado; el procedimiento es análogo al que se emplea para suelos.

El tamaño máximo de los agregados viene normalmente limitado por consideraciones relativas al espesor de la capa extendida, trabajabilidad, segregación, etc. Por otra parte la influencia de las partículas finas obliga normalmente a limitar su porcentaje y su plasticidad. En las mezclas asfálticas tiene una especial importancia la fracción de

tamaño inferior a $63\mu\text{m}$, llamada, como se ha indicado, polvo mineral o filler, pues algunas características relevantes de la mezcla dependen del mástico formado por la unión del polvo mineral y del ligante asfáltico.

Rozamiento interno.

La resistencia a la deformación o capacidad de soporte de una capa de firme depende esencialmente del rozamiento interno del esqueleto mineral y, en su caso, de la cohesión que proporciona el eventual ligante o conglomerante. El rozamiento interno aumenta con partículas angulosas y de textura superficial áspera como por ejemplo los agregados triturados. También influye de forma importante la granulometría del agregado y el porcentaje de huecos del material compactado. A mayores densidades corresponden generalmente mayores resistencias mecánicas, por lo que la compactación es un factor de primer orden

La cohesión debe confiarse exclusivamente al ligante asfáltico o conglomerante. La cohesión entre las partículas suele ser despreciable, y cuando existe se debe únicamente a la plasticidad de la fracción fina, y en general es más nociva que útil. Sólo interesa una cierta plasticidad de los finos y muy reducida de todas formas, cuando se trata de capas granulares no revestidas en caminos de baja intensidad de tráfico.

Angulosidad del agregado grueso.

La angulosidad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento de la angulosidad de las partículas. La mayoría de

las normativas establecen un mínimo de angulosidad del agregado grueso, dependiendo de las condiciones de tráfico al que va a estar expuesto el pavimento.

Forma del agregado grueso.

Las exigencias de forma para el agregado grueso varían ligeramente, con un mismo tráfico, para las mezclas asfálticas. Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides, evitando o restringiendo las formas planas, alargadas y en forma de lajas, ya que como lo hemos dicho antes, este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas.

Existen restricciones en las normativas de materiales para pavimentos en donde se restringe el uso de partículas con estas formas no deseadas, por medio de los índices de lajas y de agujas de las distintas fracciones del árido grueso.

Resistencia a la fragmentación de los agregados gruesos.

Los agregados pétreos deben de cumplir con un cierto mínimo de resistencia a la fragmentación o al desgaste, lo que da una orientación del comportamiento que tendrá dicho agregado dentro de la mezcla asfáltica al entrar en servicio el pavimento.

Resistencia al pulimento del agregado grueso para capas de rodadura.

En el ensayo de Pulimento Acelerado, determina el grado de pulimento del agregado o coeficiente de pulido acelerado con el mismo péndulo de fricción con el que se mide el coeficiente de rozamiento en una superficie de rodadura. El coeficiente de pulido acelerado depende fundamentalmente de la naturaleza petrográfica de la roca origen, fue diseñado como un medio para predecir la susceptibilidad de una piedra al pulido cuando se utiliza como ya lo hemos dicho en la capa de rodadura de un pavimento flexible.

Limpieza del agregado grueso.

El agregado grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de impurezas del agregado grueso, según las normativas deberá ser mínimo, algo muy aproximado al cinco por mil (0,5%) en masa. Aunque se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros, y realizando una nueva comprobación. La exigencia anterior podría cuestionarse considerando que en las plantas asfálticas modernas existen poderosos sistemas para extraer el polvo e impurezas del agregado. Sin embargo en una secuencia lógica de exigencias de calidad y prevenciones, la limpieza inicial del agregado está totalmente justificada.

Adhesividad del agregado grueso.

El agregado grueso tiene un comportamiento específico respecto a la adhesividad y a la resistencia al desplazamiento. Se preconiza la comprobación de la adhesividad agregado – ligante mediante una evaluación global de resistencia conservada en los ensayos de inmersión – compresión, o de pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro. Estos criterios se refieren obviamente a las propiedades de las mezclas terminadas más que a la caracterización inicial de los materiales simples: agregados y ligantes. En cualquier circunstancia se comprobará la adhesividad agregado–ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Se enmarcan unos parámetros mínimos en los valores de inmersión – compresión según el tipo de mezcla asfáltica a utilizar. Se podrá mejorar la adhesividad entre el agregado y el ligante asfáltico mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. Se establecerán las especificaciones que tendrán que cumplir dichos aditivos y las mezclas resultantes.

2.2. Materiales pétreos para mezclas asfálticas**2.2.1. Definición y clasificación**

Los materiales pétreos que comprende en el uso de mezclas asfálticas son los materiales naturales seleccionados o sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, que aglutinados con un material asfáltico se emplean en la elaboración de las mezclas asfálticas a que se refiere la Norma N·CMT·4·05·003, Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras.

Según el tipo de mezcla en el que se vayan a utilizar, los materiales pétreos se clasifican como se indica a continuación y se detalla en las Cláusulas D. a H. de esta Norma.

- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría semi abierta
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría abierta
- Materiales pétreos para mortero asfáltico
- Materiales pétreos para carpetas por el sistema de riegos
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas para guarniciones

2.2.2. Requisitos de calidad de materiales pétreos para carpetas asfálticas

Las principales características que se deben tener en cuenta en los agregados para la construcción de pavimentos asfálticos son las siguientes:

Forma y angulosidad.

La forma de las partículas del agregado grueso afecta fundamentalmente, al esqueleto mineral. Según su forma, las partículas pueden clasificarse en redondeadas, irregulares, angulares, lajosas, alargadas y alargadas - lajosas.

Las lajosas y alargadas-lajosas (agujas), pueden romperse con facilidad durante la Compactación o después bajo la acción del tráfico, modificando con ello la granulometría del agregado inicial. Se deben imponer limitaciones en el contenido de partículas de mala forma. Aparte de la forma de las partículas del agregado grueso, se

debe tener en cuenta su angulosidad, que influye junto a la textura superficial de las partículas, en la resistencia del esqueleto mineral, por su contribución al rozamiento interno.

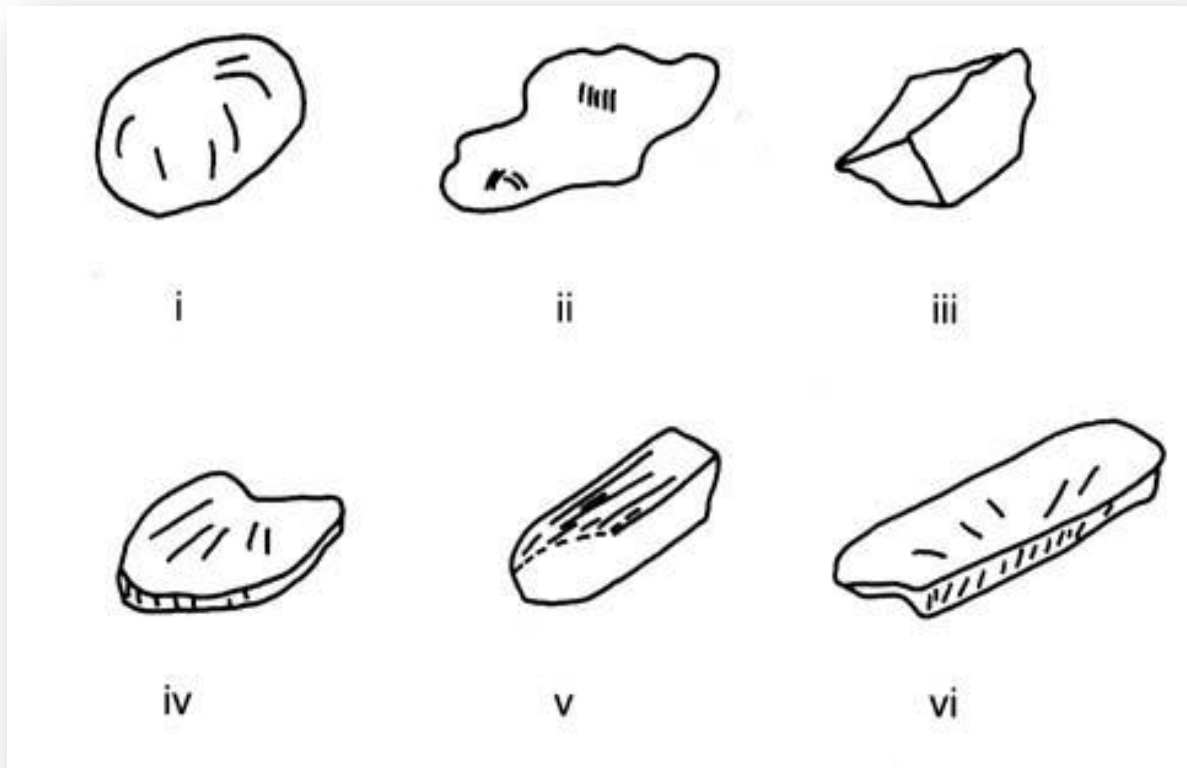


Figura 2 Antonio Padilla Rodríguez Capítulo 2 Materiales Básicos

Forma de las Partículas de Agregado Pétreo

i. Redondeada, ii. Irregular, iii. Angular, iv. Lajosa, v. Alargada, vi. Alargada - Lajosa.

Los agregados pétreos generalmente más deseados para la elaboración de mezclas asfálticas son aquellos con una alta proporción de partículas aproximadamente

equidimensionales (cuboides). Los factores intrínsecos, como la composición de la roca afectan a la forma de los agregados durante los procesos de trituración.

Resistencia al desgaste.

La resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor predominante en la evolución del comportamiento de una capa de firme después de su puesta en servicio. La evaluación de dicha resistencia se realiza mediante diversos ensayos de laboratorio; sin embargo, ninguno de ellos caracteriza el estado tensional del agregado en el conjunto del firme. Se realizan una serie de ensayos que tienden a reproducir en laboratorio de manera más sencilla el comportamiento que luego tendrán los agregados en servicio, para ello se preparan las muestras con granulometrías próximas a las que van a ser puestas en obra, sometiéndolas a un desgaste que, de forma indirecta, proporciona información de la resistencia mecánica del material. La prueba de Los Ángeles es un ejemplo de este tipo de ensayos.

Resistencia al pulimento.

La resistencia al pulimento de las partículas del agregado, es la resistencia a perder aspereza en su textura superficial, tiene gran importancia desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento cuando dichas partículas van a ser empleadas en una capa de rodadura. Para su evaluación se han desarrollado los ensayos de pulimento acelerado.

Adhesividad y resistencia al desplazamiento.

La adhesividad de los agregados pétreos con los ligantes asfálticos es de gran importancia, debido a que se pueden presentar fenómenos fisicoquímicos en la superficie de los agregados empleados en las capas de firme. En estos fenómenos complejos intervienen tanto factores físicos como la textura del agregado, la porosidad del mismo, viscosidad y tensión superficial del ligante, espesor de la película de ligante, etc. Y a su vez factores químicos relativos al ligante y al agregado. Si los agregados están absolutamente secos, se dejan mojar fácilmente por los ligantes asfálticos; sin embargo la situación es muy diferente con algo de humedad que siempre puede existir, ya que la superficie del agregado se polariza con un signo u otro dependiendo de su naturaleza. Atendiendo a ese criterio los agregados se clasifican en ácidos y básicos.

Agregados Ácidos.

La acidez es por lo general consecuencia de un alto contenido en sílice y determina una gran afinidad del agregado por el agua (hidrofilia) y una polaridad negativa. La adhesividad entre los agregados silíceos (o ácidos en general) y los ligantes asfálticos no es buena, pudiendo llegar a ser necesaria la disminución de la tensión superficial del ligante mediante procesos de activación en los que se carga electro polarmente para crear una adhesividad.

Agregados Básicos.

Son menos hidrofílicos que los silíceos y se cargan positivamente en presencia de agua. Por ello pueden presentar cierta atracción por los ácidos libres en los ligantes y, en consecuencia una mejor adhesividad con los mismos.

En los pavimentos asfálticos aparte de cuidar y verificar que el ligante asfáltico moje al agregado, se debe tener en cuenta la posibilidad de que el agua en combinación con la acción de los vehículos y en ocasiones con el polvo y suciedad existentes, perturbe la adhesividad, desplazando el ligante asfáltico de la superficie del agregado, que

quedará de nuevo descubierta o lavada. La adhesividad pasiva o también llamada resistencia al desplazamiento del ligante dependerá también de los mismos factores químicos y físicos anteriormente citados: afinidad polar por el ligante, espesor de la película y viscosidad del mismo, tensión superficial (ángulo de contacto) y textura superficial.

Plasticidad y limpieza.

Para que un agregado pétreo se comporte adecuadamente dentro de cualquier capa de firme, debe estar completamente limpio, libre de partículas de naturaleza orgánica, polvo o arcillas. Se establece en las normativas, que todos los finos deben tener reducida su plasticidad e incluso que no sean plásticos en la mayoría de los casos. Las fracciones gruesas deben estar exentas de polvo, fijando los límites admisibles a través del denominado coeficiente de limpieza.

Se debe garantizar que en presencia de agua, la capa en cuestión conserve sus características resistentes y que, en su caso, no haya problemas de adhesividad con los ligantes asfálticos. En ocasiones aunque el agregado fino no sea plástico, puede estar contaminado por partículas no arcillosas, que no se hayan podido detectar mediante los límites de Atterberg, pero igualmente nocivas. Un ensayo muy utilizado para caracterizar desde este punto de vista el agregado fino (realmente todo el material inferior a 5 mm., es decir, se incluye parte del agregado grueso y el polvo mineral) es el denominado Equivalente de Arena.

Alterabilidad.

Los fallos detectados en un firme al poco tiempo después de su puesta en servicio, comúnmente suelen ser ocasionados por procesos de alteración de los agregados en

alguna de sus capas, los cuales pueden desencadenarse debido a alguna reacción química con alguno de los componentes de los ligantes asfálticos o conglomerantes, por la acción de la helada o, simplemente, por la siempre inevitable presencia de agua.

Existe la necesidad de evaluación de la alterabilidad de un agregado pétreo por el Procedimiento que sea, y se pueden señalar a título indicativo, los siguientes caminos: análisis petrográficos, acción de soluciones salinas o de agua oxigenada, ciclos hielo–deshielo, inmersión en agua y ciclos de humedad–sequedad.

Resistencia al desprendimiento.

Los defectos de adhesión significan la quiebra de las fuerzas de unión entre el agregado y su cubierta de conglomerante asfáltico, lo que conduce a una separación física, una posible consecuencia de los defectos de adhesión, es el fallo mecánico por desgaste y desflecado de la superficie, pero el fallo mecánico no se produce inmediatamente después del fallo de adhesión, si el desprendimiento, aunque sea permanente, se produce a un nivel inferior de la construcción y el grado de entrecruzamiento físico de las partículas de agregado es suficiente para resistir el esfuerzo del tráfico. Dado que el desprendimiento es un fenómeno asociado a la presencia de agua. Se deduce que los pavimentos densos, de bajo contenido en huecos, son prácticamente inmunes y que el comportamiento de los agregados pétreos en los ensayos de deslizamiento es bastante irrelevante en dicho uso.

Aptitud para contribuir a la resistencia y rigidez de la mezcla en conjunto.

Esta propiedad se refiere tanto a los agregados gruesos, finos y polvo mineral; siempre que se cumpla que la resistencia y durabilidad intrínseca de las partículas del agregado es la adecuada a las propiedades de la masa de agregados de entrecruzado y rozamiento interno.

A este respecto tanto la angulosidad como la irregularidad de la textura superficial contribuyen en gran medida a las resistencias mecánicas y a la deformación de la mezcla asfáltica.

2.2.3. Almacenamiento de los agregados pétreos

Se realiza el almacenamiento de los agregados para:

- Minimizar la segregación y la degradación
- Prevenir la contaminación
- Evitar el tránsito de vehículos



Figura 3 Antonio Padilla Rodríguez Capítulo 2 Materiales Básicos
Almacenamiento de los Agregados I



Figura 4 Antonio Padilla Rodríguez Capítulo 2 Materiales Básicos
Almacenamiento de los Agregados II



2.3. Fig. 2.3. Almacenamiento de los Agregados III

2.3.1. Análisis teórico

Las propiedades que deben reunir las piedras de construcción deben ser homogéneas, compactas y de grano uniforme, deben de carecer de grietas, restos orgánicos, etc. Lo que se aprecia fácilmente al golpearlas con un martillo.

Ser resistentes a las cargas que tengan que soportar, superior a $500 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$, las eruptivas y $250 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$, las de sedimentación o metafóricas.

No deberían alterarse por los objetos o agentes atmosféricos (humedad, agua, hielo) teniendo una pérdida de resistencia menor a 10%.

Ser resistentes al fuego, no ser absorbentes o permeables en una proporción mayor al 4% de su volumen, tener adherencia a los morteros y por último deben dejarse labrar fácilmente.

2.3.2. Resistencia al desgaste

El desgaste por tratamiento es una de las características principales a tener en cuenta en las piedras destinadas a la pavimentación, dado que la duración y resistencia al

desgaste y al tiempo depende de la dureza de la propia piedra y del material con que se efectuó el frotamiento.

Las pizarras son las que resisten mejor el deterioro, seguidas de las graníticas, perfidias y basálticas. Las areniscas y las calizas tienen un desgaste 4 o 5 veces mayor que el granito.

Uno de los procedimientos para la determinación de la resistencia al desgaste es:

Se determina la resistencia del desgaste por tratamiento, sometiendo las probetas de 7.0 cm. de aristas previamente pesado, a un tratamiento sobre una pista circular giratoria, que en nuestro caso es la máquina de los Ángeles con interposición de una sustancia abrasiva (esfera de carga). Las probetas se cargan con 30 Kg. O sea 0.6Kg/cm^2 y pueden girar lentamente alrededor de un eje, al cabo de un número determinado de vueltas que corresponde a un recorrido de 500 a 1000m., de pesas, y se mide la disminución de alturas. El resultado expresa el desgaste en cm. dividiendo la pérdida de peso ya sea por la densidad o por la longitud recorrida en cm^2 . Cuando las piedras son heterogéneas y tienen elementos de diferente dureza, se aprecia mejor el desgaste sometiendo a las probetas a un chorro de arena a presión de dos atmósferas por el lapso de un minuto; se expresa el desgaste por el cociente de la pérdida de peso por densidad o por cm^2 .

Apreciamos además las irregularidades de la superficie desgastada.

Las piedras destinadas a fines carreteros se ensayan al desgaste por rozamiento mutuo con el aparato Deval o con bolas de acero Rattler, estando formados por unos

cilindros o tambores en los que se introducen el material previamente pesado y que hacen girar cierto número de vueltas determinando la pérdida de peso.

2.4. Prueba de desgaste de materiales

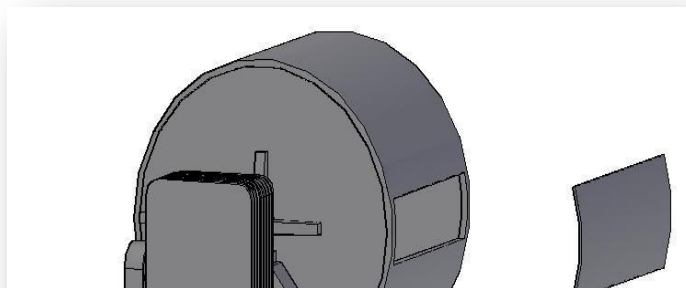
2.4.1. Máquina de desgaste de los ángeles

La máquina de Los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en sus extremos, que tiene un diámetro interior de $710 \pm 5\text{mm}$, y de largo tiene $510 \pm 5\text{mm}$, el cilindro está montado sobre dos soportes situados al centro de sus caras planas en los extremos, de tal manera que pueda girar alrededor de este eje en posición horizontal a una velocidad angular de 30 a 33 rpm. Para introducir la muestra y las esferas metálicas se deberá construir una puerta en el cilindro, que debe tener la misma curvatura del cilindro para que no haya discontinuidades en la superficie interior del mismo, la citada puerta debe ser hermética para evitar salida de polvo.

Con el objetivo de crear impacto de las esferas metálicas (carga abrasiva) contra el material introducido en el cilindro deberá existir una placa de acero removible en el interior del cilindro y que esté proyectada radialmente a todo lo largo del mismo. La placa tendrá un espesor de 2.5 cm y se proyectará 8.9 cm hacia el eje central del cilindro.

Las esferas necesarias para representar la carga abrasiva son “esferas de hierro fundido o acero, con un diámetro promedio de 47 mm y una masa de entre 390 y 445 g cada una” (SCT, 2002). Se necesitan de 6 a 12 esferas para realizar cada prueba dependiendo de la granulometría de la muestra a analizar.

Para contar el número de revoluciones que dé el cilindro se contará también con un dispositivo que registre las mismas, también se contará con una charola que sirva para recoger la muestra al finalizar la prueba



**Figura 6 Diseño y Construcción Maquina de Alejes (Mario Henaine Del Castillo)
Esquema de máquina de desgaste de los ángeles.**

2.4.2. Procedimiento de la prueba

Objetivo:

Determinar la dureza de los materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas, carpetas por riegos, riegos de sello, material de balasto, etc.

Definición:

Este ensaye es para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de las partículas, etc.

Equipo y material:

- Máquina de abrasión Los Ángeles.
- Esferas de acero con diámetro de 47.6 mm, con peso comprendido entre 390 y 445 grs. cada una.
- Mallas: 3", 2.5", 2.0", 1.5", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", No. 4, No. 10 y No.12.
- Horno de termostato que mantenga una temperatura de $105 \pm C^{\circ}5$.

- Balanza de capacidad de 20 kg y aproximación de 1 gr.
- Charolas de lámina rectangulares.

Procedimiento:

a) Preparación de la muestra

1. De la muestra de material pétreo obtenida, se toma por cuarteo una porción representativa de 20 Kg. y aproximación de 1 gr.
2. Se determina el peso específico o volumétrico del material seco y suelto γ_d , así como la composición granulométrica de la muestra de 20 Kg.
3. Se criba la muestra por la malla No. 12 y se lavan sobre dicha malla las partículas retenidas, pudiendo evitarse el lavado cuando se observan limpias.
4. Se seca en el horno la fracción retenida en la malla No. 12 a una temperatura de 105, hasta obtener peso constante. $\pm 5C^\circ$
5. Se selecciona en la tabla correspondiente el tipo de muestra y demás requisitos de la prueba, en función de la granulometría de proyecto, la granulometría que corresponde al material de acuerdo con el uso que se pretenda dar o bien, a la de la muestra original; en cada caso se selecciona el tipo de muestra que se apegue más a la composición granulométrica del material por ensayar.
6. De acuerdo con el tipo de muestra seleccionado se clasifica el material retenido de la malla No. 12, cribándolo por las mallas correspondientes; a continuación, se pesan y mezclan las fracciones respectivas para integrar la muestra de prueba y se registra su peso total como W_i en gramos.

b) Pasos a seguir

1. Se determinan mediante la tabla el número de esferas que forman la carga abrasiva, tomando en cuenta el tipo de la muestra de prueba seleccionado.
2. A continuación se coloca dentro del cilindro de la máquina de los Ángeles la muestra de prueba con peso W_i determinado y con la carga abrasiva correspondiente; se instala su cubierta y se cierra esta herméticamente.
3. Se hace funcionar la máquina para que gire a una velocidad uniforme de 30 a 33 rev/min, hasta completar 500 revoluciones en el caso de muestras de los tipos A, B, C y D, y de 1000 revoluciones para los de tipo E, F y G.
4. A continuación se saca la muestra del cilindro, se vacía en una charola y se criba por la malla No. 12; se pesa la fracción retenida en dicha malla y se registra su peso como W_f en grs.
5. El porcentaje de desgaste del agregado pétreo se calcula por medio de:

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100$$

Dónde:

D = Desgaste del material pétreo, en %.
 W_i = Peso inicial de la muestra de prueba, en gr.
 W_f = P eso final de la muestra de prueba, en gr.

2.5. Fragmentación Dinámica de los agregados pétreos

2.5.1. Resistencia a la fragmentación de los agregados gruesos

Mide la resistencia de los agregados a la fragmentación (por impacto).

Los agregados pétreos deben de cumplir con un cierto mínimo de resistencia a la fragmentación o al desgaste, lo que da una orientación del comportamiento que tendrá dicho agregado dentro de la mezcla asfáltica al entrar en servicio el pavimento.

Tiene la ventaja de:

- Sencillez de instalación y ejecución
- Poca cantidad de muestra
- Fácilmente transportable
- Se realiza en poco tiempo.

2.5.2. Equipo de fragmentación dinámica

El equipo de Fragmentación Dinámica consta de:

- Un molde cilíndrico de 102 mm de diámetro interior, de 52 mm de altura y de 10mm de espesor.
- Cuerpo cilíndrico de 14 kg de masa y de 100 mm de diámetro, que está guiado en su caída libre por dos columnas. Una empuñadura que permite levantarlo hasta una altura en que se bloquea, a 40 cm por encima del nivel superior del material contenido dentro del molde. Mediante un sistema de levas se libera el cuerpo que cae sobre los áridos.
- El aparato debe colocarse sobre un bloque de hormigón con el fin de reducir la influencia de la condición de apoyo.

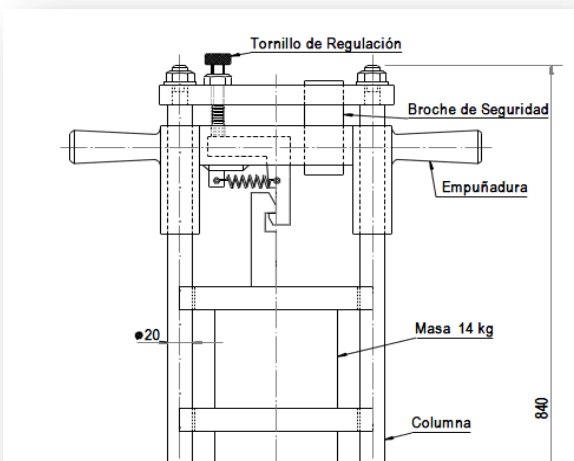


Figura 7 Norma IRAM 1556
Esquema y foto del equipo de fragmentación dinámica

2.5.3. Procedimiento de la prueba

El ensayo se realiza sobre una muestra de 350 gramos, previamente colocada dentro del molde cilíndrico, de la fracción de ensayo elegida. La Norma IRAM tiene tres fracciones de ensayo, al igual que la Norma Francesa NF P 18-574. Se procede luego a dar una determinada cantidad de golpes con el martillo de 14 kg de masa, de acuerdo a la fracción elegida. En la tabla de la Figura 2 se encuentran indicados las granulometrías de ensayo y el número de golpes indicado para cada una. Por último se tamizan los agregados sobre tamiz 1,6 mm. El resultado del ensayo, el valor FD, es la cantidad de material que pasa dicho tamiz, expresada en porcentaje en masa de la muestra de ensayo.

| Norma | Granulometría | Nº de golpes |
|-------|---------------|--------------|
|-------|---------------|--------------|

| | | |
|------------------|--------------------|-----------|
| IRAM 1556 | 14 – 10 mm | 28 |
| | 10 – 6,3 mm | 22 |
| | 6,3 – 4 mm | 16 |

Tabla 1
Granulometría y n° de golpes según Norma IRAM 1556

3.1. Ubicación del área de estudio

Para la ubicación de las áreas de estudio, en este caso se tomó mucho en cuenta la presencia de ríos de donde se puede extraer material para su posterior tratamiento en la clasificación de acuerdo a su tamaño por medio de chancados.

Es muy importante saber de qué parte de la región se está utilizando el material para la elaboración tanto de capas sub-bases, bases y sobre todo mezclas asfálticas

3.2. Ubicación de los Yacimientos y bancos de préstamo

Es de conocimiento de que en nuestra región tenemos diversidad de cuencas hidrográficas a causa de eso se generan diversos yacimientos con diversos tipos de material cada uno con sus propias características.

En base a la ubicación de los yacimientos en nuestra región se dio la oportunidad a que las empresas tanto públicas como privadas tuviesen la oportunidad de asentar los actuales bancos de préstamos mejor conocidos como chancadoras que en función a la ubicación de ríos y a la calidad del material se establecieron ya por vario tiempo, siendo estos los que satisfacen la demanda para el uso de sus materiales en diversas obras de ingeniería civil (construcción de carreteras, construcción de puentes, obras hidráulicas, obras de drenaje, etc.)

Para la presente investigación se tomaron muestras de 5 lugares diferentes que a continuación se da a conocer:

- **Chancadora Erika:** perteneciente a la empresa privada Erika ubicada en la zona de El Rancho.

- **Chancadora Tolomosa:** perteneciente a la empresa privada Erika se encuentra ubicada en la zona de Tolomosa grande.
- **Chancadora SEDECA:** perteneciente a una entidad pública como ser SEDECA(Servicio Departamental de Tarija) se encuentra ubicada por la zona de Charaja carretera a chaguaya
- **Seleccionadora Pintada:** empresa privada ubicada en la zona de la pintada
- **Seleccionadora Tarija:** empresa privada ubicada en la ciudad de Tarija a orillas del Rio Guadalquivir.
- **San pedro de Sola;** se extrajo el material de forma natural
- **Rio seco** se extrajo el material en su estado natural

En la parte de anexos de la presente investigación se presenta un mapa con los puntos de muestreo.

A continuación se detalla fotográficamente cada una de las plantas de chancado y selección

Zona del rancho (empresa Erika)



Figura 8
Agregado pétreo de Chancadora Erika I



Figura 9
Agregado pétreo de Chancadora Erika II

Planta chancadora (SEDECA) zona charaja



Figura 10
Agregado pétreo de Chancadora SEDECA I



Figura 11
Agregado pétreo de Chancadora SEDECA II

Seleccionadora la Pintada



Figura 12
Agregado pétreo de Seleccionadora La Pintada I



Figura 13
Agregado pétreo de Seleccionadora La Pintada II

Seleccionadora Tarija



Figura 14
Agregado pétreo de Seleccionadora Tarija I



Figura 15
Agregado pétreo de Seleccionadora Tarija II



Figura 16
Agregado pétreo de Seleccionadora Tarija III

3.3. Caracterización de los agregados

3.3.1. Muestreo

Los materiales previamente recogidos, se observó que algunas muestras tenían algunas impurezas o en otro caso se encontraban en estado húmedo para lo cual se extendió y se procedió a quitar algunas impurezas y a secarlas al medio ambiente para así proceder a su posterior análisis en el laboratorio. Donde se realizarán distintas prácticas



Figura 17
Muestra Chancadora SEDECA y La Pintada

3.3.2. Ensayos de granulometría

La granulometría se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Esta granulometría se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados, por abertura, de mayor a menor.

Los tamices son básicamente unas mallas de aberturas cuadradas, que se encuentran estandarizados.

La denominación en unidades inglesas (tamices ASTM) se hacía según el tamaño de la abertura en pulgadas para los tamaños grandes y el número de aberturas por pulgada lineal para tamices menores de 1/8 de pulgada.

Los ensayos de granulometría tienen por finalidad determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño.

El suelo es una mezcla de diferentes tamaños de partículas de roca y ocasionalmente puede tener materia orgánica. La textura y propiedades físicas del suelo dependerán del tamaño de ellas. Mayores tamaños de partículas significará mayor espacio entre ellas, resultando un suelo más poroso; menor tamaño de partículas tendrán menor espacio entre ellas dificultando el paso del aire y el agua, por lo tanto este suelo será menos poroso.

El análisis granulométrico se llama también análisis mecánico y consiste en la determinación de los porcentajes de piedra, grava, arena, limo y arcilla que hay en una cierta masa de suelo.

Si el material es granular los porcentajes de piedra, grava y arena pueden determinarse fácilmente mediante empleo de tamices.

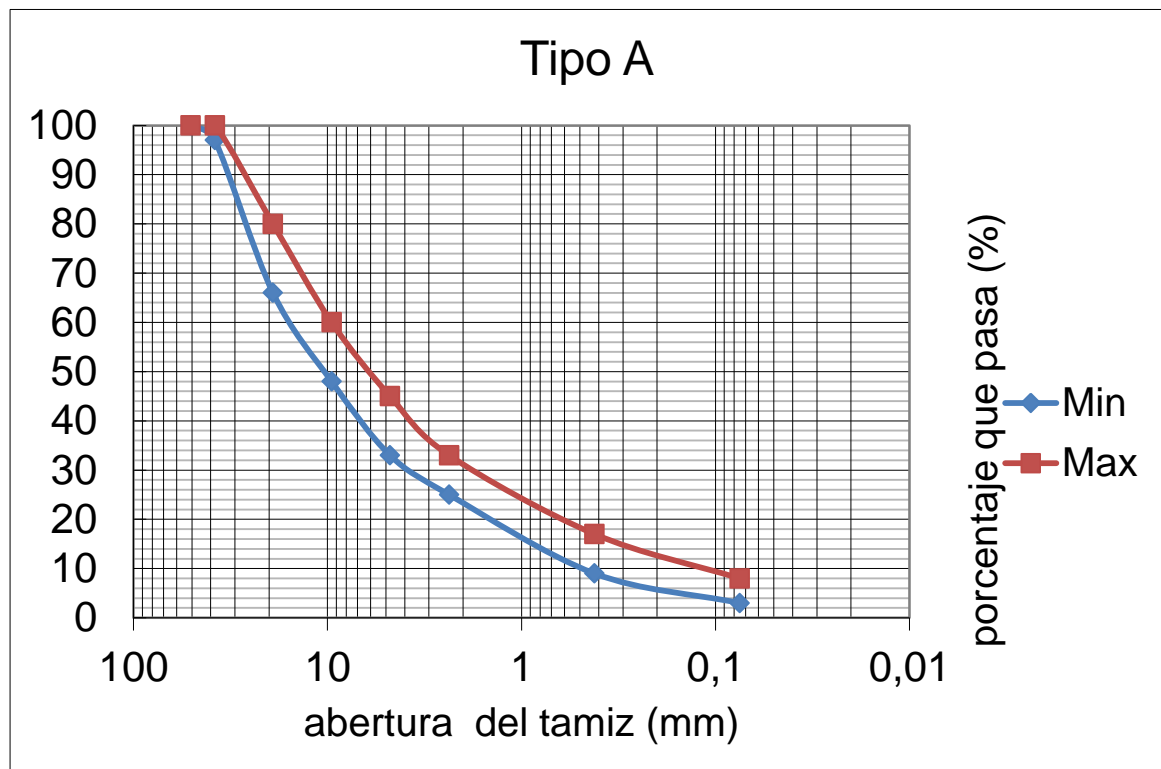
A continuación se detalla el ensayo de granulometría de las muestras recogidas de los diferentes yacimientos.

Para realizar la prueba de granulometría se siguió los requisitos usados por la Administradora Boliviana de Caminos (ABC) que tiene por norma las siguientes composiciones granulométricas para mezclas.

| Tamices | Gradación de los agregados | | | | | | | |
|---------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | | B | | C | | D | |
| | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| 2" | 100 | 100 | - | - | - | - | - | - |
| 1 1/2 " | 97 | 100 | 100 | 100 | - | - | - | - |
| 1" | - | - | 97 | 100 | 100 | 100 | - | - |
| 3/4" | 66 | 80 | - | - | 97 | 100 | 100 | 100 |
| 1/2" | - | - | - | - | 76 | 88 | 97 | 100 |
| 3/8" | 48 | 60 | 53 | 70 | - | - | - | - |
| No 4 | 33 | 45 | 40 | 52 | 49 | 59 | 57 | 69 |
| No 8 | 25 | 33 | 25 | 39 | 36 | 45 | 41 | 49 |
| No 40 | 9 | 17 | 10 | 19 | 14 | 22 | 14 | 22 |
| No 200 | 3 | 8 | 3 | 8 | 3 | 7 | 3 | 8 |

Tabla 2 Granulometría Utilizada por la AASTHO Para Mezclas Asfálticas

Para realizar los ensayos de granulometría se eligió la gradación Tipo A



Gráfica 1 curva granulométrica Utilizada por la AASTHO Para Mezclas Asfálticas

Para realizar la prueba de granulometría se siguió los requisitos usados por la Administradora Boliviana de Caminos (ABC) que tiene por norma las siguientes composiciones granulométricas para mezclas.

Donde se obtuvo a continuación los siguientes resultados

| Banco | N.- mm | Tamiz | | | | | | |
|----------|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 1/2 | 3/4 | 3/8 | N°4 | N°8 | N°40 | N°200 |
| | | 37,5 | 19 | 9,5 | 4,75 | 2,36 | 0,425 | 0,075 |
| Chocloca | % pasa | 100,00 | 78,48 | 55,92 | 39,46 | 24,66 | 10,40 | 4,52 |
| Pintada | % pasa | 100,00 | 79,56 | 54,28 | 35,86 | 24,58 | 9,84 | 4,90 |
| Erika | % pasa | 100,00 | 79,34 | 54,18 | 35,72 | 24,80 | 10,94 | 4,86 |
| Tolomosa | % pasa | 100,00 | 75,32 | 52,52 | 33,00 | 24,76 | 9,78 | 4,18 |
| Tarija | % pasa | 100,00 | 79,42 | 57,66 | 33,00 | 24,70 | 12,38 | 4,60 |

Tabla 3 Granulometrías de los bancos de extracción de muestras

Se pueden observar que los resultados presentan una buena granulometría para ser usada en mezclas asfálticas.

Se puede observar que las granulometrías son similares y que tienes una buena distribución es decir que en cada una de las chancadoras y seleccionadoras tienes granulometrías de diferentes tamaños para poder ser usadas en mezclas asfálticas además también se pueden utilizar para conformación de capas bases, capas sub bases y rellenos para accesos.

Con la tabla de resultados se puede observar que entre los tamices 3/4 y 3/8 (19mm-9.5mm) existe una cantidad considerable de agregado de 23.513% en promedio siendo una cantidad considerable, si es que este tamaño de agregado va a formar parte de la carpeta asfáltica, capa bases o capa sub base.

3.3.3. Determinación del Peso Unitario

Una vez determinado la granulometría correspondiente a las mezclas asfálticas se procede a determinar el peso unitario, que es un dato importante ya que es necesario conocer el peso por unidad de volumen en su conjunto, es decir no solo consideran las partículas, si no todo el agregado en su conjunto, incluido el aire que queda atrapado entre las partículas del agregado pétreo

A continuación se detalla el análisis en laboratorio del peso unitario del agregado.

DATOS del molde:

| | | |
|--------------------------|-------------|-----------------------|
| peso | 6664 | gr |
| volumen calibrado | 9880 | cm³ |



Figura 18 Molde y Varilla Para ensayo de Peso Unitario (SEDECA)

Una vez calibrado el molde se procede a llenarlo con el material granular en tres capas, en cada capa se debe proceder a agregar el material en forma de caída libre a una altura aproximada de 10cm a 1/3 luego a 2/3 para posteriormente hasta que se llene en cada capa con la ayuda de la varilla se dan 25 en toda el área del molde.

Una vez llenado el molde con el agregado se lo enrasa y se procede a pesar, luego se divide el peso entre el volumen del molde.

El desarrollo del ensayo se presenta en la parte de anexos de la presente investigación.

A continuación se presenta una tabla de resultados:

| Tabla de resultados de peso Unitario | | | | |
|---|-------------------|---------------|---------------|--------------|
| Banco | N.- ensayo | | Prom | Prom |
| | 1 | 2 | | |
| | gr/cm3 | gr/cm3 | gr/cm3 | Kg/m3 |
| Chocloca | 1,588 | 1,581 | 1,585 | 1584,666 |
| Pintada | 1,605 | 1,595 | 1,600 | 1600,304 |
| Erika | 1,587 | 1,594 | 1,590 | 1590,283 |
| Tolomosa | 1,606 | 1,595 | 1,601 | 1600,658 |
| Tarija | 1,849 | 1,820 | 1,835 | 1834,514 |

Tabla 4 resultado de ensayos de Peso Unitario

Se puede decir que el peso unitario es una propiedad física de gran importancia en la dosificación de los agregados no solo dentro del hormigón sino también en mezclas asfálticas capas bases capas sub bases y según su uso.

Se puede observar que al tratarse en su mayoría de agregados entre el tamiz 3/4 y 3/8 todos los resultados presentan pesos unitarios bastante parecidos a excepción del material extraído de Tarija pudiéndose dar el caso que el material extraído contenga mayor cantidad de agregados de menor tamaño que los tamices antes mencionados.

Representación gráfica



Figura 19 Molde, Varilla y Balanza (SEDECA)



Figura 20 Llenado de la última capa en el molde



Figura 21 Enrasado en el molde de los Agregados



Figura 22 Pesado de la muestra en el molde



Figura 23 Molde y Varilla Usados para el ensayo de Peso Unitario (SEDECA)

3.3.4. Determinación del tipo de Agregado

Una recolectado el material de los bancos de préstamos, y realizados sus respectivos ensayos de caracterización (granulometrías y peso específico).

Estos dos ensayos se los realizo para conocer algunas características del material a ser estudiado.

Granulometría.

Se realizó el mencionado ensayo en función de la curva granulométrica usado por la Administradora Boliviana de Caminos (ABC), para saber qué fracción de granulometría de agregado grueso usar para realizar ensayos de Desgaste de Los Ángeles comparado con La Fragmentación Dinámica.

Peso unitario.

El Peso Unitario o Peso Volumétrico Unitario del agregado grueso, al igual que en los cementos, es el peso de la cantidad necesaria de agregado que llena un recipiente de volumen conocido. Físicamente es el volumen ocupado por el agregado y los vacíos entre sus partículas. Para agregados, tanto finos como gruesos, o las combinaciones de éstos, los métodos para determinar los pesos volumétricos describen tres formas de llenar el recipiente: varillado o picado, sacudido y vaciado con pala. Los resultados dependen del procedimiento utilizado en el llenado, pues varían con la compactación alcanzada.

3.3.5. Ensayos de desgaste del agregado con la máquina de los ángeles

Una vez recolectada las muestras y realizados los ensayos de caracterización de los agregados se procede a realizar los respectivos ensayos resistencia de los agregados en la máquina de los Ángeles dicho equipo no se encuentra en el laboratorios de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho por lo que se procedió a utilizar las instalaciones del laboratorio del suelos y asfaltos del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA).

Luego de seleccionado la franja de material a utilizar se procede a pesar 5000 gramos denominado (W_i) entre los tamices $3/4-1/2$ y $1/2-3/8$, para este tipo de franja a utilizar en el ensayo se utilizan 11 esferas donde procede a introducir el material a la máquina de los Ángeles donde se lo dejo por 19 min, este tiempo ya está definido en la máquina para este tipo de franja.

Una vez realizado el ensayo se procede a tamizar en el respectivo tamiz para posteriormente pesar el material retenido en el tamiz 12 este valor se lo denomina (W_f), se realiza esta operación las veces que sean necesarias en la investigación en el presente trabajo se realizaron 24 veces el mismo ensayo.

A continuación se presenta la tabla de resultados de esos 24 ensayos en la máquina de los Ángeles.

El cálculo se presenta en las planillas adjuntadas en la parte de anexos de la presente investigación.

Tabla de Resultados

| N.- | Chocloca | Pintada | Rancho | Tolomosa | Tarija | Rio Seco | S. Pedro Sola | Mejorado |
|------|----------|---------|--------|----------|--------|----------|---------------|----------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 26,000 | 35,260 | 21,680 | 25,700 | 23,900 | 40,880 | 27,200 | 18,220 |
| 2 | 25,740 | 34,640 | 21,800 | 26,400 | 22,040 | 40,700 | 27,320 | 18,300 |
| 3 | 24,360 | 32,860 | 21,980 | 27,850 | 23,340 | 40,900 | 28,020 | 18,560 |
| Prom | 25,367 | 34,253 | 21,820 | 26,650 | 23,093 | 40,827 | 27,513 | 18,360 |

Tabla 5 de resultados de Los Ángeles I (Ensayos realizados en el Servicio Departamental de Tarija)

| N.- | Mejorado | Rancho | Tarija | Chocloca | Tolomosa | S. Pedro Sola | Pintada | Rio Seco |
|------|----------|-----------|--------|----------|----------|---------------|---------|----------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 18,220 | 21,680 | 23,900 | 26,000 | 25,700 | 27,200 | 35,260 | 40,880 |
| 2 | 18,300 | 21,800 | 22,040 | 25,740 | 26,400 | 27,320 | 34,640 | 40,700 |
| 3 | 18,560 | 21,980 | 23,340 | 24,360 | 27,850 | 28,020 | 32,860 | 40,900 |
| Prom | 18,360 | 21,820 | 23,093 | 25,367 | 26,650 | 27,513 | 34,253 | 40,827 |
| | > 20% | 20% a 30% | | | | 30% a 40% | | < 40% |

Tabla 6 de resultados de Los Ángeles II (Ensayos realizados en el Servicio Departamental de Tarija)

Análisis de la tabla de resultados (Ensayo En la Máquina de los Ángeles)

En un principio se puede observar que se tienen desgaste desde 18.360% que se denominan materiales excelentes bastante bueno para ser usado en mezclas asfálticas y sus derivados además de ser usado en varios elementos por ejemplo en capas bases, capas sub bases .. etc.

Se tienen hasta desgaste de materiales de 40.827 % materiales bastante malos para ser implementados en algún tipo de obra de construcción, no recomendables para usas en obras viales.

También se observa que la mayoría de los bancos en donde se encuentran las chancadoras y seleccionadoras de donde se extrajo el material se encuentran entre 21.820% hasta 27.513% es decir que nuestra región (Valle central de Tarija) cuenta con materiales en buen estado pudiéndose utilizar en distintas obras donde se necesitan agregados de buena calidad .

Por último se observa que los ensayos realizados de la misma cantera o banco de donde se extrae el material presentan desgaste bastante parecidos por lo que afirma el desarrollo efectivo de los ensayos en la máquina de los Ángeles. es decir que el desgaste de un mismo lugar tiene que ser bastante parecido ya que presenta las mismas condiciones del agregado tanto en condición física como en composición química.

INTERPRETACION GRAFICA DEL ENSAYO DE LOS ANGELES



Figura 24 Preparación de la muestra para introducir a la máquina de los ángeles



Figura 25 Preparación de la muestra para introducir a la máquina de los ángeles



Figura 26 Preparación de muestra franja B I peso 5000 gr



Figura 27 Preparación de muestra franja B II peso 5000 gr



Figura 28 Preparación de muestra franja B III peso 5000 gr



Figura 29 Mezclado del material para su posterior pesado



Figura 30 Pesado de la muestra en la balanza (muestra = 5000gr)



Figura 31 Máquina lista para introducir la muestra



Figura 32 Introducción de las muestras a la máquina de los ángeles



Figura 33 Muestra introducida en la máquina de los ángeles



Figura 34 Luego de terminadas las revoluciones en la máquina de los ángeles se procede a su destapado para extraer el material ensayado



Figura 35 Material extraído de la máquina de los ángeles I



Figura 36 Material extraído de la máquina de los ángeles II



Figura 37 Material extraído de la máquina de los ángeles III



Figura 38 Material extraído de la máquina de los ángeles IV



Figura 39 Tamizado en el tamiz N.- 12 I



Figura 40 Tamizado por el tamiz N.- 12 II



Figura 41 Muestra separada por tamiz N.- 12 I



Figura 42 Muestra separada por tamiz N.- 12 II



Figura 43 Muestra separada por tamiz N.- 12 III



Figura 44 Muestra separada por tamiz N.- 12 IV



Figura 45 pesado del material retenido en el tamiz 12

Una vez tamizado se procede a pesar el material retenido en el tamiz N.- 12, se anota el dato y con esto se tiene todos los datos para proceder a su tabulado y determinar el desgaste de cada una de las muestra.

3.3.6. Ensayos de fragmentación dinámica de los agregados pétreos

Previamente al desarrollo de ensayo de fragmentación dinámica se procede a la fabricación del equipo Fragmentador, respectiva fabricación se basó en la norma Iram 1556 a continuación se enmarca algunos aspectos generales de mencionada norma:

Nombre: Norma IRAM 1556 (Agregados. Método de ensayo de Fragmentación dinámica.

Cantidad de hojas: 10 hojas

Estado Actual: vigente (Argentina)

Fecha de entrada en vigencia: 1 de agosto de 1991

Página para adquirir la norma: <http://www.iram.org.ar/aspCarrito.php>

De cada una de las muestras a introducir a la máquina de los Ángeles se procedió a extraer una cantidad considerable de alrededor de 500gr. De cada uno de los ensayos realizados anteriormente. Para realizar el ensayo de Fragmentación Dinámica con las mismas muestras con la que se utilizaron para el desgaste de los Ángeles.

Una vez obtenidas las muestras y culminado el ensayo de los Ángeles se comienza con el ensayo de fragmentación dinámica.

Este ensayo según Norma Iram 1556 se lo realiza con una muestra de 350gr (Wi) de la misma fracción utilizada en el ensayo de los Ángeles.

Se coloca la muestra en el molde del Fragmentador y se procede a dar una caída libre a una altura de 40 cm por encima de la muestra en el molde para proceder a dar 28 golpes con el martillo de 14kg.

Una vez culminados los golpes se proceder a vaciar el material en el tamiz N.-12, culminado el tamizado se continua pesando el material retenido en el tamiz este valor se nota como (Wf).

Se recomienda tomar cuidado de no perder muestra en el momento de realizar el ensayo, ya que pérdidas ocasionarían variación en el valor del desgaste por medio de ensayo de fragmentación Dinámica.

Una vez concluido los 24 ensayos en el Fragmentador se procede a su respectivo cálculo de desgaste por mencionado método este se lo calcula con la misma ecuación utilizada en el ensayo de los Ángeles. El cálculo se presenta en las planillas adjuntas en la parte de anexos de la presente investigación.

A continuación se presenta la tabla de resultados del ensayo de Fragmentación Dinámica.

Tabla de Resultados

| N.- | Chocloca | Pintada | Rancho | Tolomosa | Tarija | Rio Seco | S. Pedro Sola | mejorado |
|------|----------|---------|--------|----------|--------|----------|---------------|----------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 20,057 | 31,143 | 16,543 | 20,714 | 20,171 | 34,600 | 26,714 | 15,143 |
| 2 | 20,629 | 32,486 | 16,057 | 19,943 | 20,514 | 35,600 | 28,086 | 14,229 |
| 3 | 21,000 | 31,286 | 16,943 | 21,686 | 19,429 | 35,571 | 27,543 | 14,829 |
| | | | | | | | | |
| Prom | 20,562 | 31,638 | 16,514 | 20,781 | 20,038 | 35,257 | 27,448 | 14,733 |

Tabla 7 de resultados de Fragmentación Dinámica Elaboración Propia (Ensayos realizados en el Lab De Suelos De la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho)

Observaciones en la tabla de resultados (Ensayo de Fragmentación Dinámica)

Al igual que el ensayo de los Ángeles se tienen valores extremos pero en cierto grado valores menores es decir se tienen desde 14.733% que sería material bastante bueno excelente para ser utilizado en obras de pavimentación o elaboración de mezclas asfálticas y sus derivados.

Y valores hasta de 35.257% donde son valores malos para ser usado, pero se observan que estos valores extremos de desgaste de los materiales se presentan en los mismos bancos de préstamo o lugares de extracción de material.

Además se observa que los materiales buenos se presentan desde 16.514% hasta 27.448%. Donde también se puede verificar que la región del valle central de Tarija presenta en su mayoría buenos materiales para poderlos utilizar en obras civiles para construcción.

También se puede observar que los ensayos realizados del mismo banco o lugar de extracción de material presentan valores de desgaste bastante parecidos afirmado que el desarrollo del ensayo de fragmentación dinámica se desarrolló de manera correcta.

Si bien se puede apreciar que los valores de fragmentación dinámica a comparación del ensayo en la máquina de los Ángeles son menores en 3.846% esto se puede haberse dado por la variación en el peso del martillo en comparación al peso de las esferas de la máquina de los Ángeles pero de todos modos puede generarse una relación entre dichos ensayos estos análisis de relación se detallaran en la parte de análisis de resultados entre ambos métodos presentado más adelante en la presente investigación.

Representación Gráfica del ensayo Fragmentación Dinámica



Figura 46 Muestras obtenidas de cada ensayo de desgaste de los Ángeles



Figura 47 Preparación de las muestras I



Figura 48 Preparación de las muestras II

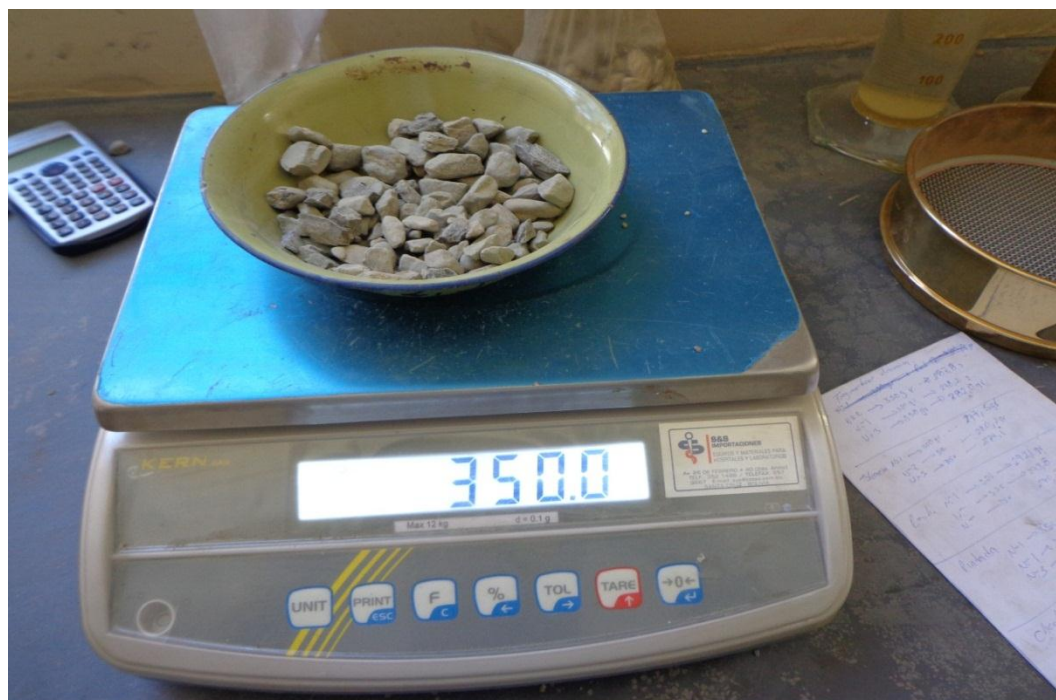


Figura 49 Preparación de las muestras III



Figura 50 Preparación de las muestras IV



Figura 51 Colocado de la muestra en el molde



Figura 52 Ubicación del molde en el equipo de Fragmentación dinámica I



Figura 53 Ubicación del molde en el equipo de Fragmentación dinámica II



Figura 54 Realización del ensayo de fragmentación dinámica



Figura 55 Extracción del molde con el material ensayado



Figura 56 Vaciado del material ensayado en el tamiz N.- 12



Figura 57 Tamizado del material ensayado en el tamiz N.- 12



Figura 58 Material tamizado



Figura 59 Vaciado del material retenido en el tamiz N.- 12 para su pesado



Figura 60 Pesado del material retenido en el tamiz N.- 12

FRAGMENTACION DINAMICA

| N.- | Chocloca | Pintada | Rancho | Tolomosa | Tarija | Rio Seco | S. Pedro Sola | mejorado |
|------|----------|---------|--------|----------|--------|----------|---------------|----------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 20,057 | 31,143 | 16,543 | 20,714 | 20,171 | 34,600 | 26,714 | 15,143 |
| 2 | 20,629 | 32,486 | 16,057 | 19,943 | 20,514 | 35,600 | 28,086 | 14,229 |
| 3 | 21,000 | 31,286 | 16,943 | 21,686 | 19,429 | 35,571 | 27,543 | 14,829 |
| | | | | | | | | |
| Prom | 20,562 | 31,638 | 16,514 | 20,781 | 20,038 | 35,257 | 27,448 | 14,733 |

DESGASTE DE LOS ANGELES

| N.- | Chocloca | Pintada | Rancho | Tolomosa | Tarija | Rio Seco | S. Pedro Sola | mejorado |
|------|----------|---------|--------|----------|--------|----------|---------------|----------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 26,000 | 35,260 | 21,680 | 25,700 | 23,900 | 40,880 | 27,200 | 18,220 |
| 2 | 25,740 | 34,640 | 21,800 | 26,400 | 22,040 | 40,700 | 27,320 | 18,300 |
| 3 | 24,360 | 32,860 | 21,980 | 27,850 | 23,340 | 40,900 | 28,020 | 18,560 |
| | | | | | | | | |
| Prom | 25,367 | 34,253 | 21,820 | 26,650 | 23,093 | 40,827 | 27,513 | 18,360 |

Tabla 8 de Resultados de Fragmentación Dinámica y Desgaste de los Ángeles

3.4. Análisis y Evaluación de los resultados obtenidos

De los resultados obtenidos de cada uno de los bancos de préstamos que han sido estudiados en el presente proyecto obtenemos el siguiente análisis:

Se realizaron 3 ensayos de desgaste de los Ángeles y 3 ensayos de Fragmentación Dinámica. Como resultado se tiene para cada banco de préstamos una relación de puntos que representan tanto a la fragmentación como el desgaste. El análisis para cada uno de los materiales de acuerdo a su procedencia es la siguiente:

- **Material de la Chancadora Erika**

Una vez realizados dichos ensayos y realizada su respectiva representación gráfica del material de la Chancadora Erika, se puede observar que el rango que variación entre los 3 puntos no es de gran consideración por que le que se puede concluir de que la práctica fue realizada sin sufrir alteraciones entre cada uno de los 3 ensayos realizados.

- **Material de la Chancadora Tolomosa**

Realizados sus ensayos correspondientes se puede apreciar a través de la gráfica que no existe variación apreciable entre puntos de grafica por lo que se puede considerar su punto medio aceptable para su posterior análisis.

- **Material de la Chancadora SEDECA**

En esta grafica luego de realizado sus ensayos correspondientes de desgaste de Los ángeles y desgaste por Fragmentación. Se puede observar en la gráfica que no existe una variación entre ensayos por lo que refleja que el ensayo se realizó sin sufrir alguna alteración considerable.

- **Material de la Seleccionadora Pintada**

En su respectiva grafica se puede apreciar de todas las gráficas analizadas es la que mayor alteración presenta en el ensayo de desgaste de los ángeles, esto quizá se deba al error de operación en el desarrollo de la práctica mencionada.

- **Material de la Seleccionadora Tarija**

La gráfica correspondiente a este material estudiado no sufre mucha alteración entre ensayos tanto en los desgastes de los ángeles como en la fragmentación dinámica por lo que se puede considerar en el desarrollo de las practicas no se presentaron errores de operación.

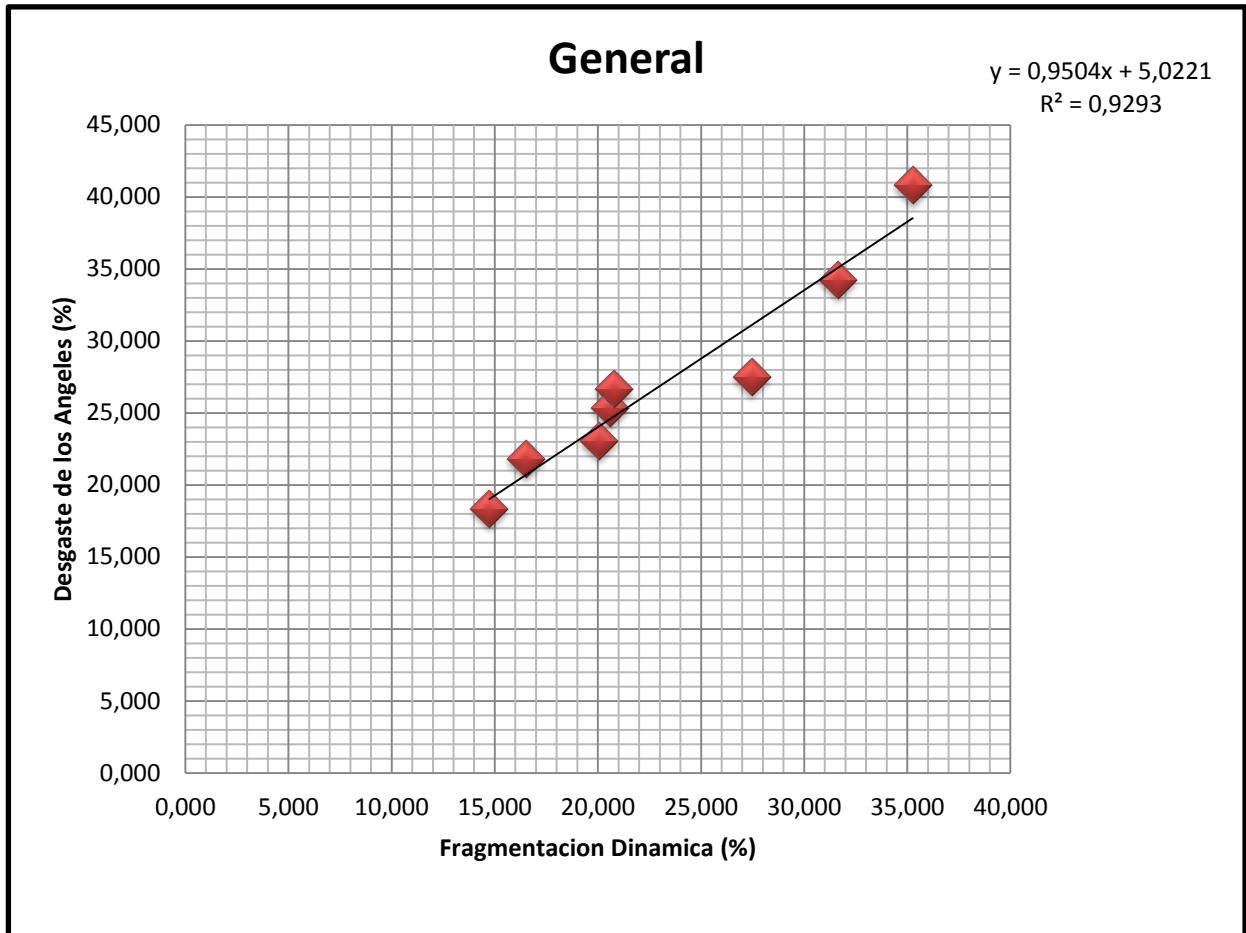
- **Material de San pedro de Sola**

De igual manera que las demás graficas no presenta alteración considerable entre ensayos.

- **Rio seco**

En este material y en sus respectivos ensayos tampoco tiene variaciones considerables por lo que se desarrolló los ensayos con total normalidad.

3.5. Correlación de los resultados de desgaste de los Ángeles y Fragmentación dinámica



Grafica 2 ecuación general de relación entre ensayo de Los Ángeles y Fragmentación Dinámica (Elaboración Propia)

Base estadística teórica

Existen procedimientos estadísticos que permiten estimar el comportamiento futuro de una variable. Lo que se pretende lograr es un pronóstico, utilizando datos históricos de la variable para saber, con la mayor exactitud posible, cómo se comportará ante una situación nueva de similares condiciones. En este estudio se utilizó un modelo de Pronóstico causal, donde se intenta determinar una relación de causa y efecto entre dos variables. Existen muchos métodos de Pronóstico causal, aquí se usó el de Regresión Lineal.

A través de la Regresión Lineal, se intenta describir el comportamiento de una variable (dependiente) en función de otra (independiente), relacionándolas por medio de una ecuación que representa una función lineal (una recta). En este trabajo se adoptó como variable independiente al valor de ensayo de Fragmentación Dinámica, y como dependiente, al del Desgaste Los Ángeles, por haber planteado el realizar ensayos de FD y poder predecir resultados de LA.

Es de conocimiento que para cada línea de tendencia se muestra un número llamado Coeficiente de Determinación R^2 . El mismo proporciona una medida de la bondad del ajuste de la Línea de Regresión a los datos. Este número indica la proporción de la variación en Y que puede ser atribuida a las variaciones en X. Puede tomar valores entre 0 y 1. Si el valor es 1, significa que todos los puntos observados están sobre la línea; si es 0, significa que los puntos están esparcidos. Cuanto mayor es el grado de ajuste de la línea de regresión a los datos, tanto más se acerca el coeficiente al valor 1, y en consecuencia, más confiable es la línea de regresión elegida.

Ensayos realizados y resultados obtenidos

Se analizaron varias canteras de distintos tipos de rocas presentes en nuestra región. Sobre estos materiales se realizaron ensayos de FD y LA. En principio, y de acuerdo a lo vigente en Bolivia, se realizaron los ensayos siguiendo las normas IRAM.

Correlación entre los resultados de ensayos LA y FD

Siguiendo los objetivos planteados en el presente trabajo, se ha analizado la posible relación entre los resultados de ambos ensayos, en la fracción granulométrica correspondiente: LA_B con FD28g.

Correlación entre Los Ángeles ‘B’ y Fragmentación Dinámica 28 golpes

Los resultados cruzados entre LA_B y FD28g muestran una buena correlación en conjunto. En la Grafica general se encuentran los resultados de 24 ensayos conjuntos, para los tipos de roca existentes en nuestra región. La ecuación de correlación obtenida es:

$$LA = 0.9504 * FD + 5.0221$$
$$R^2=0.9293$$

Observando esta ecuaciones puede notarse que: para un agregado con resultado de FD = 20 se obtendría un valor de LA_B = 24. La relación entre el valor de LA calculado está en el orden de la relación entre resultados de LA para distintas fracciones indicada antes del presente trabajo.

COMPARACION CON OTROS TRABAJOS

Según Bibliografía

TITULO: Fragmentación Dinámica

AUTORES

Laboratorio Vial IMAE, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y
Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.

División Investigaciones, Dirección Nacional de Vialidad.

PAIS: Argentina

En una investigación similar se puede comparar las ecuaciones obtenidas mediante el mismo procedimiento para obtener dichas ecuaciones.

Ecuación obtenida la investigación mencionada

$$\mathbf{LA = 1.31 * FD - 10.4}$$

$$\mathbf{R^2=0.86}$$

Ecuación obtenida la investigación mencionada

$$\mathbf{LA = 0.9504 * FD + 5.0221}$$

$$\mathbf{R^2=0.9293}$$

Se puede observar que la correlación son mayores a 0.80 presentando una buena correlaciona entre ambos métodos. Debido a que Tabla de correlación, Tomada del libro “Estadística y muestreo” de Ciro Martinez B. Ecoe ediciones. Bogotá. 2002

Presenta como:

Correlación excelente cuando R es mayor de 0,90 y menor de 1 (o $-1 < R < -0,90$)

Correlación aceptable cuando R se encuentra entre 0,80 y 0,90 (o $-0,9 < R < -0,8$)

Ambos valores están dentro de los rangos por lo que se puede decir que la correlación de ambos es excelente y aceptable.

La variación de la ecuación de una investigación a otra se debe a que las ecuaciones depende del tipo de agregado con el que se va a realizar los en sayos.

RANGO DE APLICABILIDAD

La realización del presente proyecto presenta un rango de aplicabilidad definiéndose de la siguiente manera:

Franja a utilizada para ensayo de desgaste de los ángeles:

| Tipo de franja | Muestra en el tamiz | |
|----------------|---------------------|-----------------|
| | pasa | retenido |
| Franja B | $\frac{3}{4}$ " | $\frac{1}{2}$ " |
| | $\frac{1}{2}$ " | $\frac{3}{8}$ " |

Tabla 9 norma usada en Bolivia AASTHO T-96

Franja a utilizada para ensayo de Fragmentación Dinámica:

| Norma | Granulometría | N.- golpes |
|-----------|---------------|------------|
| IRAM 1556 | >14-10 | 28 |

Tabla 10 IRAM 1556 para usar en el ensayo de Fragmentación Dinámica

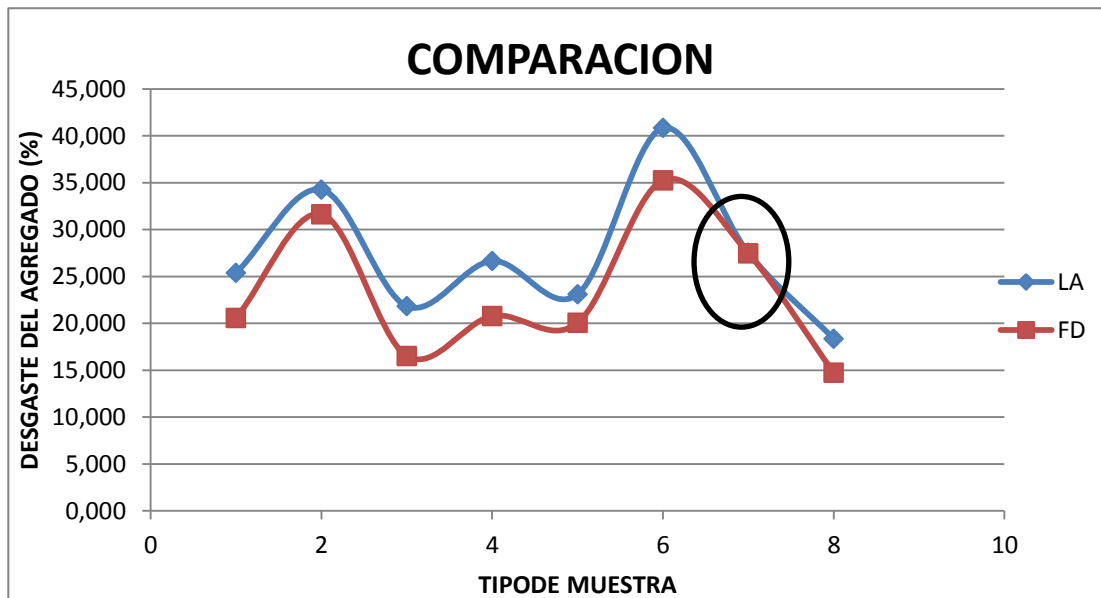
Además que la presente investigación solo está basada en material de la región, pudiendo presentar variación en el resultado de la ecuación si se utiliza material procedentes de otras zonas.

Por lo que las ecuaciones calculadas solo se limitan a calcularse con materiales de nuestra región. Pudiéndose ampliar la investigación siguiendo el mismo procedimiento determinado una nueva ecuación analizando otros materiales de otros departamentos de Bolivia.

COMPARACION GRAFICA LA Y FD

| | N. | FD (%) | LA (%) | % diferencia |
|---|------------------|--------|-----------------|--------------|
| 1 | Chocloca | 20,562 | 25,367 | 4,805 |
| 2 | Pintada | 31,638 | 34,253 | 2,615 |
| 3 | Rancho | 16,514 | 21,820 | 5,306 |
| 4 | Tolomosa | 20,781 | 26,650 | 5,869 |
| 5 | Tarija | 20,038 | 23,093 | 3,055 |
| 6 | Rio Seco | 35,257 | 40,827 | 5,570 |
| 7 | S. pedro de Sola | 27,448 | 27,513 | 0,066 |
| 8 | Mejorado | 14,733 | 18,360 | 3,627 |
| | | | promedio | 3,864 |

Tabla 11 variación entre ensayos de Los Ángeles y Fragmentación Dinámica (Elaboración Propia)



Grafica 3 Comportamiento de Los Ángeles y Fragmentación Dinámica (Elaboración Propia)

Se puede observar un comportamiento casi paralelo a excepción del ensayo con material de San Pedro de Sola esto puede ser a causa de una realización errónea en el procedimiento para determinar el desgaste por medio de la fragmentación ya que se usa una muestra representativa pequeña por lo que pequeñas pérdidas influyen de

manera considerable en el cálculo del desgaste e por lo que se puede decir que el comportamiento del desgaste es similar al de fragmentación.

La diferencia entre valores es que la fragmentación dinámica es menor en un 3,864% en promedio.

4.1. CONCLUSIONES

- La investigación sobre la relación de los ensayos de Fragmentación Dinámica y Desgate se pudo efectuar con agregados pétreos de yacimientos de la región cuya producción y utilización en proyectos viales es significativa.
- Se obtuvo muestras de materiales triturados de las chancadoras Erika, Tolomosa, Sedeca, seleccionadas de La Pintada, Tarija y naturales de San Pedro de Sola Y Rio Seco. Con los que se realizaron los ensayos necesarios para la investigación.
- El ensayo de la Fragmentación dinámica es posible realizarlo y sobre todo es aplicable en nuestra región, de fácil ejecución, con un equipo liviano y transportable. Esto permite realizar ensayos de control en obra y en cantera. Como ejemplo, en otros países se usa el ensayo FD en plantas de producción de agregados como ensayo de control de producción.
- Se concluye que existe una buena relación entre los resultados del ensayo Los Ángeles y el ensayo de Fragmentación Dinámica. En base a estos resultados puede concluirse que puede ser realizado el ensayo de FD en lugar de LA, no descartando este último totalmente, pero sí como una forma más rápida y expeditiva de realizar controles de producción y/o de aceptación de agregados.
- En los pliegos de especificaciones Técnicas del INV – 2002 para Mezclas densas el valor que es específica es el del Ensayo Los Ángeles. En los mismos indica que el resultado de LA debe ser menor o igual a 35% para la base y menor o igual a 25% para la rodadura.

Analizando este límite en términos de Fragmentación Dinámica con la ecuación de correlación indicada previamente, se obtendrá para la base $FD \leq 32\%$ y para la rodadura $FD \leq 21\%$. Que se encuentra muy próximas los valores de desgaste de los ángeles por lo que se podría usar como parámetro para especificaciones técnicas.

- se puede observar que para todos los valores de fragmentación dinámica disminuye de 2% hasta 5% concluyendo que los valores de fragmentación dinámica siempre serán menores entre dichos rangos

4.2. RECOMENDACIONES.-

- Se recomienda tener las precauciones necesarias al realizar la práctica del ensayo de fragmentación Dinámica ya que pérdidas pequeñas de partículas una vez realizado el ensayo puede ocasionar variación considerable en el porcentaje de desgaste.
- Este ensayo de lo realizo con las siguientes franjas LA B vs FD 28g, dando buenos resultados de correlación entre ambos ensayos para determinar la resistencia de agregados. Se recomienda continuar la investigación analizando la siguiente franja LA C Vs FD 22g para ampliar la aplicabilidad de ambos métodos.
- Es recomendable trabajar con la mayor variedad de materiales para tener una mejor correlación entre ambos métodos.
- Una vez realizado dicho proyecto se recomienda la utilización del ensayo de fragmentación en obra y su inclusión en las especificaciones como ensayo alternativo al ensayo de los ángeles.