

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Los agregados destinados a formar parte de los pavimentos flexibles para poder brindar un soporte adecuado a las solicitaciones de carga de tráfico vehicular, durabilidad, resistencia, seguridad, requieren de algunos ensayos de caracterización. Actualmente en Bolivia, se destaca el Desgaste de los Ángeles que mide la abrasión, impacto y la fricción de un agregado mientras que otros países se utilizan el ensayo de Fragmentación Dinámica como un complemento al anterior, debido a que proporciona información de la resistencia al impacto.

Según varios artículos escritos por diversos autores afirman que existe una gran correlación de resultados entre los ensayos de Fragmentación Dinámica por Impacto y el Desgaste de los Ángeles utilizando agregados del lugar donde se realizó la investigación. Por lo mencionado anteriormente, mediante el presente trabajo se pretende llevar a cabo un estudio extenso y cuidadoso en la búsqueda de la correlación de los resultados entre la resistencia de impacto y abrasión utilizando agregados pétreos de la región cuyos tamaños de partículas sean de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ " para ser empleados en mezclas asfálticas, manejando un nivel de confianza del 95%, esto se logrará mediante pruebas de laboratorios y trabajo en gabinete.

La correlación entre los resultados de las resistencias al impacto y abrasión, permitirá establecer si se podrá optar por el ensayo de Fragmentación Dinámica como un ensayo alternativo al Desgaste de los Ángeles, además de identificar la calidad de agregados que se van a emplear en la construcción de pavimentos flexibles más precisamente en mezcla asfáltica. El ensayo de Fragmentación Dinámica es un método de fácil aplicación práctica, ya que requiere de una poca cantidad de material y un tiempo de ejecución reducido. En lo social permitirá que futuros trabajos de Ingeniería puedan utilizar el ensayo de Fragmentación Dinámica por Impacto para poder establecer la resistencia a la abrasión del agregado, mediante el uso de la ecuación de correlación desarrollada en el presente trabajo, proporcionando así facilidad y comodidad al investigador.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación académica

Los agregados pétreos ocupan una gran parte del pavimento flexible, poder determinar la calidad de estos mediante una propiedad como es la dureza es fundamental al momento de emplearlos en capa de rodadura. Uno de los ensayos más conocidos es el Desgaste de los Ángeles que evalúa la resistencia a la abrasión del agregado que por sí solo, es insuficiente para darle una valoración concreta. Es por eso que existe el método de Fragmentación Dinámica que valúa la resistencia al impacto del agregado, usando ambos métodos se puede tener una representación más específica sobre el tipo de agregados que se van a emplear.

1.2.2. Justificación sobre la aplicación técnica – práctica

El presente trabajo de investigación pretende establecer si es que existe la correlación entre los ensayos de Fragmentación Dinámica por Impacto y el Desgaste de los Ángeles a partir de una serie de ensayos realizados en laboratorio con una confianza del 95%, utilizando agregados pétreos que se emplearán en mezclas asfálticas.

Además, con los resultados obtenidos se podrá evaluar si es que se puede emplear el método de Fragmentación Dinámica como un ensayo alternativo al Desgaste de los Ángeles ya que ambos buscan demostrar una de las propiedades más importantes de los agregados como es la dureza.

1.2.3. Justificación e importancia social.

En el ámbito social permitirá que futuros trabajos de investigación relacionados con la calidad de los agregados pétreos, se puedan determinar mediante los diferentes ensayos ya establecidos, además de poder determinar la resistencia a la abrasión o al impacto mediante una ecuación que correlacione ambos ensayos de manera que ahorre tiempo, costo y trabajo.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

En Bolivia, los pavimentos flexibles son el principal medio de conexión entre las diferentes ciudades o países, debido a su costo y tiempo de vida útil. Uno de los problemas más grandes que presentan actualmente los pavimentos flexibles es cumplir el tiempo de vida útil para el cual ha sido diseñado, que generalmente son entre 10 y 15 años. Hoy en día se puede observar que, en la gran mayoría de los casos, no cumplen con este requerimiento y que el deterioro cada vez incrementa más y más. Esto puede ser debido a diferentes factores como ser calidad de los materiales (agregados), condiciones meteorológicas, las cargas del tráfico, etc.

Para poder garantizar la calidad de los agregados que ocupa el mayor porcentaje en un pavimento, hay que controlar la propiedad de dureza que proporcionará información esencial del agregado a emplear, controlando la dureza de los agregados antes de su empleo, podemos garantizar que el resultado en conjunto obtenido va presentar las mismas particularidades, es decir, de buena calidad y se reduciría uno de los factores del deterioro. Para ello, es necesario determinar el porcentaje de desgaste de los agregados y el ensayo más aceptado es el Desgaste de los Ángeles, este método por sí sólo, es insuficiente para la valoración del agregado. Por tal motivo se plantea usar el ensayo de Fragmentación Dinámica por Impacto como un ensayo alternativo y complementario al Desgaste de los Ángeles debido a que brinda información de la resistencia al impacto de agregado, es mucho más sencillo, necesita poca cantidad de muestra, se lo puede realizar en obra ya que se transportar fácilmente, los resultados son inmediatos y la prueba lo puede realizar uno mismo para tener resultados más confiables. Los resultados de los ensayos, se expresan como el porcentaje de desgaste del material y representa el agregado durante su etapa de trituración y mezclado en la conformación de la mezcla.

1.3.2. Delimitación del tiempo

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en los meses de febrero hasta junio del año 2023.

1.3.3. Delimitación del espacio

La investigación se realizó con agregados de la comunidad de San Andrés provenientes de cuencas hídricas aledañas a estas.

1.3.4. Formulación del problema

¿Se puede establecer una correlación entre los resultados de los ensayos de Fragmentación Dinámica por Impacto y el Desgaste de los Ángeles?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Correlacionar los resultados de los ensayos de Fragmentación Dinámica por Impacto y Desgaste de los Ángeles mediante el uso de la Estadística para obtener una ecuación representativa y de fácil aplicación en trabajos de Ingeniería.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información concreta sobre Fragmentación Dinámica y Desgaste de los Ángeles.
- Seleccionar muestras representativas para ejecutar los ensayos.
- Establecer una ecuación representativa y de fácil aplicación entre los ensayos de Fragmentación Dinámica y Desgaste de los Ángeles.
- Evaluar la posibilidad de utilizar el ensayo de Fragmentación Dinámica por impacto como un método alternativo al Desgaste de los Ángeles.
- Establecer si los valores de los ensayos de Fragmentación y Desgaste de los agregados están dentro de lo permitido para ser utilizados en mezclas asfálticas para pavimento flexible.

1.5. Alcance

En la presente investigación se llevó a cabo con agregados pétreos que se puedan emplear en mezclas asfálticas para pavimento flexible cuyos tamaños de partículas sean de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ", debido a que en los pliegues de las especificaciones de la A.B.C. para el ensayo de Desgaste de los Ángeles, se presentan cuatro tipos de gradación de agregados para mezclas asfálticas A, B, C, D. La gradación tipo "B" es la que presenta esos tipos de tamaños de partículas y es la que se va emplear porque el ensayo de Fragmentación

Dinámica se realiza únicamente con agregados de $\frac{3}{8}$ ", para así poder obtener partículas de tamaño similar en el estudio y garantizar un desarrollo de investigación más eficaz.

Los agregados se obtuvo del banco de préstamo C.O.P.S.A. "Construcciones y Pretensados San Andrés" en una cantidad necesaria y suficiente para llevar adelante 75 ensayos, de los cuales, 60 son pruebas definitivas, ensayos Fragmentación Dinámica por Impacto y Desgaste de los Ángeles, que se realizó siguiendo los procedimientos descritos en las normativa nacional e internacional correspondiente para cada ensayo, para alcanzar así, una buena confiabilidad en los resultados de los ensayos y en el tipo de correlación al establecer así la ecuación más precisa.

En este trabajo se manejaron dos variables que son la resistencia a la abrasión (D.A) y la resistencia al impacto (V.I.A.). En tal sentido corresponde al nivel correlacional por lo que la variable no es manipulada por el investigador lo que responde a un tipo de diseño "No experimental transeccional" debido a que la información se realizará en un momento único para desarrollar la investigación.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Formulación de la hipótesis

La resistencia al impacto y a la abrasión de los agregados pétreos presenta una elevada correlación.

1.6.2. Conceptualización de las variables

Resistencia a la abrasión

Es el valor que se obtiene del ensayo del Desgaste de los Ángeles que se realiza para determinar la resistencia a la abrasión, el impacto y la fricción de los agregados, se mide en porcentaje (%).

Resistencia al impacto

Es el valor que se obtiene por el ensayo de Fragmentación Dinámica para evaluar el agregado al impacto, se mide en porcentaje (%).

1.6.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1.1 Operacionalización de la variable “resistencia a la abrasión”

Variable	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Resistencia a la abrasión	Muestra de agregado	g	Preparación previa de la muestra según normativa
	Secado en horno	°C	Humedad
	Desgaste de los Ángeles	%	Lo que pasa el tamiz N.º 12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2 Operacionalización de la variable “resistencia al impacto”

Variable	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Resistencia al impacto	Muestra de agregado	g	Preparación previa de la muestra según normativa
	Secado en horno	°C	Humedad
	Fragmentación Dinámica	%	Lo que pasa tamiz N° 8.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Marco Conceptual

2.1.1. Agregados Pétreos

2.1.1.1. Definición de agregados pétreos.

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).

2.1.1.2. Tipos 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:

2.1.1.2.1. Agregados Naturales

Son aquellos resultantes de procesos geológicos. Generalmente presentan formas redondeadas debido a la erosión.

Figura 2.1 Agregados naturales



Fuente: <https://360enconcreto.com/blog/>

2.1.1.2.2. 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.

Figura 2.2 Agregados triturados

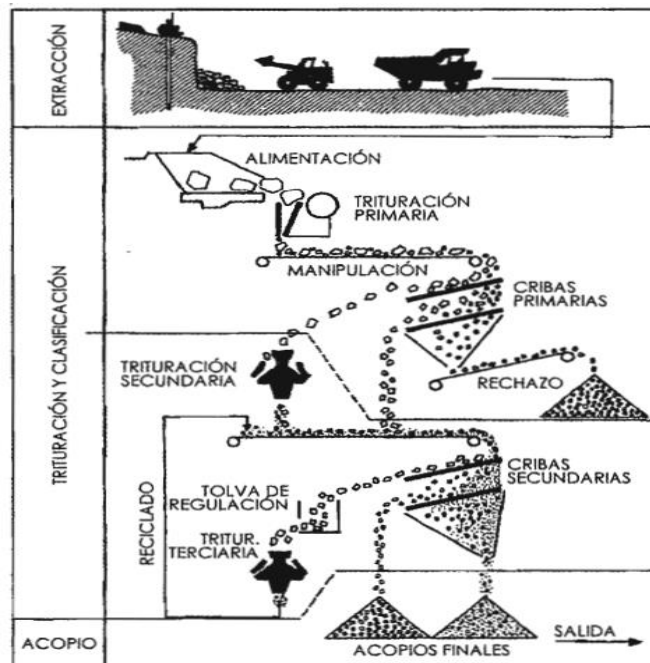


Fuente: <https://sites.google.com/a/correo.udistrital.edu.co/>

Procesos de fabricación de agregados triturados

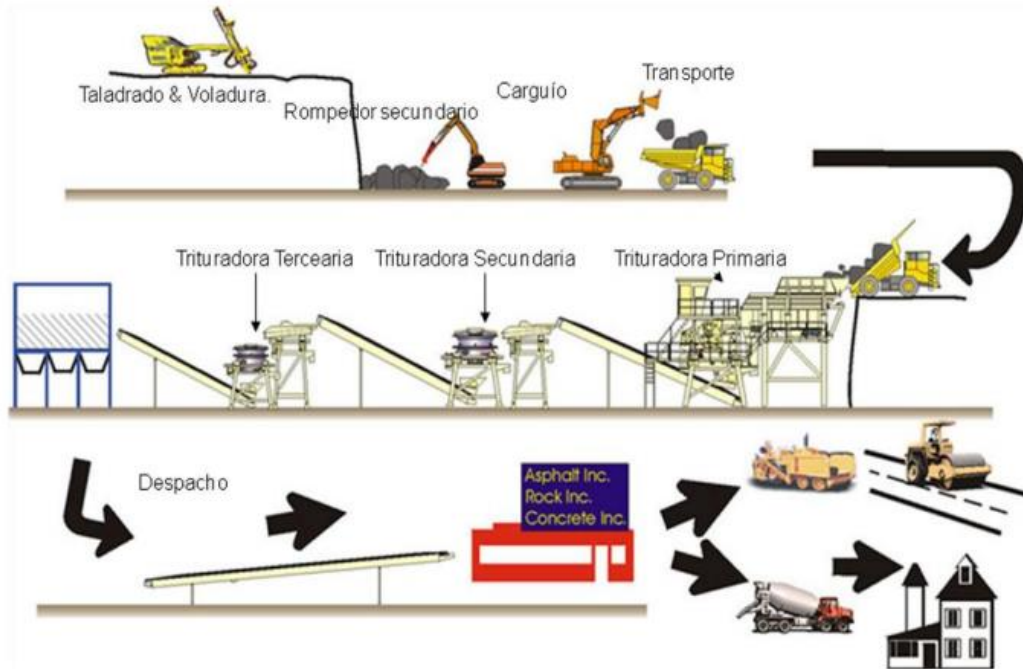
La fabricación de los agregados triturados se resume en la siguiente figura.

Figura 2.3 Proceso de fabricación de agregados triturados



Fuente: Ingeniería de Carreteras Carlos K.

Figura 2.4 Ciclo de trituración



Fuente: Planta industrial de agregados Carlos V.

Generalmente las plantas trituradoras tienen 3 secciones:

Sección de trituración y clasificación primaria.

La primera etapa de trituración, clasificación y transporte del material comienza con un abastecimiento de cantera, que entrega el material de tamaño 0 – 500 mm.

Sección de trituración y clasificación secundaria.

En esta etapa se clasifica el material para asegurarnos que el material que ingresa a la trituradora secundaria sea un material con un tamaño de piedra entre 50 – 250 mm. El material, menor a 50 mm. es transportado al stock de terciaria, esto sirve para que el material no pase por la trituradora ya que es un material fino que solo disminuirá la capacidad de trituración y desgastaría el planchaje del equipo sin ningún beneficio.

Sección de trituración y clasificación terciaria.

Esta sección recibe un material de 0 – 50 mm. y es enviado a su clasificación en 2 zarandas en paralelo para asegurarnos que el material cumpla con el tamaño de producto final normado y no circule en el ciclo de trituración y clasificación. El material que es retenido en la clasificación ingresa a la trituradoras terciarias, para ser tamizado y enviado como producto final.

Clasificación de las plantas trituradoras

Las plantas de trituración se clasifican en:

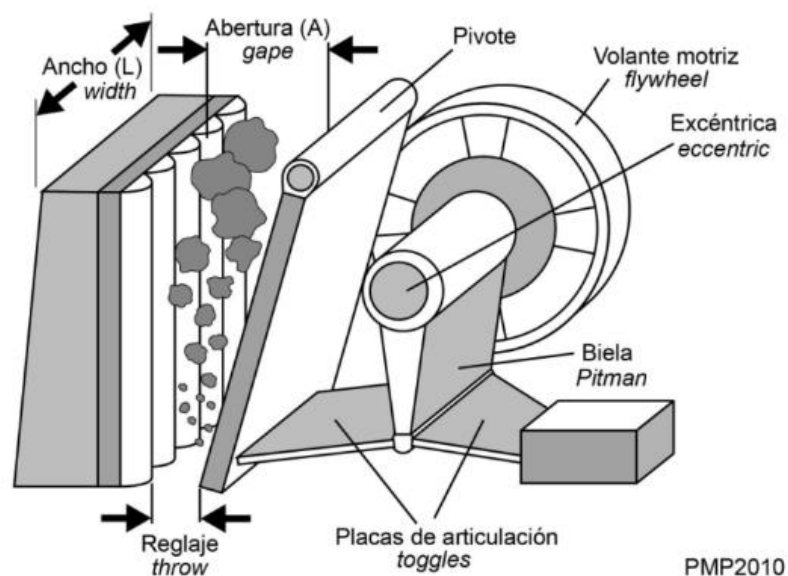
a) Trituradoras de aplicación de presión

Mandíbulas.

Estas aplican fuerzas compresivas al material alimentado hasta alcanzar la reducción del tamaño. Este tipo de trituradora es de uso común en la industria cementera y sus características principales son:

- Diseño relativamente sencillo.
- Bajo costo de mantenimiento

Figura 2.5 Esquema de trituradora de mandíbulas



Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/trituradora/>

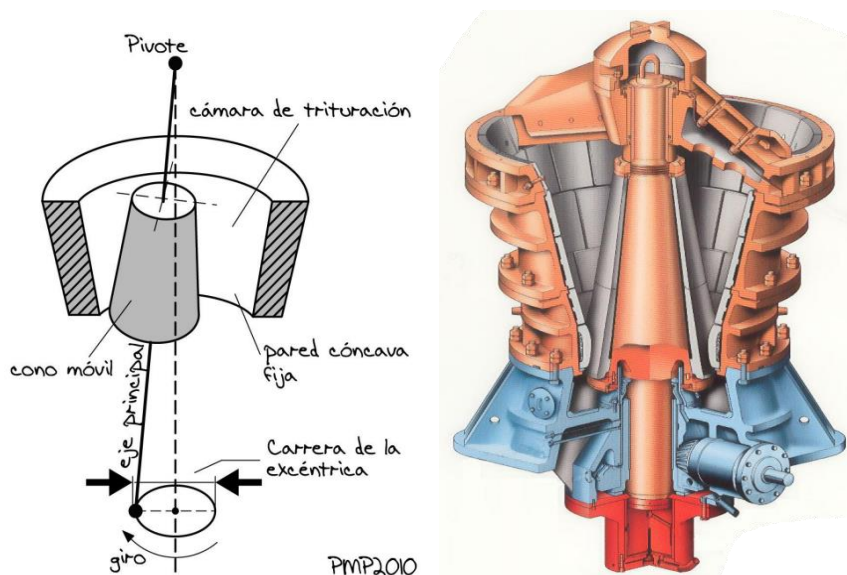
La cara de las mandíbulas de la trituradora está protegida con placas de acero de manganeso. Estas no son únicamente resistentes al desgaste, sino que además están diseñadas para aumentar la acción de trituración.

Las trituradoras de mandíbulas son generalmente usadas como trituradoras primarias, algunas de sus desventajas son el bajo grado de reducción y la tendencia a atascarse con material húmedo o contaminado con material arcilloso.

Giratorias.

El grado de reducción de la alimentación es alcanzado principalmente por la aplicación de fuerzas compresivas, pero también parcialmente por fuerzas de flexión. La trituración se lleva a cabo entre las caras de un cono truncado invertido y un cono pequeño en posición normal girando en el centro del truncado, la flecha principal está inclinada normalmente en un ángulo entre 2 y 3 grados de la vertical, cuando está girando ocasiona que el pilón periódicamente se acerque y se aleje del cono triturador estacionario, esto hace que el material atrapado entre las dos superficies esté sujeto a fuerzas de compresión lo que hace que el material se rompa y cambie de tamaño.

Figura 2.6 Trituradora giratoria.



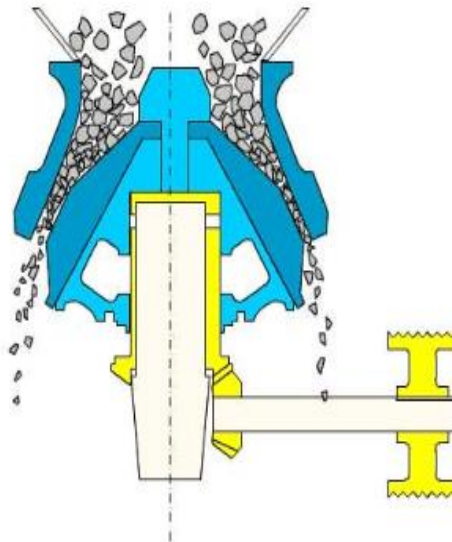
Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/trituradora/>

Las trituradoras giratorias son esencialmente usadas como primarias y operan en un grado de reducción alrededor de 5 o 6 comparadas con las de mandíbulas, estas tienen 2 o 3 veces más capacidad para un tamaño igual de abertura de alimentación, no son capaces de manejar materiales arcillosos.

De cono.

El principio de trituración de las Symons o de cono es el mismo de las giratorias (compresión entre un cono estacionario y uno girado) sin embargo, en esta máquina el cono estacionario está montado con el diámetro más grande hacia abajo sobre el cono giratorio, la flecha principal en la cual el cono triturador está montado, además está apoyado en un excéntrico en el extremo inferior de la misma, la parte superior actúa como una mesa de dispersión en la alimentación de la trituradora, el claro entre el cono estacionario y el giratorio disminuye a medida que se acerca a la salida. El tiempo que transcurre para que la partícula cruce el sistema debe ser menor al que transcurre para que el cono de una revolución completa del excéntrico, este requerimiento demanda altas velocidades del cono triturador, más que en las trituradoras giratorias.

Figura 2.7 Trituradora de cono



Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/trituradora/>

Las trituradoras Symons se utilizan como secundarias o terciarias dando un tamaño de producto consistente y un grado de reducción de alrededor de 4 a 5, esta no es recomendable para materiales arcillosos.

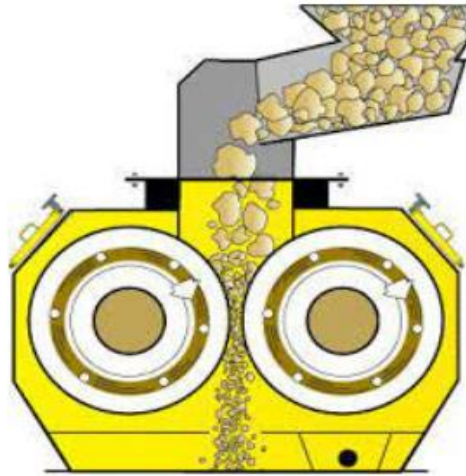
De cilindros.

En estas trituradoras la reducción del tamaño es lograda por el paso de material entre dos rodillos girando, los cuales trituran el material por compresión, el tamaño de las partículas trituradas depende de la distancia entre los roles. Dependiendo del material a triturar, la superficie de los rodillos puede ser lisa ranurada (axial o circunferencial) o dentadas.

Para una trituradora de rodillos con un juego sencillo de los mismos puede ser esperado un grado de reducción entre 5 y 7. Sin embargo, éste puede ser mejorado con el uso de rodillos dobles o triples, los cuales pueden ser instalados unos arriba de otros. Los rodillos instalados en la parte superior trabajan como trituradora primaria y los de abajo como secundaria. Las trituradoras triples de rodillos solamente son usadas para operaciones especiales de trituración. Existen dos tipos de trituradoras de rodillos con dientes, una que tiene simple rodillo y la otra con dos rodillos.

En la de rodillos simple el triturado es llevado a cabo entre el rodillo y una placa posterior la cual puede girar sobre su parte superior y de esta manera ajustar la abertura de la descarga. La placa también está montada sobre resortes con el fin de permitir el paso de materiales no triturables. Por lo general, esta trituradora se usa como secundaria para materiales arcillosos de dureza media. Los dientes de esta, tienen un desgaste considerable, pero, se pueden reconstruir con soldadura para mantener su perfil longitudinal.

Figura 2.8 Trituradora de cilindros



Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/trituradora/>

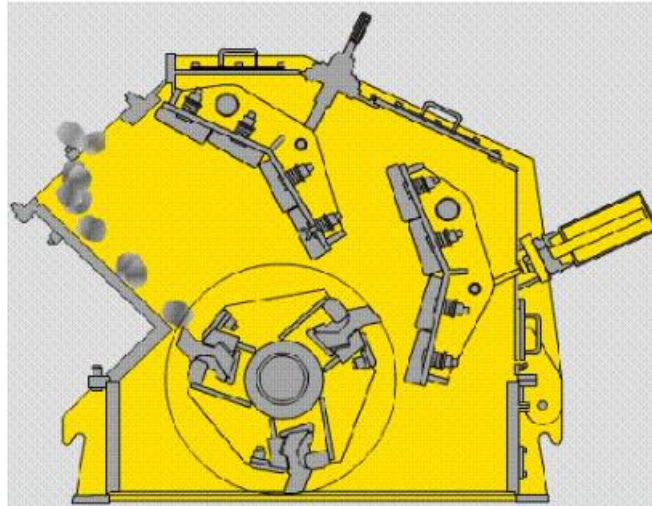
b) Trituradoras por choque

Por impacto.

Hay diferentes tipos de trituración por impacto. Su principio de operación general es alimentando el material sobre un rotor girando que tiene barras de golpe fijadas a lo largo de una caja de construcción pesada. Por lo general el material alimentado es lanzado contra las placas de impacto aseguradas dentro de la caja, la reducción del tamaño depende de la fuerza con la que el material golpea esas placas o son golpeados por las barras. El porcentaje mayor de la reducción se lleva a cabo cuando las partículas son golpeadas por las barras y una cantidad mucho menor cuando estas son lanzadas hacia las placas de impacto, un porcentaje pequeño se logra cuando las partículas del material chocan entre sí.

El diseño de las placas de impacto proporciona protección contra materiales no triturables, tales como chatarra, dientes de traxcavos, etc. Cuando material de este tipo golpea las placas estas se retractan permitiendo al material pasar a través de la descarga de la máquina.

Figura 2.9 Trituradora por impacto



Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/trituradora/>

Algunos de los tipos de trituradoras de impacto se clasifican como:

Producto grueso

Es principalmente usada como trituradora primaria para todo tipo de material, la cual puede aceptar un tamaño máximo de alimentación de aproximadamente 1600 mm. y reducirla a menos de 150 mm. a altas capacidades de producción aproximadamente 1000 ton/hr.

Producto fino

Es la más apropiada para tamaños de alimentación de alrededor de 750 mm. reduciéndolo a menos de 50 mm. con una capacidad de 1400 ton/hr.

Para acoplamiento a un molino

Esta máquina alimenta directamente a un molino y garantiza un tamaño uniforme de producto.

Para rocas duras

Esta máquina está diseñada para trabajar con materiales duros, pero limitando el tamaño de alimentación a aproximadamente 500 mm. y reducirla a menos de 35 mm.

Algunas trituradoras de impacto están equipadas con barras rompedoras en lugar de placas de impacto. Estas barras están forradas con mangas o camisas de acero al manganeso las cuales son fácilmente reemplazables cuando se desgastan.

Trituradoras de impacto combinadas

Estas fueron diseñadas para producir material de 25 mm. alimentadas con material directo de la cantera (con grado de reducción de aproximadamente 50). En virtud de que su doble rotor realiza simultáneamente la trituración primaria y secundaria dentro de la misma máquina.

De martillos. (rotor sencillo o doble)

Su principio de operación se basa en la fuerza de impacto para lograr la reducción de tamaño y existe una similitud con los objetivos de las trituradoras de impacto. En lugar de tener barras golpeadoras montadas en el rotor, tienen martillos (de acción libre) pivoteado en la periferia del rotor.

2.1.1.2.3. Agregados Artificiales

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

Figura 2.10 Agregados artificiales



Fuente: [https://es.dreamstime.com/arcilla-expandida-ligera - image228725533](https://es.dreamstime.com/arcilla-expandida-ligera-image228725533).

2.1.1.3. Descripción de las características principales de los agregados pétreos para pavimentos

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

2.1.1.3.1. Forma y angulosidad.

La forma de las partículas del agregado grueso afecta fundamentalmente, al esqueleto mineral.

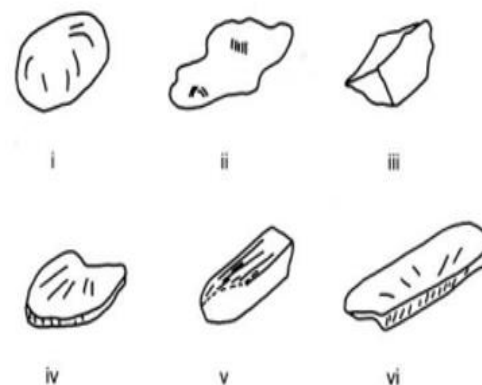
Esqueleto mineral

Es la resistencia mecánica del conjunto de agregados. Estructura que brinda soporte al pavimento, depende de la distribución de los agregados.

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. 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 2.11 Forma de las partículas de agregado pétreos



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

Fuente: Materiales básicos Alejandro P.

Los agregados pétreos generalmente más deseados para la elaboración de mezclas asfálticas son aquellos con una alta proporción de partículas aproximadamente equidimensionales. (Padilla Rodríguez, 2016).

2.1.1.3.2. 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, sometiénolas 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 que me determina la resistencia al desgaste de los agregados.

2.1.1.3.3. Resistencia al pulimento

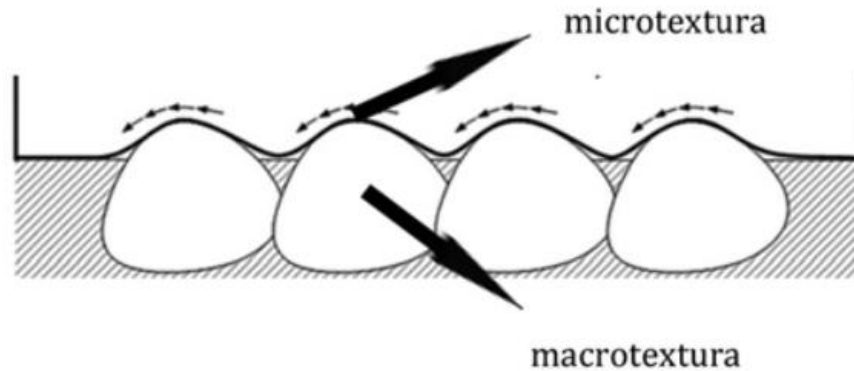
La resistencia al pulimento de las partículas del agregado, es la resistencia a perder aspereza en su textura superficial, tiene gran importancia desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento cuando dichas partículas van a ser empleadas en una capa de rodadura. Para su evaluación se han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

“La textura superficial es la característica geométrica de la superficie de rodado formada por áridos y asfalto en unión.” (Barraza E. 2004)

Es una característica que debe tener la carpeta de rodadura para alcanzar un nivel de seguridad en su resistencia al patinaje ya sea al momento del frenado, controlando al vehículo en zona de curvas o en distintas maniobras que el conductor se vea obligado a realizar.

A pesar de esta clasificación, diferentes estudios han llegado a la conclusión que los factores que dependen de un pavimento para lograr niveles de fricción adecuados en contacto con un neumático son únicamente la macrotextura y la microtextura.

Figura 2.12 Microtextura y macrotextura



Fuente: <https://www.scielo.cl/scielo.php>.

Microtextura

Es la textura superficial de los agregados pétreos. Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una microtextura áspera. (Barraza E. 2004)

Macrotextura

La macrotextura es la textura superficial del propio pavimento. Son el conjunto de partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Esta es importante ya que permite evacuar el agua de la superficie, de tal manera que ésta se pueda quedar en las depresiones.

Es así como existirá mayor contacto entre el neumático y el pavimento.

Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una macrotextura gruesa. (Barraza E. 2004)

2.1.1.3.4. 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.

Figura 2.13 Adherencia agregado - ligante asfáltico



Fuente: <https://www.carreteras-pa.com/reportajes/la-adherencia-en-la-vida-del-pavimento>.

2.1.1.3.5. 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.

2.1.1.3.6. 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.

2.1.1.4. Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño

2.1.1.4.1. Agregado grueso

2.1.1.4.1.1. Definición

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.

Figura 2.14 Agregado grueso



Fuente: <https://www.arenalospinos.com/materiales-para-concreto>.

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

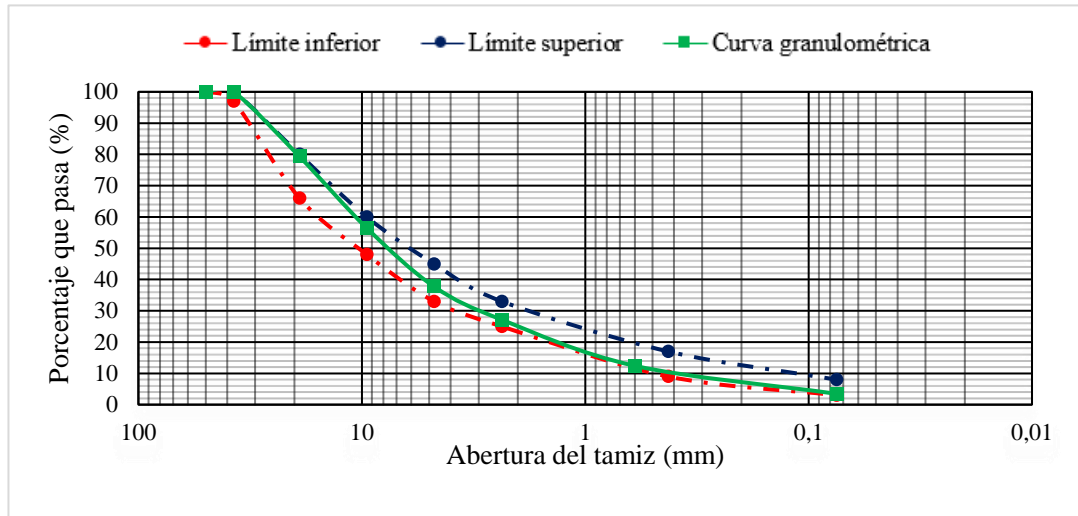
Granulometría.

Definimos granulometría como el porcentaje de tamaños de partículas distribuidas en una masa de agregado. El análisis granulométrico, consiste en hacer pasar una determinada cantidad de agregados por una serie de tamices estándar, dispuestos de mayor a menor.

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).

Los resultados de un análisis granulométrico se visualizan mejor en una gráfica, a lo que llamamos curva granulométrica porque se puede apreciar la distribución del agregado. Para graficar la curva granulométrica, se relacionan en el eje de las ordenadas en escala aritmética el porcentaje que pasa por los tamices, y sobre las abscisas en escala logarítmica la abertura de los tamices.

Gráfica 2.1 Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia.

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.

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.

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.

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 realizar 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. Padilla Rodríguez A. (2016).

2.1.1.4.2. Agregado fino

2.1.1.4.2.1. Definición

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz N°4 y queda retenido en el tamiz N° 200.

Figura 2.15 Agregado fino



Fuente: <http://pedregal.co.cr/web/?cat=3>

2.1.1.5. Definición de mezclas asfálticas.

Las mezclas bituminosas (o asfálticas), que también reciben usualmente la denominación de aglomerados, están formadas por una combinación de áridos y un ligante hidrocarbonado. (Kraemer C. 2004)

Figura 2.16 Mezcla asfáltica



Fuente: https://www.freepik.es/fotos-premium/primer-plano-mezcla-asfaltica-caliente-que-aplica-al-bache_43197065.htm.

2.1.2. Pruebas para determinar la propiedad de dureza de los agregados pétreos

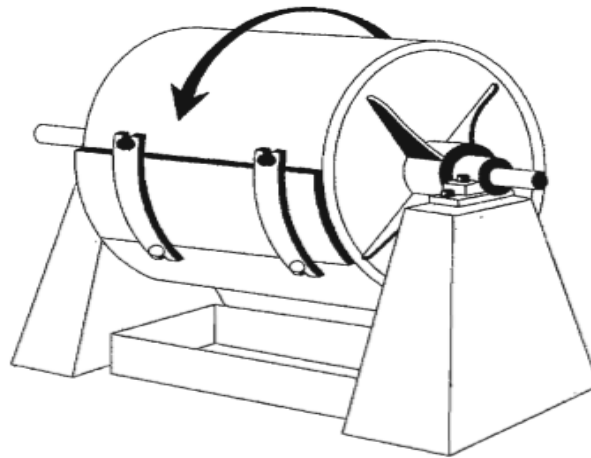
2.1.2.1. Máquina de Desgaste de los Ángeles (Norma ASTM C-131)

La máquina de los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en sus extremos, que tiene un diámetro interior de 710 ± 5 mm, y de largo tiene 510 ± 5 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 2.17 Máquina de los Ángeles



Fuente: Ingeniería de carreteras Kraemer C.

2.1.2.2. Procedimiento de la prueba.

2.1.2.2.1. Equipo y material

- Máquina de abrasión de los ángeles.
- Esferas de acero con diámetro de 47.6 mm con peso comprendido entre 390 y 445 g. Cada una.
- Mallas: 3", 2.5", 2.0", 1.5", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°10, N°12.
- Horno de termostato que mantenga una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza de capacidad de 20 kg y aproximación de 1 g.

2.1.2.2.2. Procedimiento

1. De la muestra del material, se toma por cuarteo una porción representativa de 20 kg y aproximación de 1 g.
2. Se determina el peso específico o volumétrico del material seco y suelto, así como la composición granulométrica de la muestra de 20 kg.
3. Se criba la muestra por la malla N°12 y se lavan sobre dicha malla las partículas retenidas, pudiendo evitarse el lavado cuando se observen limpias.
4. Se seca en el horno la fracción retenida en la malla N°12 a una temperatura de hasta $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener el peso constante.
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 al uso que se pretende dar.

6. De acuerdo con el tipo de muestra seleccionado se clasifica el material retenido en la malla N°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 **Wi** en gramos.

Pasos a seguir

1. Se determina mediante la tabla el número de esferas que forman la carga abrasiva, tomando en cuenta el tipo de la muestra de prueba seleccionado.
2. Se coloca dentro del cilindro de la máquina de los Ángeles la muestra de prueba con peso **Wi** 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 A, B, C, y D, y de 1000 revoluciones para los tipos E, F y G.
4. A continuación, se saca la muestra del cilindro, se vacía en la charola y se criba por la malla N°12; se pesa la fracción retenida en dicha malla y se registra su peso **Wf** en g.
5. El porcentaje de desgaste del agregado se determina por la siguiente fórmula:

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

Donde:

D.A.= Desgaste del agregado, en %.

Wi= Peso inicial de la muestra, en g.

Wf= Peso final de la muestra, en g.

2.1.2.3. Equipo de Fragmentación Dinámica (Normas BS – 812)

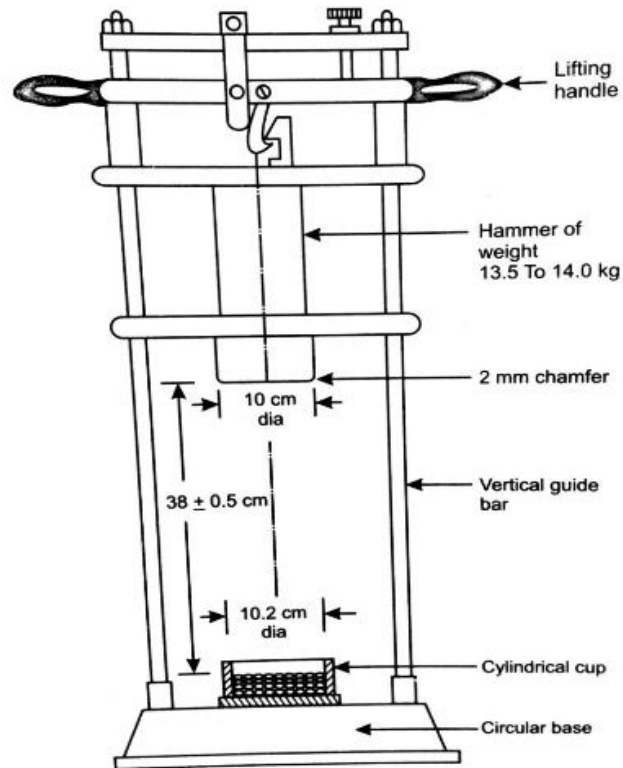
El equipo de Fragmentación Dinámica consta de:

- Un molde cilíndrico de 102 mm de diámetro interior, de 52 mm de altura y de 10 mm de espesor.
- Cuerpo cilíndrico de 14 kg de masa y de 100 mm de diámetro, que este 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 agregados.

- El aparato debe colocarse sobre un bloque de hormigón con el fin de reducir la influencia de la condición de apoyo.

Figura 2.18 Esquema del equipo de Fragmentación Dinámica por Impacto



Fuente: Norma BS 812 - 112

Figura 2.19 Equipo de Fragmentación Dinámica por Impacto utilizado



Fuente: Elaboración propia

2.1.2.4. Procedimiento de la prueba

1. Se toma 500 g. de agregados que pasen un tamiz de $\frac{1}{2}$ " y queden retenidos en un tamiz de $\frac{3}{8}$ ". El agregado que comprende la muestra de ensayo debe secarse en un horno durante un período de veinticuatro horas a una temperatura de 100 a 110 °C y enfriarse.
2. De los 500 g. secados se pesa 350 g. (peso A) y se llena el vaso desmontable en tres capas. La primera aproximadamente con un tercio del agregado y debe apisonarse con 25 golpes con una varilla apisonadora. Se agregará otra cantidad similar de agregado y se dará un apisonamiento adicional de otros 25 golpes. Finalmente se completa los 350 g. y se apisona de nuevo con 25 golpes.
3. La máquina de impacto deberá descansar sin acuñar ni empaquetar sobre la placa, bloque o piso de nivel, de manera que quede rígida y las columnas guía del martillo estén verticales.
4. La copa se fijará firmemente en su posición en la base de la máquina y la totalidad de la muestra de ensayo se colocará en ella y se compactará mediante un solo apisonado de 25 golpes de la varilla apisonadora.

5. El martillo se levantará hasta que su cara inferior esté 380 mm por encima de la superficie superior del agregado en la copa y se dejará caer libremente sobre el agregado. La muestra de prueba se someterá a un total de 15 de tales golpes, cada uno de los cuales se dará en un intervalo de no menos de un segundo.
6. Luego, el agregado triturado se retirará de la copa y se tamizará en su totalidad en el tamiz de 2,36 mm hasta que no pase una cantidad significativa adicional en un minuto. La fracción que pasa por el tamiz se pesará con una precisión de 0,1 g (Peso. B).
7. La fracción retenida en el tamiz también se pesará (Peso C) y, si el peso total (C+B) es inferior al peso inicial (Peso A) en más de un gramo, el resultado se desechará y se realizará una nueva prueba.

La relación entre el peso de los finos formados y el peso total de la muestra en cada prueba se expresará en porcentaje, registrándose el resultado obtenido.

$$V.I.A. = \frac{B}{A} * 100$$

Donde

A= Peso en g de la muestra seca – peso total

B= Peso en g de fracción que pasa por el tamiz de 2,36 mm.

V.I.A.= Valor de impacto del agregado (%).

Precauciones:

Se debe tener cuidado al dar golpes con el martillo.

Los agregados deben secarse al horno.

La masa debe anotarse lo más cerca posible de 0,1 g.

El intervalo de tiempo entre los golpes no debe ser inferior a 1 s.

Los áridos se clasifican en función de su valor de impacto como se observa a continuación.

Tabla 2.1 Clasificación del agregado según el valor de impacto

Valor de impacto	Clasificación
< 10%	Excepcionalmente fuerte
10 - 20 %	Fuerte
20 - 30 %	Satisfactorio
> 30 %	Débil

Fuente: Norma BS 812 - 112

2.2. Marco Normativo

Todos los ensayos que se llevó a cabo están basados mediante las siguientes normas:

Tabla 2.2 Marco normativo

Parámetro	Norma	
Extracción y preparación de muestras	ASTM C-75	AASHTO T2
Cuarteo de muestras	ASTM C 702	AASHTO T248
Tamizado y granulometría	ASTM C 136	AASHTO T27
Peso unitario	ASTM C 29	ASTM E 30
Peso específico	ASTM C 127	AASHTO T85
Desgaste de los ángeles	ASTM C 131	AASHTO T96
Fragmentación dinámica	BS 812 - 112	IRAM 1556

Fuente: Elaboración propia

2.3. Marco Referencial

Se tuvo como referencia algunos trabajos de investigación:

TIULO: “Estudio de métodos mecánicos para la determinación de la resistencia al desgaste por fricción seca en el agregado del hormigón de pavimento”

AUTOR: Juan Jesús Intriago Pilamunga

AÑO: 2015

PAIS: Ambato - Ecuador

TIULO: Índice De Degradación De Agregados Pétreos (Id) Sometidos A Distintos Tipos De Impactos, Para Determinar Su Aptitud Vial En La Zona De Bahía Blanca (Provincia De Buenos Aires)

AUTOR: Ing. Silvia Álvarez - Ing. Lucrecia Romero

AÑO: 2010

PAIS: Buenos Aires - Argentina

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y

RELEVAMIENTO DE

INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. Criterios del diseño metodológico

3.1.1. Unidad de estudio o muestra

Unidad de muestra: Porcentaje de desgaste de los agregados (%).

Población: Agregados de yacimientos del sur de la comunidad de San Andrés.
(Bella Vista, San Pedro de Sola, Pinos, Tolomosa, Churquis)

Muestra: Agregados de Pinos y Bella Vista obtenido del banco de préstamo C.O.P.S.A.
(Construcciones y Pretensados San Andrés)

3.1.2. Tamaño de la muestra

Se realiza de acuerdo a lo seleccionado en la unidad de muestra, asignando de manera directa el nivel de confianza del 95% considerando una población infinita, sin embargo, mediante la metodología estratificada se puede asignar números lógicos para hacer el correspondiente ajuste.

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma^2}{N \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma^2}{N}}$$

Se adoptará una varianza de ($\sigma^2 = 0.10 - 0.15$) debido a que el tiempo signado para la realización del trabajo está comprendido entre 4 y 5 meses.

El error correspondiente está en ($\alpha = 5\%$).

$$\begin{array}{l} \text{NC} = 95\% \quad \longrightarrow \quad Z = 1,96 \\ \text{fa} = \frac{N_i \sigma^2}{\sum N_i \sigma^2} \quad \longrightarrow \quad n_i = n * \text{fa} \end{array}$$

Realizado la planilla de ajustes de números de ensayos, se obtuvo los valores para el cálculo de n.

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma^2}{N \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma^2}{N}} = \frac{19}{127 \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{19}{127}} = 82$$

Tabla 3.1 Cálculo del número de ensayos al 95% de confiabilidad

	Ensayos	N _i	σ ²	N _i * σ ²	fa	n _i
Exploratoria	De exploración	5	0,15	0,75	0,04	3
Caracterización	Cuarteo de las muestras	5	0,15	0,75	0,04	3
	Granulometría	5	0,15	0,75	0,04	3
	Peso específico	5	0,15	0,75	0,04	3
	Peso unitario	5	0,15	0,75	0,04	3
Pruebas definitivas	Desgaste de los ángeles	51	0,15	7,65	0,36	30
	Fragmentación dinámica	51	0,15	7,65	0,36	30
		127		19		75

Fuente: Elaboración propia

El total de ensayos cubierto por la investigación en el periodo comprendido entre 4 y 5 meses con una confiabilidad del 95% corresponde a 75 ensayos bien definidos en cada categoría, haciendo un énfasis en las pruebas definitivas con 60 ensayos.

3.2. Localización del banco de préstamo

Para la localización del banco de préstamo que sirvió de estudio como base para la presente investigación, se consideró la presencia de ríos de donde se puede extraer los agregados pétreos para su posterior clasificación de acuerdo al tamaño de las partículas que estas presentan, dicho banco de préstamo se encuentra en la comunidad de San Andrés, Provincia Cercado, departamento de Tarija.

La comunidad de San Andrés se encuentra al Sur del departamento de Tarija, a 25 minutos del centro de la ciudad, pasando las comunidades de Turumayo, Lazareto y Guerrahuayco. San Andrés es aledaña a comunidades como Tolomosa, Pantipampa, Bella Vista y San Pedro de Sola que son las principales zonas de extracción de agregados pétreos para satisfacer las demandas de gran parte de la zonas mencionadas y barrios de la ciudad de Tarija.

Figura 3.1 Ubicación de la comunidad de San Andrés



Fuente: Google earth pro

Figura 3.2 Ubicación del banco de préstamo



Fuente: Google earth pro

3.2.1. Ubicación geográfica del banco de préstamo

El banco de préstamos utilizado se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas.

Tabla 3.2 Ubicación geográfica del banco de préstamo

Coordenadas		
Geográficas	Latitud	Longitud
	21°37'20.52"S	64°49'39.53"O
UTM	Abscisa	Norte
	310829.79 m E	7607858.79 m S
	Zona 20K	

Fuente: Elaboración propia

3.3. Control y validación interna

3.3.1. Factores o variables extrañas

Los factores tales como la temperatura y el viento en este trabajo de investigación no se tomaron en cuenta debido a que no alteraron significativamente los resultados de los ensayos finales.

3.3.2. Características principales de equipos y herramientas

Los equipos y herramientas más usados fueron los siguientes.

Figura 3.3 Balanzas de 6 y 60 kg de capacidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Juego de tamices estandarizados



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 Brocha, cuchara y cepillo metálico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6 Horno hermético



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7 Agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8 Equipo de Desgaste de los Ángeles y de Impacto



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Caracterización de los Agregados

3.3.3.1. Extracción de la muestra.

Para la extracción de muestra de los agregados pétreos se consideró dos aspectos al momento de elegir los tamaños de las partículas, que son la gradación que se va utilizar y los ensayos finales (Desgaste de los Ángeles y Fragmentación Dinámica).

La ASTM C 125 y el ACI 116 definen tamaño máximo de agregado como el menor tamiz por el cual toda la muestra de agregado grueso debe pasar. De tal manera al momento de extracción de la muestra se identificó que el tamaño máximo de la partícula sea 1”.

Figura 3.9 Extracción de la muestra



Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2. Cuarteo de la muestra

Los agregados pétreos extraído del banco de préstamo, debido a que la cantidad era superior a los 100 kg. Se realizó un cuarteo manual de acuerdo a la ASTM C 702 y la AASHTO T248 para obtener una muestra representativa para realizar el ensayo de granulometría.

Figura 3.10 Cuarteo de la muestra



Fuente: Elaboración propia

3.3.3.3. Ensayo de granulometría.

La granulometría se define como la distribución del tamaño de las partículas que consiste en hacer pasar una cantidad de agregado representativa por una serie de tamices ordenados por abertura, de mayor a menor.

Para realizar la prueba se siguió los requisitos usados por la Administración Boliviana de Caminos (ABC) que tiene por norma la siguiente gradación de agregado para mezclas.

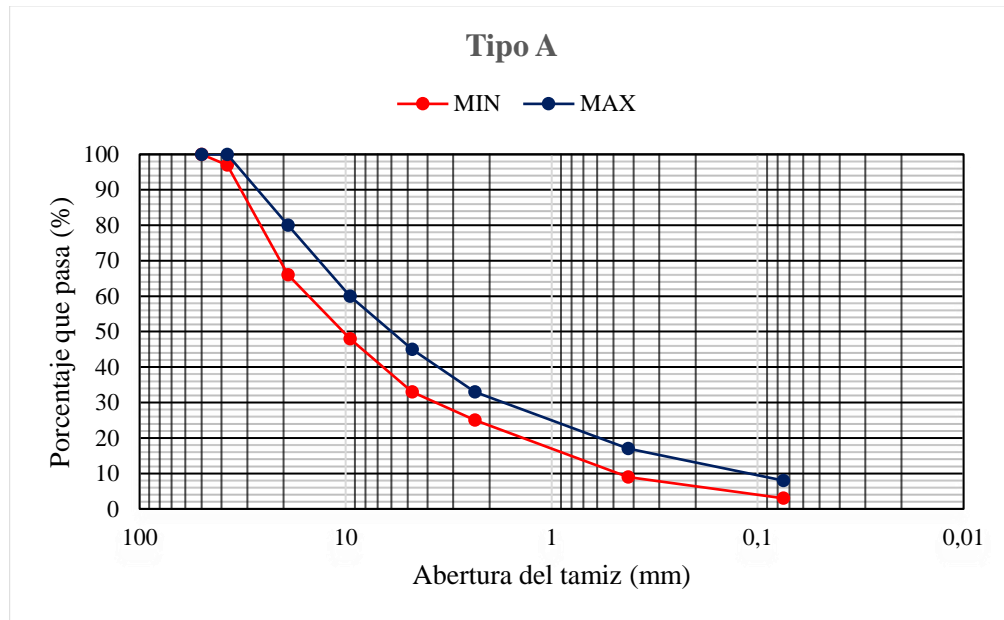
Tabla 3.3 Requisitos de gradación para mezclas

Tamiz		Gradación							
		A		B		C		D	
N°	mm	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
2"	50	100	100	-		-		-	
1 1/2"	3,5	97	100	100	100	-		-	
1"	25	-		97	100	100	100	-	
3/4"	19	66	80	-		97	100	100	100
1/2"	12,5	-		-		76	88	97	100
3/8"	9,5	48	60	53	70	-		-	
N°4	4,75	33	45	40	52	49	59	57	69
N°8	2,36	25	33	25	39	36	45	41	49
N°40	0,425	9	17	10	19	14	22	14	22
N°200	0,075	3	8	3	8	3	7	3	8

Fuente: Manuel de especificaciones técnicas de la ABC.

Para la realización de los ensayos se usó la gradación Tipo A.

Gráfica 3.1 Límites de gradación para mezclas



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan resultados obtuvimos.

Tabla 3.4 Resultados del análisis granulométrico

Muestra	Tamiz								
	N.º	2"	1 1/2"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº30	Nº200
	mm	50	37,5	19	9,5	4,75	2,36	0,6	0.075
1	% pasa	100,00	100,00	75,57	52,50	33,85	25,85	14,29	4,98
2	% pasa	100,00	100,00	79,30	56,45	37,76	27,13	12,42	3,47
3	% pasa	100,00	100,00	76,54	53,47	38,78	28,56	14,66	3,91

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexo N.º 5)

3.3.3.4. Peso unitario suelto y compactado.

El peso unitario se lo define como el peso por unidad de volumen en su conjunto es decir se considera el aire que queda atrapado entre las partículas del agregado pétreo. El peso unitario compactado a diferencia del suelto, se llena el molde en tres capas, en cada capa

se debe compactar con 25 golpes con ayuda de una varilla en toda el área del molde, de acuerdo ASTM C 29 - ASTM E 30. (Anexo N. °4)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 3.5 Resultados de peso unitario suelto

Muestra	Peso Recipiente	Volumen Recipiente	Peso Recip. + Muestra Suelta	Peso Muestra Suelta	Peso Unitario Suelto
-	g	cm ³	g	g	g/cm ³
1	5840,00	9535,00	19655,00	13815,00	1,45
2	5840,00	9535,00	19810,00	13970,00	1,47
3	5840,00	9535,00	19745,00	13905,00	1,46
				Promedio	1,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6 Resultados de peso unitario compactado

Muestra	Peso Recipiente	Volumen Recipiente	Peso Recip. + Muestra Compactada	Peso Muestra Compactada	Peso Unitario Compactado
-	g	cm ³	g	g	g/cm ³
1	5840,00	9535,00	20725,00	14885,00	1,56
2	5840,00	9535,00	20790,00	14950,00	1,57
3	5840,00	9535,00	20685,00	14845,00	1,56
				Promedio	1,56

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexo N.° 6)

3.3.3.5. Peso específico

Según la ASTM C-127 y AASHTO T-85 define los siguientes conceptos.

- ♦ **Peso específico:** Es la tasa entre la masa (M) y el volumen (V) de un material árido a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m^3 o g/cm^3 .
- ♦ **Peso específico a granel:** Se considera el volumen macizo de las partículas de material áridos, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
- ♦ **Peso específico en condición saturada y superficie seca:** Se considera la masa de áridos seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
- ♦ **Peso específico aparente:** Se considera el volumen macizo de las partículas de material áridos más el volumen de los poros inaccesibles.
- ♦ **% de absorción:** Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa de áridos seco.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 3.7 Resultados de peso específico

Muestra	Peso específico a granel	Peso específico s.s.s.	Peso específico aparente	% de absorción
N.º	g/cm^3	g/cm^3	g/cm^3	%
1	2,59	2,62	2,67	1,99%
2	2,58	2,62	2,67	2,01%
3	2,59	2,62	2,67	1,99%
Promedio	2,59	2,62	2,67	2.00%

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexo N.º 7)

3.3.3.6. Desgaste de los Ángeles

Una vez realizados los ensayos de caracterización de los agregados, se procedió a los ensayos finales, uno de ellos el Desgaste de los Ángeles. Para este ensayo, se utilizó la

máquina con el mismo nombre que se encuentra en el laboratorio de Hormigones y Resistencia de los Materiales de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Para dicho ensayo se siguió los pasos descritos en la ASTM C 131. (Ver Anexo N.º 4)

Para llevar a cabo la prueba se estableció la gradación a utilizar que consiste en elegir el tamaño de partículas a utilizar y el número de esferas correspondientes de acuerdo a la siguiente tabla proporcionada por el Manual de Ensayos de la ABC.

Tabla 3.8 Gradación de agregados para el Desgaste de los Ángeles

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (g)			
Pasa	Retenido				
1 ½"	1"	1250 ± 25			
1"	¾"	1251 ± 25			
¾"	½"	1252 ± 10	2500 ± 10		
½"	⅜"	1253 ± 10	2500 ± 10		
⅜"	¼"			2500 ± 10	
¼"	Nº4			2500 ± 10	
Nº4	Nº8				5000 ± 10
Peso total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Nº de esferas		12	11	8	6
Nº de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

Fuente: Elaboración propia

Debido a que las muestras presentan tamaño de partículas inferiores a 1 ½", se optó por una gradación Tipo B, que conlleva a utilizar una cantidad de material a emplear de 5000 gramos, entre los tamices ¾" - ½" y ½" - ⅜" y 11 esferas.

El número de revoluciones es de 500 y el tiempo de rotación varía según el equipo utilizado, en nuestro caso estaba por los 16 minutos y 30 segundos. Cabe mencionar que

no se consideró mucho el aspecto del tiempo sino únicamente las revoluciones ya que el equipo era automático, es decir una vez cumplida las 500 revoluciones se detenía automáticamente.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 3.9 Tabla de resultados de Desgaste de los Ángeles

N° muestras	D.A.
1	26,44%
2	25,52%
3	26,21%
4	25,57%
5	25,98%
6	24,85%
7	26,21%
8	25,96%
9	25,54%
10	26,14%
11	24,44%
12	26,27%
13	24,20%
14	24,56%
15	27,41%
16	24,21%
17	27,04%
18	26,18%
19	24,20%
20	26,31%
21	25,98%
22	26,94%
23	26,03%

24	24,85%
25	24,94%
26	25,09%
27	24,22%
28	26,20%
29	25,17%
30	25,72%
31	24,32%
Promedio	25,57%

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexo N.º 8)

3.3.3.7. Fragmentación Dinámica

Para la determinación del valor de impacto del agregado (V.I.A.) se utilizó el equipo de impacto cuyas dimensiones, características del equipo y procedimiento del método se encuentran en la Norma BS 812-112. Para este ensayo se trabaja con una muestra de 350 g. de agregados que pasan el tamiz ½” y se retiene en ¾”.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 3.10 Resultados de Fragmentación Dinámica por Impacto

Nº Muestras	V.I.A.
1	17,77%
2	19,14%
3	18,94%
4	18,11%
5	18,74%
6	18,43%
7	17,26%
8	18,09%
9	18,31%

10	17,66%
11	18,74%
12	17,94%
13	18,94%
14	18,40%
15	18,11%
16	18,03%
17	18,66%
18	18,09%
19	18,20%
20	18,69%
21	16,89%
22	17,74%
23	18,06%
24	17,17%
25	17,14%
26	17,46%
27	17,91%
28	17,97%
29	17,11%
30	17,29%
31	17,60%
Promedio	18,02%

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexo N.º 9)

Tabla 3.11 Clasificación del agregado según valor de V.I.A.

V.I.A.	Especificación de la norma BS 812-112			
	Excep. fuerte	Fuerte	Satisfactorio	Débil
	< 10%	10 - 20 %	20 - 30 %	> 30 %
18,02%		✓		

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos finales (Desgaste de los Ángeles y Fragmentación Dinámica por Impacto) podemos hacer notar algunos aspectos importantes.

- Según el manual de especificaciones técnicas de la ABC, en caso de agregados utilizados para material de base o carpeta asfáltica debe presentar un valor de Desgaste de los Ángeles (D.A.) no superior al 40 %.
- Según la Norma BS 812-112 el Valor de Impacto de los Agregados que se encuentren dentro de la escala de excepcionalmente fuerte, fuerte o satisfactorio se podrán ser empleados para la construcción de pavimentos, es decir que el V.I.A. máximo aceptado es de 30 %.

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y

VALIDACIÓN DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Ordenamiento de la Información

Para poder tener una mejor visión de los resultados obtenidos es fundamental el ordenamiento de la información, para ello se ordenó de manera descendente los valores obtenidos de los ensayos finales.

Tabla 4.1 Resultados ordenados de V.I.A. y D.A.

N°	V.I.A.	D.A.
1	19,14%	27,41%
2	18,94%	27,04%
3	18,94%	26,94%
4	18,74%	26,44%
5	18,74%	26,31%
6	18,69%	26,27%
7	18,66%	26,21%
8	18,43%	26,21%
9	18,40%	26,20%
10	18,31%	26,18%
11	18,20%	26,14%
12	18,11%	26,03%
13	18,11%	25,98%
14	18,09%	25,98%
15	18,09%	25,96%
16	18,06%	25,72%
17	18,03%	25,57%
18	17,97%	25,54%
19	17,94%	25,52%
20	17,91%	25,17%
21	17,77%	25,09%

22	17,74%	24,94%
23	17,66%	24,85%
24	17,60%	24,85%
25	17,46%	24,56%
26	17,29%	24,44%
27	17,26%	24,32%
28	17,17%	24,22%
29	17,14%	24,21%
30	17,11%	24,20%
31	16,89%	24,20%

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Estadística Descriptiva

4.2.1. Cálculos de Curva de Frecuencia Absoluta y Acumulada

Para poder realizar la tabla de frecuencias mediante la regla de Sturges, es necesario obtener algunos datos de la tabla de resultados ya ordenados, estos son los siguientes.

Tabla 4.2 Datos para elaborar la planilla de frecuencias

N.º	V.I.A.	D.A.
-	%	%
1	19,14	27,41
2	18,94	27,04
3	18,94	26,94
4	18,74	26,44
5	18,74	26,31
6	18,69	26,27
7	18,66	26,21
8	18,43	26,21
9	18,40	26,20
10	18,31	26,18
11	18,20	26,14

12	18,11	26,03
13	18,11	25,98
14	18,09	25,98
15	18,09	25,96
16	18,06	25,72
17	18,03	25,57
18	17,97	25,54
19	17,94	25,52
20	17,91	25,17
21	17,77	25,09
22	17,74	24,94
23	17,66	24,85
24	17,60	24,85
25	17,46	24,56
26	17,29	24,44
27	17,26	24,32
28	17,17	24,22
29	17,14	24,21
30	17,11	24,20
31	16,89	24,20
Máximo	19,14	27,41
Mínimo	16,89	24,20
Rango	2,26	3,21
n	31,00	31,00
N° clase	6,00	6,00
Amplitud	0,38	0,54

$$N^{\circ} \text{ clase} = 1 + 3,322 \log(n)$$

Fuente: Elaboración propia

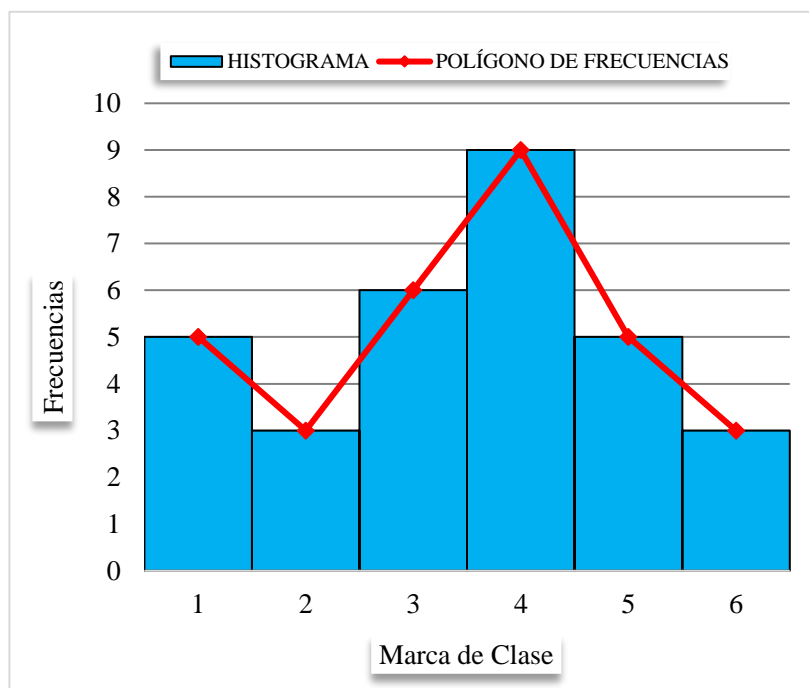
4.2.1.1.Elaboración de las planillas y gráficas de histograma, polígono y curva de frecuencias para V.I.A.

Tabla 4.3 Tabla de frecuencias de V.I.A.

Nº clase	L. Inf.	L. Sup.	Marca de clase	Frecuencia absoluta		Frecuencia acumulada	
				fi	fi (%)	Fi	Fi (%)
-	-	-	-				0
1	16,89	17,27	17,08	5	16,13	5	16,13
2	17,27	17,65	17,46	3	9,68	8	25,81
3	17,65	18,03	17,84	6	19,35	14	45,16
4	18,03	18,41	18,22	9	29,03	23	74,19
5	18,41	18,79	18,60	5	16,13	28	90,32
6	18,79	19,17	18,98	3	9,68	31	100
				31	100		

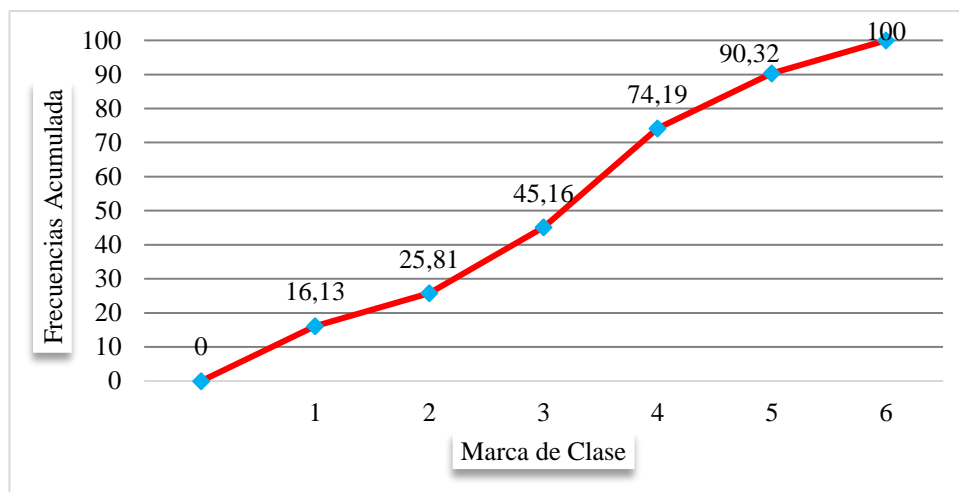
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.1 Histograma y Polígono de frecuencias (V.I.A)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2.2 Frecuencias Acumuladas (V.I.A.)



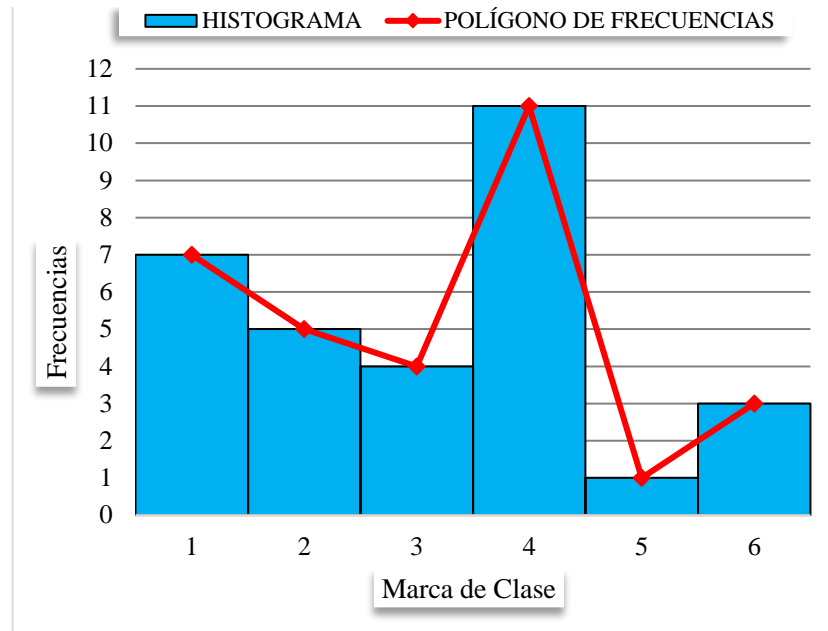
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4 Planilla de frecuencia de D.A.

N° clase	L. Inf	L. Sup	Marca de clase	Frecuencia absoluta		Frecuencia acumulada	
				fi	fi (%)	Fi	Fi (%)
-	-	-	-				0
1	24,20	24,74	24,47	7	22,58	7	22,58
2	24,74	25,28	25,01	5	16,13	12	38,71
3	25,28	25,82	25,55	4	12,90	16	51,61
4	25,82	26,36	26,09	11	35,48	27	87,09
5	26,36	26,90	26,63	1	3,23	28	90,32
6	26,90	27,44	27,17	3	9,68	31	100
				31	100		

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.3 Histograma y polígono de frecuencias (D.A)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.4 Frecuencias acumuladas



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Cálculos de Medidas de Tendencia Central

4.2.2.1. Media o promedio (\bar{X})

Es el valor promedio del grupo de datos.

4.2.2.2. Moda (Mo)

Es el valor que más se repite en la serie de datos.

4.2.2.3. Mediana (Me)

Es el valor que separa la serie de datos ya ordenados en 2 partes iguales.

4.2.3. Cálculos de Medidas de Dispersión

4.2.3.1. Varianza (s^2) y desviación estándar (s)

La varianza y la desviación estándar indican si los valores se encuentran más o menos próximos a las medidas de posición.

A continuación, se presenta un resumen de las medidas de tendencias central y de dispersión, para este cálculo se utilizó la herramienta informática Excel.

Tabla 4.5 Resumen del análisis descriptivo

Medida	V.I.A.	D.A.
Media	18,02	25,57
Error típico	0,11	0,16
Mediana	18,06	25,72
Moda	18,94	25,98
Desviación estándar	0,60	0,91
Varianza de la muestra	0,36	0,83
Rango	2,26	3,21
Mínimo	16,89	24,20
Máximo	19,14	27,41
Suma	558,60	792,66
Cuenta	31,00	31,00

Fuente: Elaboración propia

4.3. Estadística Inferencial

4.3.1. Correlación

Una correlación existe entre dos variables cuando una de ellas está relacionada con la otra de alguna manera.

Hoy en día, con la Estadística podemos estimar el comportamiento futuro de una variable utilizando un modelo de pronóstico causal, tal es el caso de la Regresión Lineal, que describe el comportamiento de una variable (dependiente) en función de otra (independiente), relacionándolas por medio de una ecuación lineal que presenta un Coeficiente de Determinación “R²” único y propio, que toma valores entre 0 (cuando los puntos están esparcidos) y 1 (cuando los puntos observados están sobre la línea).

En esta investigación se adoptó como variable independiente el valor del ensayo de Fragmentación Dinámica por Impacto (V.I.A.) y como variable dependiente el Desgaste de los Ángeles (D.A.), es decir mediante valores del V.I.A. predecir los resultados de D.A.

4.3.2. Interpretación del Coeficiente de Correlación

En este trabajo usaremos la clásica y más común que son los criterios de Cohen para la fuerza de una consecución. Se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 4.6 Tipo de correlación según el valor de "r"

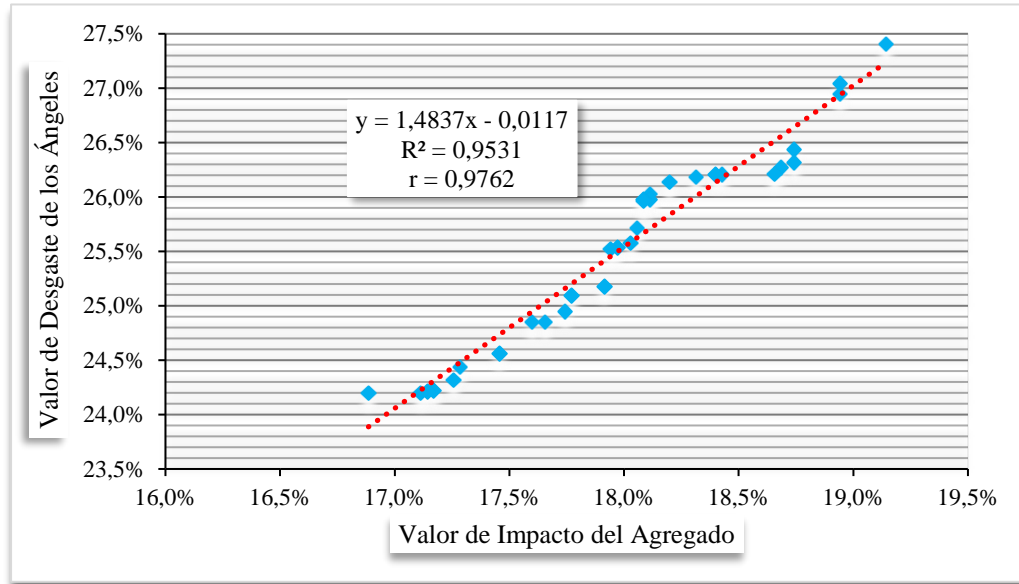
Valor de r	Tipo de correlación
$r = 1$	Correlación perfecta
$0,8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0,6 < r < 0,8$	Correlación alta
$0,4 < r < 0,6$	Correlación moderada
$0,2 < r < 0,4$	Correlación baja
$0 < r < 0,2$	Correlación muy baja
$r = 0$	Correlación nula

Fuente: <https://statssos.online/2015/03/10/>

La tabla 4.6 aplica tanto para el coeficiente de Pearson (r) como también para el coeficiente de Spearman (ρ).

4.3.2.1. Coeficiente de correlación de Pearson (r)

Gráfica 4.5 Valor de Impacto vs Desgaste de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7 Valores del coeficiente de correlación y determinación de Pearson

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación “r”	0,9763
Coeficiente de determinación “R ² ”	0,9531
R ² ajustado	0,9515
Error típico	0,0020
Observaciones	31

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 4.6, existe una correlación muy alta debido a que el valor de $r = 0,9763$ se encuentra entre $0,80 < r < 1$.

El coeficiente de correlación de Pearson (r), solo se aplica en variables cuantitativas y que sigan una distribución normal. Si no cumple con esta última condición, se debe utilizar el coeficiente de correlación de Spearman para su verificación.

4.3.2.2. Coeficiente de correlación de Spearman (ρ)

El coeficiente de correlación de Spearman se lo determina con la siguiente fórmula.

$$\rho = 1 - \frac{6 * \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

ρ = Coeficiente de correlación de Spearman.

d = Diferencia entre los correspondientes datos de orden “x” – “y”

n = Número de pareja de datos.

Tabla 4.8 Cálculo del coeficiente de Spearman “ ρ ”

N°	V.I.A.	D.A.	Rango	Rango	d	d ²
	x	y	“x”	“y”		
1	19,14	27,41	1,00	1,00	0,00	0,00
2	18,94	27,04	2,50	2,00	0,50	0,25
3	18,94	26,94	2,50	3,00	-0,50	0,25
4	18,74	26,44	4,50	4,00	0,50	0,25
5	18,74	26,31	4,50	5,00	-0,50	0,25
6	18,69	26,27	6,00	6,00	0,00	0,00
7	18,66	26,21	7,00	7,50	-0,50	0,25
8	18,43	26,21	8,00	7,50	0,50	0,25
9	18,40	26,20	9,00	9,00	0,00	0,00
10	18,31	26,18	10,00	10,00	0,00	0,00
11	18,20	26,14	11,00	11,00	0,00	0,00
12	18,11	26,03	12,50	12,00	0,50	0,25
13	18,11	25,98	12,50	13,50	-1,00	1,00
14	18,09	25,98	14,50	13,50	1,00	1,00
15	18,09	25,96	14,50	15,00	-0,50	0,25
16	18,06	25,72	16,00	16,00	0,00	0,00
17	18,03	25,57	17,00	17,00	0,00	0,00
18	17,97	25,54	18,00	18,00	0,00	0,00
19	17,94	25,52	19,00	19,00	0,00	0,00

20	17,91	25,17	20,00	20,00	0,00	0,00
21	17,77	25,09	21,00	21,00	0,00	0,00
22	17,74	24,94	22,00	22,00	0,00	0,00
23	17,66	24,85	23,00	23,50	-0,50	0,25
24	17,60	24,85	24,00	23,50	0,50	0,25
25	17,46	24,56	25,00	25,00	0,00	0,00
26	17,29	24,44	26,00	26,00	0,00	0,00
27	17,26	24,32	27,00	27,00	0,00	0,00
28	17,17	24,22	28,00	28,00	0,00	0,00
29	17,14	24,21	29,00	29,00	0,00	0,00
30	17,11	24,20	30,00	30,50	-0,50	0,25
31	16,89	24,20	31,00	30,50	0,50	0,25
					Suma	5,00

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando en la fórmula:

$$\rho = 1 - \frac{6 * \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \longrightarrow \rho = 1 - \frac{6 * 5}{31(31^2 - 1)}$$

$$\rho = 0,999$$

De acuerdo a la tabla 4.6, presenta una correlación muy alta casi perfecta, ya que el Coeficiente de Spearman (ρ) se encuentra entre $0,8 < \rho < 1$.

4.3.3. Prueba de Hipótesis

Hipótesis nula “ H_0 ” = 0; No existe correlación lineal.

Hipótesis de investigación “ H_1 ” \neq 0; Existe correlación lineal.

Entonces:

Si $t > t_{(\alpha/2; n-2)}$; se rechaza H_0 .

Si $t \leq t_{(\alpha/2; n-2)}$; se acepta H_0 .

Cálculo de “t”

Coefficiente de Spearman $\rho = 0,999$

Estadístico de prueba “t”

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1-\rho^2}{n-2}}} = \frac{0,999}{\sqrt{\frac{1-0,999^2}{31-2}}} = 120,32$$

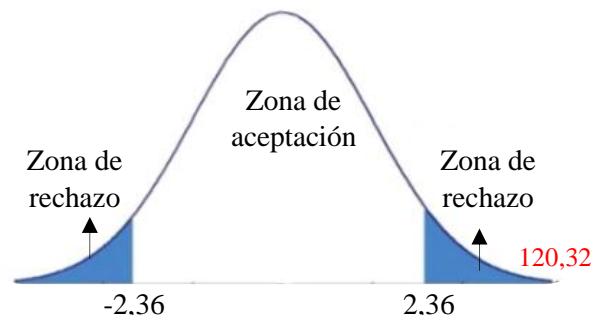
Cálculo de $t_{(\alpha/2; n-2)}$

Nivel de significancia $\alpha = 0,05 = 5\%$

Grados de libertad G.L. = $n - 2 = 31 - 2 = 29$

De acuerdo a la de valores críticos de la distribución “t” de Student resulta que $t_{(\alpha/2; n-2)} = 2,36$ (Anexo N.º 12)

Gráfica 4.6 Zonas de aceptación y rechazo



Fuente: Elaboración propia

$$t > t_{(\alpha/2; n-2)}$$

SE RECHAZA H_0 (existe correlación)

4.3.4. Intervalo de confianza

El intervalo de confianza describe la variabilidad entre la medida obtenida en un estudio y la medida real de la población (el valor real). Se lo determina mediante la siguiente fórmula.

$$\bar{X} \pm t(\alpha/2; n - 2) \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

\bar{X} = Media muestral.

$t(\alpha/2; n-2)$ = Estadístico t de Student.

s = Desviación estándar.

n = Tamaño de la muestra.

Entonces tenemos los siguientes valores:

Tabla 4.9 Valores para determinar el intervalo de confianza al 95%

Variable	V.I.A.	D.A.
Media (\bar{X})	18,02	25,57
Desviación estándar (s)	0,60	0,91
Número de muestras (n)	31,00	31,00
Estadístico (t)	2,36	2,36

Fuente: Elaboración propia

Intervalos para V.I.A.

$$\text{Lim inf} = 18,02 - 2,36 * \frac{0,60}{\sqrt{31}} = 17,60$$

$$\text{Lim sup} = 18,02 + 2,36 * \frac{0,60}{\sqrt{31}} = 18,27$$

Intervalos para D.A.

$$\text{Lim inf} = 25,57 - 2,36 * \frac{0,91}{\sqrt{31}} = 25,18$$

$$\text{Lim sup} = 25,57 + 2,36 * \frac{0,91}{\sqrt{31}} = 25,96$$

4.3.5. Valores de los coeficientes de correlación y ecuación en función de las variables

Los valores de los coeficientes de correlación son:

Spearman

$$\rho = 0,999$$

Pearson

$$r = 0,976$$

Ecuación

$$y = 1,4837x - 0,0117$$

La ecuación en función de las variables:

$$D. A = 1,4837 * (V. I. A.) - 0,0117$$

Únicamente para los valores de V.I.A. que se encuentren en los siguientes intervalos.

$$\text{Lim inf} = 17,60 \%$$

$$\text{Lim sup} = 18,27 \%$$

4.3.6. Especificación Técnica

4.3.6.1. Concepto

Fragmentación Dinámica por Impacto (V.I.A.)

Es un ensayo que permite determinar el valor del agregado al impacto o la resistencia al impacto, requiere poca cantidad de material y un tiempo de ejecución reducido.

Desgaste de los Ángeles (D.A.)

Es el ensayo más conocido y utilizado para determinar la degradación del agregado, combina el desgaste o abrasión, trituración y fricción en el tambor de la máquina que lleva el mismo nombre junto con un determinado número de esferas de acuerdo a la gradación seleccionada.

4.3.6.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados son:

Para Fragmentación Dinámica por Impacto

- Balanza ($e = 0,1$ g).
- Cuchara.
- Bandejas.
- Cepillo metálico o de plástico.
- Juego de tamices ($\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N° 8).
- Horno (capaz de mantener temperatura de 105 ± 5 °C).
- Equipo de fragmentación Dinámica.

Para el Desgaste de los Ángeles

- Balanza ($e = 0,1$ g).
- Cuchara.
- Bandejas.
- Esferas y llave.
- Cepillo metálico o de plástico.
- Juego de tamices ($\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N° 12).
- Horno (capaz de mantener temperatura de 105 ± 5 °C).
- Máquina de los Ángeles.

4.3.6.3. Procedimientos y rangos de medición

Fragmentación Dinámica por Impacto (V.I.A.)

Tamizar el agregado por el juego de tamices mencionados y seleccionar el material que pase el tamiz de $\frac{1}{2}$ " y que se retiene en el tamiz de $\frac{3}{8}$ ".

Lavar el agregado en caso de encontrarse sucio o con partículas de tierra y secar por 24 horas a una temperatura de 105 ± 5 °C.

Seleccionar 350 gramos de agregado seco (**peso A**) y ponerlo en el vaso del equipo de Fragmentación.

Colocar el equipo de fragmentación en una superficie plana y de hormigón y asegurar el vaso al equipo.

Quitar el seguro del martillo y dejar caer libremente sobre el agregado hasta completar 15 golpes, cada golpe en un intervalo de tiempo no inferior de un segundo.

Desasegurar el vaso con el agregado de prueba y tamizar por el tamiz N°8 (2, 36 mm).

Pesar el agregado que pasa el tamiz N° 8 (**peso B**) y el que se retiene en el tamiz N° 8 (**peso C**).

Si el peso total después del ensayo (peso B + peso C) es inferior al peso A en más de 1 gramo, se rechaza la prueba y se vuelve a hacer. Pero si por el contrario es inferior al peso A en menos o igual a 1 gramo se registran los valores.

Calcular el valor de V.I.A. con la fórmula.

Los rangos de medición son:

$$\text{Lim inf} = 17,60$$

$$\text{Lim sup} = 18,27$$

Desgaste de los Ángeles (D.A)

Tamizar el agregado por el juego de tamices mencionados y seleccionar el material que pase tamiz 3/4" - retiene 1/2" y el que pase 1/2" - retiene en 3/8".

Lavar el agregado en caso de encontrarse sucio o con partículas de tierra y secar por 24 horas a una temperatura de 105 ± 5 °C.

Seleccionar 2500 gramos de material que pase el tamiz 3/4" - retiene 1/2" y 2500 gramos de agregado que pase el tamiz 1/2" - retiene en 3/8", en total 5000 gramos (**Wi**).

Colocar en la máquina de los Ángeles los 5000 gramos de agregado junto con 11 esferas y asegurar bien.

Controlar o programar las 500 revoluciones en la máquina de los Ángeles para detener el equipo.

Vaciar el agregado de prueba cuidadosamente a una bandeja y tamizar por el tamiz N° 12.

El agregado que se retiene en el tamiz N°12, lavarlo y secarlo en el horno por 24 horas.

Una vez seco, pesarlo (**Wf**).

Calcular el valor D.A. en porcentaje con la fórmula.

Los rangos de medición son:

$$\text{Lim inf} = 25,18$$

$$\text{Lim sup} = 25,96$$

4.3.6.4. Forma de cubicación

La unidad de cubicación para V.I.A. y D.A. es la unidad (Ud).

4.3.6.5. Costo por unidad de cubicación

El costo del ensayo V.I.A. es de 100 Bs./Ud.

El costo del ensayo D.A. es de 350 Bs./Ud.

4.3.7. Pruebas Extras o Complementarias

Debido a que el tiempo para la investigación fue suficiente, se realizó pruebas del ensayo de Fragmentación Dinámica por Impacto con una modificación en el número de golpes, cuyos resultados en promedio fueron los siguientes.

Tabla 4.10 Resultados de V.I.A. a diferentes golpes

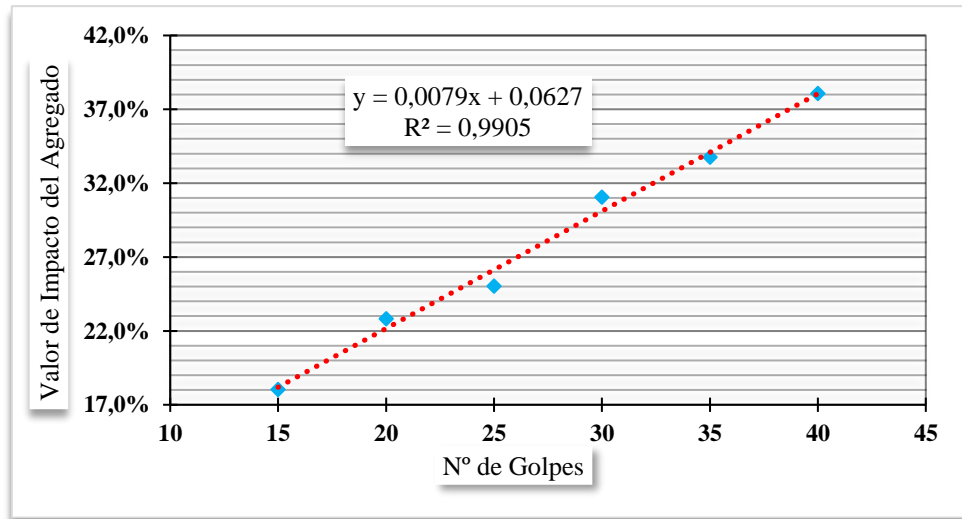
N.º de ensayos	N.º golpes	V.I.A.
31	15	18,02%
3	20	22,82%
3	25	25,03%
3	30	31,04%
3	35	33,76%
3	40	38,07%

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexos N.º 11)

De acuerdo a los resultados obtenidos se procedió a graficar para tener una mejor visión del comportamiento estadístico.

Gráfica 4.7 Valores de V.I.A. a diferentes golpes



Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica, se puede observar que el número de golpes tiene una alta relación lineal con el Valor de Impacto del Agregado (V.I.A.). También se puede ver que con 25 golpes el V.I.A. es igual a 25, lo que quiere decir que por cada golpe el valor del V.I.A. aumenta el 1%.

Por otra parte, como el D.A. promedio de los 31 ensayos realizados es 25.57 %, se puede decir que para agregados cuyos valores de V.I.A. es 25 % \pm 1 van a tener un valor de D.A. de 25.5 % \pm 1.

No se puede afirmar en su totalidad que todo lo mencionado anteriormente sea verdadero, debido a que los ensayos realizados a diferentes golpes son muy pocos, en caso que el comportamiento se mantiene así, se acepta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La información sobre los ensayos de Fragmentación Dinámica y Desgaste de los Ángeles se la obtuvo de diferentes normas: nacional (ABC) como también internacional (BS), se efectuó con agregados pétreos cuyo tamaño de partículas fueron de ½” y ¾” de la región cuya utilización en proyectos viales es significativa.

Las muestras para llevar a cabo los ensayos se lo obtuvieron del banco de préstamo C.O.P.S.A. (Construcciones y Pretensados San Andrés) ubicado en la zona rural del departamento de Tarija, debido a que en la zona elegida se encuentran grandes yacimientos de agregados como son las comunidades de Bella Vista, San Pedro de Sola, Tolomosa, Pinos, Turumayo y la propia comunidad de San Andrés.

Los resultados arrojados en la investigación permiten afirmar que existe una muy alta correlación ($\rho = 0,999 - r = 0,976$) entre los ensayos de Fragmentación Dinámica por Impacto (V.I.A.) y Desgaste de los Ángeles (D.A.), lo cual permite usar la ecuación de regresión lineal para futuros trabajos de ingeniería en agregados pétreos cuyas características sean similares y cuyos valores de V.I.A. se encuentren dentro del intervalo de confianza.

Ecuación

$$D.A = 1,4837 * (V.I.A.) - 0,0117$$

En las especificaciones técnicas generales de la A.B.C. indica que para capa base y rodadura el valor de D.A. no debe ser superior al 40 % y en los pliegues de la Norma Británica (B.S.) indica que el valor de V.I.A. no debe ser superior al 30 % para su uso en pavimentos. De acuerdo a estos parámetros podemos decir que todos los valores cumplen con estas condiciones, ya que los valores de D.A. y V.I.A. más altos son de 27,41% y 19,14% respectivamente, por lo tanto, el agregado utilizado cuyos tamaños de partículas eran de ½” y ¾” es aplicable para su uso en mezclas asfálticas.

El ensayo de Fragmentación Dinámica podrá ser usado como un método alternativo al Desgaste de los Ángeles siempre que se encuentren dentro del intervalo de confianza (17,60 % - 18,27%), caso contrario puede ser usado únicamente como un valor referencial.

La ecuación obtenida se puede aplicar en cualquier lugar o región cuyos agregados pétreos tengan las siguientes características o propiedades:

Tabla 5.1 Características y propiedades de los agregados utilizados

Característica - propiedad	Valor	Unidad
Tamaño del agregado	½” - ¾”	50% c/u
Peso unitario suelto	1,46	gr/cm ³
Peso unitario compactado	1,56	gr/cm ³
Peso específico a granel	2,59	gr/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	2,62	gr/cm ³
Peso específico aparente	2,67	gr/cm ³
% de Absorción	2.00	%
Valor de impacto del agregado	17,60 - 18,27	%
Valor de desgaste de los ángeles	25,18 - 25,96	%

Fuente: Elaboración propia

5.2. Recomendaciones

En el caso del ensayo de Fragmentación Dinámica tener cuidado al momento de golpear con el martillo para que la pérdida sea inferior a 1 gramo y así evitar de volver a realizar el ensayo.

Es necesario realizar los mismos ensayos utilizando otros bancos de préstamos con diferentes características para tener así ecuaciones determinadas para cada región, como también realizarlo para agregados triturados.

Al momento de realizar el ensayo de Fragmentación debe colocarse el equipo en una superficie plana y dura (preferentemente de hormigón), nunca colocar sobre superficie de tierra porque al momento del impacto este terminará cediendo y no va triturar el agregado, por ende, el efecto no será el mismo.

Evitar que haya fricciones en las guías del martillo en lo posible, por lo que se recomienda limpiarlas cada 10 o 15 ensayos y lubricarlo para reducir esto.