

CAPÍTULO I

DISEÑO TEORICO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO

1.1. INTRODUCCIÓN

El ensayo de desgaste de los Ángeles es fundamental en la Ingeniería Civil, ya que permite evaluar la resistencia al desgaste de los agregados, un factor importante para la durabilidad y la calidad del pavimento. Los agregados naturales son aquellos que se obtienen directamente de fuentes naturales, mientras que los triturados son procesados mecánicamente para obtener partículas de tamaño y forma específicos. La comparación entre ambos tipos de agregados permitirá determinar cual ofrece mejores propiedades mecánicas y de durabilidad.

En estudios previos, se ha observado que los agregados naturales y triturados presentan diferencias significativas en su comportamiento frente al desgaste. Según investigaciones anteriores han mostrado que los agregados triturados tienden a tener una mayor resistencia a la abrasión debido a su forma angular y superficie rugosa, lo que mejora en la adherencia. Sin embargo, también se reportó que los agregados naturales, debido a su forma más redondeada, pueden ofrecer ventajas en términos de trabajabilidad y compactación.

Con este proyecto se busca comparar la pérdida por abrasión de agregados naturales con triturados utilizando el ensayo de desgaste de los Ángeles. Se pretende seguir un enfoque experimental riguroso, realizando pruebas de laboratorio para obtener datos precisos y confiables. Con el desarrollo de este proyecto, se espera identificar cual tipo de agregado ofrece mejores propiedades para su uso en aplicaciones específicas de la Ingeniería Civil, contribuyendo a la optimización de materiales y técnicas constructivas.

La teoría de la ingeniería civil que más contribuye al desarrollo de este proyecto es la mecánica de materiales, específicamente en el estudio de la resistencia y durabilidad de los agregados, que es fundamental para entender como los diferentes tipos de agregados responden a las fuerzas de desgaste. El desarrollo de este proyecto es principalmente una aplicación de la ingeniería civil, ya que se centra en la evaluación de materiales de construcción y su comportamiento bajo condiciones específicas de desgaste, también se benefician de otras ciencias, como la geología, que proporciona conocimientos sobre la

información y características de los agregados naturales, y la ingeniería mecánica, que aporta técnicas y herramientas para trituración y procesamiento de los agregados.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.2.1. Justificación académica

El estudio de la resistencia a la abrasión de los agregados utilizados en pavimentos es un tema central en la ingeniería civil, específicamente en la rama de la geotecnia y materiales de construcción. Este proyecto proporciona una valiosa contribución al conocimiento académico al comparar la pérdida por abrasión entre agregados naturales y triturados utilizando el ensayo de desgaste de los Ángeles. Esta investigación no solo profundiza en la comprensión de las propiedades mecánicas de los agregados, sino que también facilita la enseñanza y aprendizaje sobre cómo la selección de materiales influye en la durabilidad y resistencia de las estructuras viales, los resultados obtenidos serán útiles para futuros estudios, reforzando las bases teóricas y prácticas.

1.2.2. Justificación sobre la aplicación técnica – practica

En el ámbito técnico, la selección adecuada de los agregados es importante para el desempeño de los pavimentos. Este proyecto se centra en la comparación practica de dos tipos de agregados: naturales y triturados, mediante el ensayo de desgaste de los Ángeles, los resultados proporcionaran información sobre cuál de estos materiales ofrece una mayor resistencia a la abrasión, optimizando así la selección de agregados en la industria de la construcción. Esta investigación tiene un impacto directo en la mejora de las prácticas de construcción, permitiendo a los ingenieros tomar decisiones más informadas y basadas en datos empíricos al diseñar y construir pavimentos más duraderos y resistentes.

1.2.3. Justificación e importancia social

Desde una perspectiva social, el mantenimiento adecuado de las carreteras es fundamental para la seguridad y eficiencia del transporte. Al seleccionar los materiales que ofrecen una mayor durabilidad, se pueden reducir significativamente los costos de mantenimiento y

prolongar la vida útil de las infraestructuras viales, esto no solo optimiza los recursos financieros, sino que también garantiza carreteras más seguras y confiables para los usuarios, contribuyendo al bienestar social al facilitar el transporte eficiente y seguro.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

El presente estudio se centra en la propiedad de los agregados, específicamente en el desgaste a la abrasión, el cual es una característica que influye en el desempeño de las construcciones de pavimentos. Para caracterizar completamente las propiedades físicas de los agregados se deben realizar ensayos de caracterización, incluyendo la granulometría, ensayo de partículas planas y alargadas, ensayo de caras fracturadas. Estos ensayos preliminares son fundamentales para asegurar que los agregados cumplen con los estándares necesarios para su uso en la construcción y para proporcionar una base sólida para el análisis de la pérdida por abrasión.

La pérdida por abrasión es un proceso que ocurre cuando las partículas duras y afiladas eliminan material de la superficie de un objeto, deteriorándolo gradualmente. En el contexto de los agregados utilizados en la construcción, la pérdida por abrasión se evalúa mediante el ensayo de desgaste de los Ángeles que mide el desgaste de los agregados.

Si no se realiza la comparación de la pérdida por abrasión entre agregados naturales con triturados, se corre el riesgo de utilizar materiales que no optimicen la durabilidad y resistencia. Esto podría resultar en fallos prematuros de las estructuras, incrementando los costos de mantenimiento y reparación, y comprometiendo la seguridad de las construcciones.

Para abordar esta problemática, se propone comparar la resistencia al desgaste de ambos tipos de agregados mediante el ensayo de desgaste de los Ángeles, considerando los resultados obtenidos para determinar cuál de los dos tipos de agregados ofrece mejores propiedades mecánicas.

1.3.2. Delimitación temporal

Tabla 1. Delimitación temporal

Fecha Aproximada	Evento	¿Como tributa este dato?
Abril del 2023	Exploración de distintas canteras de la ciudad de Tarija.	Se identifica tres canteras, para realizar el estudio de los agregados naturales y triturados
Junio del 2023	Se da procedente el título de la propuesta.	Esto es en una junta de Departamento
4 de Julio 2023	Se aprueba la asignatura CIV 501.	Perfil aprobado en sus diseños; teórico y metodológico.
Agosto del 2023	Extracción de agregados.	Se extrajo material de las tres diferentes canteras para realizar los ensayos correspondientes.
Septiembre del 2023	Caracterización de agregados.	Se realiza los ensayos de caracterización de los agregados: <ul style="list-style-type: none"> - Contenido de Humedad. - Granulometría. - Ensayo de partículas planas y alargadas. - Ensayo de caras fracturadas.
Octubre del 2023	Pérdida por abrasión en el desgaste de los Ángeles de los agregados de estudio.	Se realiza el ensayo de desgaste de los Ángeles.
Abril – Mayo del 2024	Elaboración del documento	Se realizo la estructuración del proyecto con ayuda del docente guía.
7 de Junio 2024	Entrega de borrador	Borrador completo para ser revisado y aprobado por el docente.
3 de Julio 2024	Pre defensa	Pre defensa con tribunales
22 de Octubre 2024	Defensa final	Defensa final con tribunales

Fuente: Elaboración propia

1.3.3. Delimitación espacial

La investigación se realizará con agregados naturales y triturados provenientes de las canteras de Santa Ana, San Jacinto y San Blas, y luego de ser extraído se procederá a ser trasladado a laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.3.4. Formulación del problema

¿De qué manera; con la máquina de desgaste de los Ángeles se puede establecer las diferencias de la pérdida por abrasión entre agregados naturales y triturados?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Comparar la pérdida por abrasión entre agregados naturales con triturados; utilizando el ensayo de desgaste de los Ángeles; y así determinar si existe diferencias significativas en porcentaje para prevenir un mejor aprovechamiento en el uso y construcción de pavimentos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Profundizar el conocimiento relacionado a la pérdida por abrasión.
- Estudiar el desarrollo operacional del ensayo de desgaste de los Ángeles.
- Caracterizar los agregados involucrados en el estudio.
- Desarrollar el ensayo de desgaste de los Ángeles de tres canteras.
- Establecer la significancia de sus diferencias.
- Evaluar la forma de aprovechamiento.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Formulación de la hipótesis

La pérdida por abrasión en agregados gruesos naturales y triturados presenta elevadas discrepancias en sus efectos, con diferentes bancos.

1.5.2. Conceptualización de las variables

Pérdida por abrasión

Es el valor que se obtiene del ensayo de desgaste de los Ángeles que se realizara para determinar la pérdida por abrasión, se mide en porcentaje [g].

1.5.3. Operacionalización de variables

Tabla 2. Operacionalización de la variable "pérdida por abrasión"

Variable	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Desgaste a la abrasión	Muestra de agregado	[g]	Preparación previa de la muestra según normativa
	Contenido de humedad	[%]	Humedad
	Granulometría	[%]	Porcentaje que pasa en la serie de tamices
	Partículas planas y alargadas	[%]	Porcentaje que pasa por el calibrador de partículas planas y alargadas
	Caras fracturadas	[%]	Lo que pasa por el tamiz N°4, inspección exhaustiva de cada partícula
	Desgaste de los Ángeles.	[%]	Lo que pasa el tamiz N°12

Fuente: Elaboración propia

1.6. ALCANCE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación, la única variable considerada es la pérdida por abrasión, que constituye el objeto de estudio del presente trabajo, la cual no es manipulable por el investigador, utilizando un diseño no experimental ya que no se intervendrá ni alterará el entorno natural de los agregados. Se alcanzará un nivel descriptivo porque el objetivo es

comparar la pérdida por abrasión de agregados naturales con triturados, sin buscar relaciones causales, donde será identificada en tres canteras: Santa Ana, San Jacinto y San Blas. Se empleará un muestreo transversal-transeccional para recolectar datos en un único momento, lo que permitirá describir y analizar las diferencias entre agregados naturales con triturados.

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. 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).

2.1.2. Tipos de agregados

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:

2.1.2.1. Agregados naturales

Formados por procesos geológicos

Son los que se encuentran directamente en la corteza terrestre con el tamaño adecuado o aquello que se obtienen al procesar por medios mecánicos, rocas existentes para darles el tamaño deseado.

Figura 1. Agregado Natural



Fuente: Instituto Venezolano del Asfalto

2.1.2.2. Agregados triturados

Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales. Algunos de estos agregados son los que constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra triturada (chancada), etc.

Figura 2. Agregado triturado

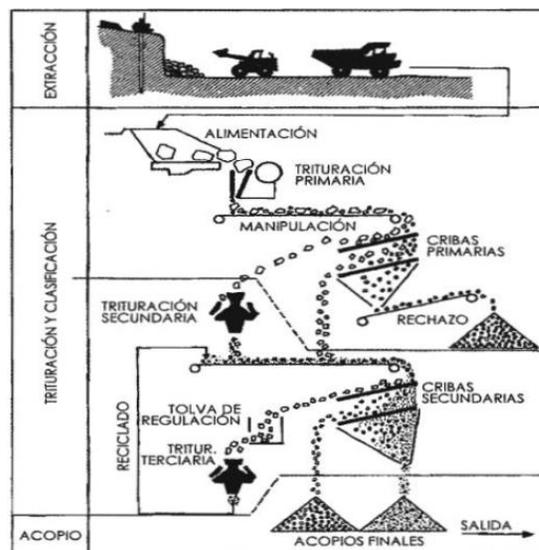


Fuente. Instituto Venezolano del Asfalto
(INSTITUTO VENEZOLANO DE ASFALTO)

Procesos de fabricación de agregados triturados

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

Figura 3. Proceso de fabricación de agregados triturados.



Fuente: Ingeniería de Carreteras Carlos K.

2.1.2.2.1. Tipo de plantas trituradoras de agregados

Se pueden clasificar todas las trituradoras en dos grupos grandes:

a) Trituradoras por compresión

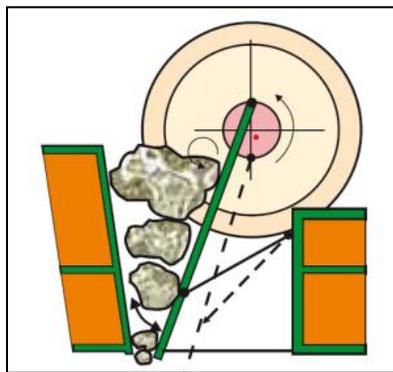
Son aquellas que comprimen el material hasta que se rompe.

- Trituradoras de Mandíbulas

Las trituradoras de mandíbulas se usan principalmente como trituradoras primarias. Su propósito principal es producir material que puede ser transportado en bandas transportadoras hacia las etapas posteriores de trituración. La trituración ocurre entre una mandíbula fija y una mandíbula móvil. Los forros de la mandíbula móvil están montados en una biela con movimiento oscilante y deben reemplazarse regularmente debido al desgaste. Hay dos tipos básicos de trituradoras de mandíbulas, las de un solo efecto y las de doble efecto.

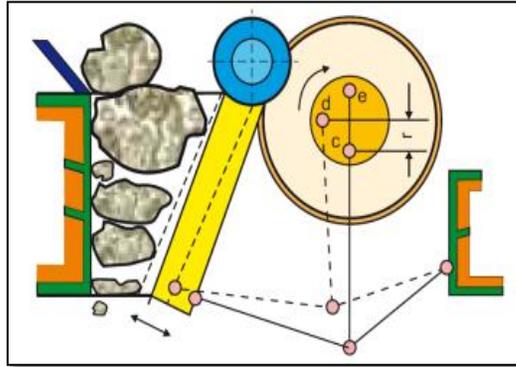
En la trituradora de un solo efecto hay un eje excéntrico en la parte superior de la trituradora. La rotación del eje, junto con la placa basculante, produce una acción compresiva. Una trituradora de doble efecto tiene básicamente dos ejes y dos placas basculantes. El primer eje es un eje pivotante en la parte superior de la trituradora (figura 4), mientras que el otro es un eje excéntrico que acciona las dos placas articuladas (figura 5). La mandíbula móvil tiene un movimiento puro de vaivén hacia la mandíbula fija.

Figura 4. Trituradora de mandíbula de efecto simple



Fuente: Manual METSO

Figura 5. Trituradora de mandíbulas de doble efecto



Fuente: Manual METSO

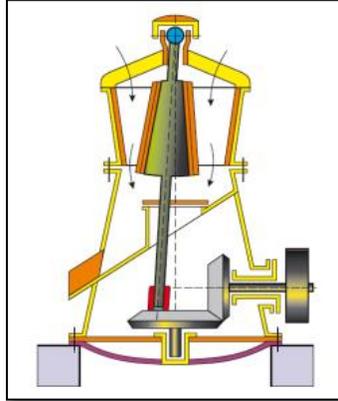
- **Trituradoras de cono y giratorias**

Tanto las trituradoras de cono como las giratorias tienen un eje oscilante. El material es triturado en una cavidad o cámara de trituración entre un elemento exterior fijo (forro) y un elemento interior móvil (manto) montado en el conjunto del eje oscilante.

La fragmentación del material resulta de la compresión continuada que ocurre entre los forros alrededor de la cámara. Un efecto de trituración adicional ocurre entre las partículas comprimidas, resultando en un menor desgaste de los forros. Este efecto también es conocido como auto trituración de partículas, es decir chocan entre ellas y se comprimen hasta fracturarse.

Las trituradoras giratorias primarias se usan en la primera etapa de trituración. Las giratorias secundarias se usan normalmente en la segunda etapa de trituración, pero, en algunos casos, pueden usarse en la primera etapa desde que el tamaño del material permita su entrada en la abertura de alimentación. Comparado con la trituradora de cono secundaria, la trituradora giratoria tiene una cámara de trituración diseñada para aceptar material de alimentación de tamaño relativamente grande en relación con el diámetro del manto. Por ello, el ángulo de la cabeza del cono es más pequeño que el de una trituradora de cono giratoria.

Figura 6. Trituradora giratoria

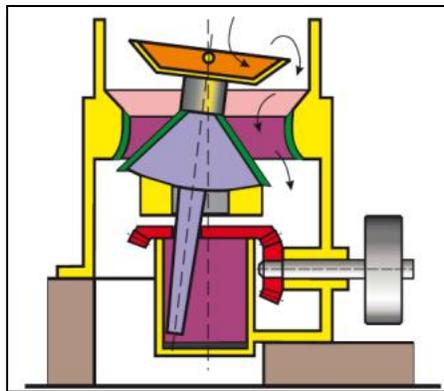


Fuente: Manual METSO

- **Trituradoras de cono secundarias, terciarias y cuaternarias**

Estas trituradoras se usan para trituración de tamaños intermedios y finos y/o para obtener un producto con buen formato cúbico (factor de forma). El material de alimentación ha sido tratado en trituradoras primarias en etapas anteriores. En una cantera de depósitos no consolidados, la trituración primaria ha sido realizada por la naturaleza, razón por la cual la trituradora de cono secundaria puede, en algunos casos, llevar a cabo el proceso de trituración completo. El factor determinante para el desempeño de una trituradora de cono secundaria es el perfil de la cámara o cavidad de trituración. Por eso, normalmente hay un rango de cavidades estándar disponibles para cada trituradora de modo a permitir la selección de la cavidad adecuada al tipo de material de alimentación.

Figura 7. Trituradora de cono



Fuente: Manual METSO

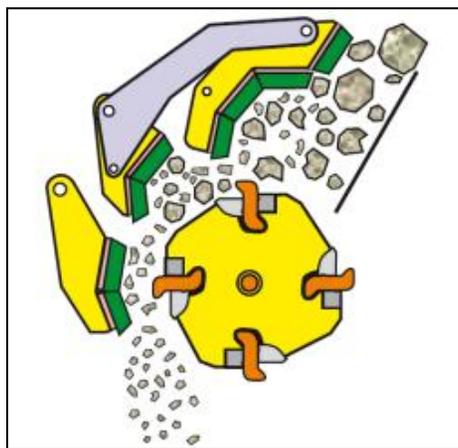
b) Trituradoras por impacto

Los dos tipos principales (trituradoras de impactos de eje horizontal y de eje vertical) se caracterizan por una elevada tasa de reducción y por la propiedad de dar forma cúbica al producto. Las trituradoras de impactos consisten en una carcasa de placa de acero integrando un eje y un conjunto de rotor. El número de piezas móviles es muy reducido.

- Trituradoras de Impacto de eje Horizontal HSI

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

Figura 8. Trituradora de impacto horizontal

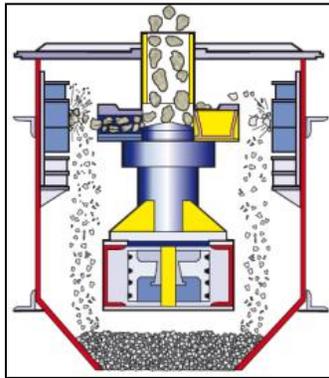


Fuente: Manual METSO

- Trituradoras de impactos de eje vertical VSI

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

Figura 9. Trituradora de impacto vertical

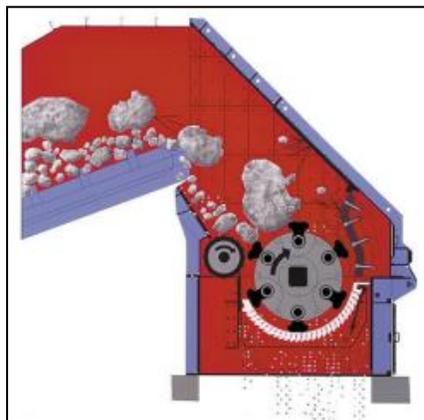


Fuente: Manual METSO

- Molino de Martillos

Los molinos de martillos son muy parecidos a los de impactos. La diferencia es que el molino de martillos tiene muchos martillos articulados fijados al rotor y las aberturas de descargas consisten en una rejilla a través de la cual el material tiene que pasar, contribuyendo así al proceso de reducción. Los molinos de martillos se usan para triturar y pulverizar materiales que no sean demasiado duros o abrasivos. La velocidad del rotor y el espaciado de las barras de la rejilla pueden ser optimizados para satisfacer las necesidades de distintas aplicaciones.

Figura 10. Molino de martillos



Fuente: Manual METSO

(Eloranta, Jarmo, 2008)

2.1.2.3. Agregados Artificiales

Los agregados artificiales o manufacturados son los que se obtienen de procesos industriales, de composición mineral definida, la forma se les da en estado líquido o pastoso y luego endurecen por procesos físicos o físico – químicos, como ser:

- Las escorias.
- Las arcillas expansivas.
- Los productos cerámicos, etc.

Figura 11. Agregados artificiales



Fuente: Instituto Venezolano del Asfalto

2.1.3. Propiedades de los agregados pétreos.

Las propiedades de los agregados se pueden conceptuar 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 de 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. 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:

2.1.4.1. 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.

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.

2.1.4.2. 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.

2.1.4.3. 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.

2.1.4.4. 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. 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.

2.1.4.5. 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. 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.

2.1.4.6.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.

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.

2.1.4.7.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.

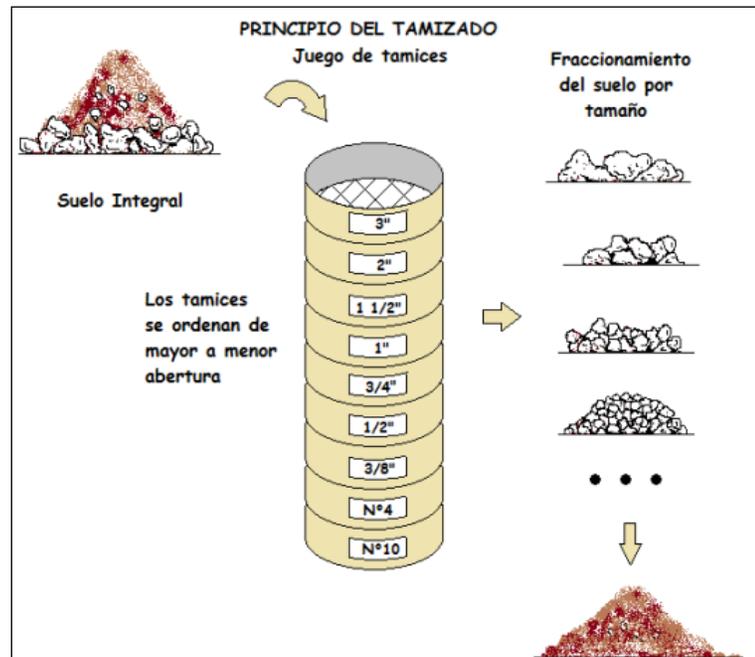
2.1.5. Ensayos para caracterizar los agregados pétreos

2.1.5.1. Granulometría

Por medio de este ensayo podemos determinar la distribución de tamaños de las partículas, el cual consiste en hacer pasar una cierta cantidad de muestra de agregado por una serie de tamices normalizados, en la norma ASTM, en un orden sucesivo de mayor a menor abertura del tamiz, quedando retenida parte de la muestra en cada tamiz.

Se presentan en una gráfica el porcentaje que pasa en cada uno de ellos, pudiéndose observar si la curva es continua, ósea que contenga todos los tamaños o si es discontinua un solo tamaño.

Figura 12. Granulometría



Fuente: Texto de mecánica de suelos de UAJMS

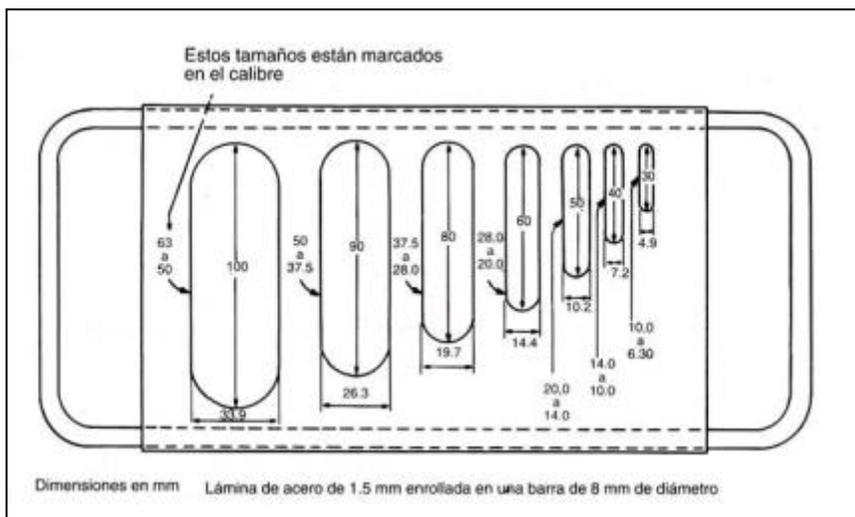
2.1.5.2. Partículas planas y alargadas

La forma de las partículas de agregado grueso, afecta al esqueleto mineral, las formas pueden ser redondeadas, cúbicas, lascas o agujas, siendo estas dos últimas peligrosas, porque durante el proceso de compactación o por las tensiones del tráfico, se pueden romper y eso varía su contenido en la granulometría. Se definen los índices de lascas y agujas como los porcentajes en peso, respecto a la muestra total, de las partículas que son, respectivamente, lascas o agujas.

Los métodos utilizados para la determinación de dichos índices de forma se basan generalmente en la medida directa de las dimensiones de las partículas.

Los ensayos se realizan por calibres de ranuras para determinar el índice de lascas y los calibres de las agujas para sacar el índice de agujas. Se hace pasar el retenido de cada tamiz por estos calibres y se expresa como resultado. El índice de lascas es el cociente entre lo que pasa por el calibre de ranuras y el total de muestra.

Figura 13. Calibrador de partículas planas y alargadas



Fuente: Rodríguez, A. P. (s.f.). Mezclas asfálticas .

2.1.5.3. Caras fracturadas

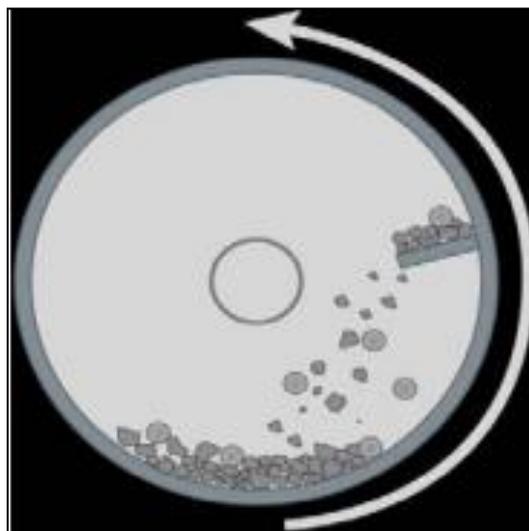
La forma de las partículas de mayor o menor angulosidad influye en la resistencia del esqueleto mineral. Para realizar este ensayo se determina el porcentaje de partículas con dos o más caras de fractura.

(Rodríguez, Alejandro Padilla)

2.1.5.4. Máquina de desgaste de los Ángeles (Norma ASTM C-131)

Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo. A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración (Figura 14). Entonces, la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor, hasta que la pestaña las levanta y se repite el ciclo. Tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, como un porcentaje de pérdida.

Figura 14. Degradación del agregado durante el ensayo



Fuente: ASTM C-131

El objetivo de la prueba de desgaste por medio de la máquina de los ángeles es determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales pétreos utilizados en las mezclas asfálticas. Este ensayo mide la degradación de los agregados resultante de la combinación de varias acciones como ser abrasión, impacto y fricción de las esferas dentro de la máquina de los ángeles.

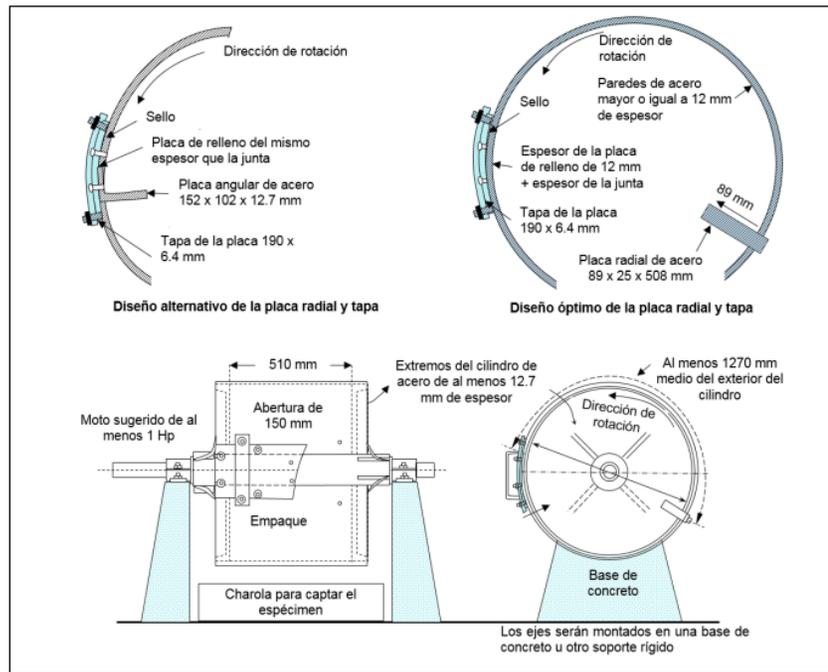
Para determinar la resistencia se hace una carga abrasiva sobre la muestra de material que se desee analizar, esta prueba es ampliamente utilizada como un indicador de la calidad relativa de los agregados. Mide la degradación de las gradaciones estándar de los agregados cuando se somete a la abrasión y el impacto en un tambor de acero rotativo con una carga abrasiva de bolas de acero. El tambor está equipado con un estante interno que levanta y suelta la carga y la muestra con cada revolución, generando fuerzas de impacto. Después de que la máquina haya completado las RPM requeridas, se eliminan los contenidos y se mide el porcentaje de pérdida.

La prueba consiste en poner dentro de un barril metálico los agregados gruesos hasta de 37,5 mm (1½"), así como también evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (¾"), junto con unas bolas de acero, las cuales al hacer girar el barril se levantan y caen golpeando los agregados, consecuentemente al degradarse los agregados se genera material fino. En la prueba se determina el porcentaje del material original que después de la prueba pase la malla No. 12, este porcentaje se interpreta como el porcentaje de desgaste. Entre más alto sea el porcentaje de desgaste mayor será la susceptibilidad del agregado para degradarse romperse. En carreteras, por ejemplo, no se acepta que el agregado grueso presente un desgaste mayor del 40 % para ser usado en la elaboración de carpetas asfálticas.

Los límites de las especificaciones deben ser asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones finales específicas.

Es responsabilidad de quien emplee el ensayo, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad, y la aplicación de limitaciones regulatorias con anterioridad a su uso.

Figura 15. Especificaciones generales de la máquina de los Ángeles



Fuente: Manual de ensayos para laboratorio- instituto mexicano del transporte

Tamices: Con aberturas conforme a las especificaciones de la norma. Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices (ASTM C131 y ASTM C 535), de acuerdo a los siguientes tamaños: 75 mm [3"], 63 mm [2 1/2"], 50 mm [2"], 37,5 mm [1 1/2"], 25,0 mm [1"], 19,0 mm [3/4"], 12,5 mm [1/2"], 9,5 mm [3/8"], 6,3 mm [1/4"], 4,75 mm [No. 4], 2,36 mm [No. 8], 1,7 mm [No. 12]

Carga abrasiva: La carga abrasiva consistiría en esferas de acero de un diámetro aproximado de 46,8mm y de una masa comprendida entre 390 y 455 gr. La gran cantidad de esferas y la masa total de las mismas a considerar en el ensayo depende de la granulometría y del tamaño de la partícula en la muestra, de acuerdo en el siguiente criterio:

Carga abrasiva para árido con tamaño comprendido entre 20 y 80mm. La carga consistiría en 12 esferas de las especificaciones en 2,3 con una masa total de las mismas de $5.000 \pm 25g$ a utilizar en cualquiera de las tres granulometrías, E, F o G que se refieren en la tabla 3. La carga abrasiva para árido con tamaño comprendido entre 2,5 y 40 mm. La carga

abrasiva va a utilizar dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C, o D que se muestra en la tabla 3, y de acuerdo con esto se utiliza el número de esferas.

Tabla 3. Granulometrías representativas de los agregados, para selección del método de ensayo a usar

GRADACIÓN		A	B	C	D	E	F	G
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)						
PASA	RETENIDO							
3"	2 1/2"					2500±50		
2 1/2"	2"					2500±50		
2"	1 1/2"					5000±50	5000±50	
1 1/2"	1"	1250±25					5000±50	5000±50
1"	3/4"	1250±25						5000±50
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10					
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10					
3/8"	1/4"			2500±10				
1/4"	N°4			2500±10				
N°4	N°8				5000±10			
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±75	10000±50
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
N°DE REVOLUCIONES		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fuente. Norma ASTM C – 131

Procedimiento:

Luego de comprobar que el tambor esté limpio, la muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de Los Ángeles y se hace girar el tambor a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 rpm) hasta completar 1000 revoluciones.

Nota: La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante.

Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del tambor y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, empleando un tamiz de abertura mayor al de 1,70 mm (No. 12). La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1,70 mm (No. 12). El material más grueso que la

abertura del tamiz de 1,70 mm (No. 12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$, hasta masa constante, y se determina la masa con precisión de 1 g.

Calculo

Calcular la resistencia al desgaste, por abrasión e impacto del árido como porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo a la siguiente formula:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} * 100$$

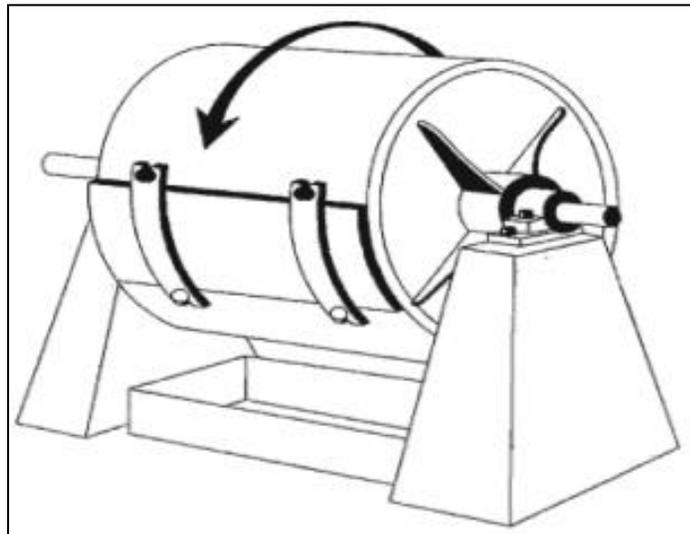
Donde:

Desgaste= Desgaste del agregado, en [%].

P_{inicial} = Masa inicial de la muestra, en [g].

P_{final} = Masa final de la muestra, en [g].

Figura 16. Máquina de desgaste de los Ángeles



Fuente: Ingeniería de carreteras Kraemer C

(NORMA , ASTM C- 131)

2.2. MARCO NORMATIVO

Los ensayos que se llevó a cabo en el presente proyecto están basados mediante las siguientes normas:

Tabla 4. Marco normativo

PARÁMETRO	NORMA	
Extracción y preparación de muestra	ASTM C75	AASHTO T2
Cuarteo de muestra	ASTM C702	AASHTO T248
Tamizado y granulometría	ASTM C136	AASHTO T27
Contenido de Humedad	ASTM C566	
Caras fracturadas	ASTM D 5821	INV. E-227-13
Partículas planas y alargadas	ASTM D 4791	INV. E-240-13
Desgaste mediante el desgaste de los Ángeles	ASTM C131	AASHTO T96

Fuente: Elaboración propia

2.3. MARCO REFERENCIAL

Se tomó como referencia algunos trabajos de investigación:

TÍTULO: “Análisis del grado de degradación en diferentes agregados pétreos utilizados como materiales granulares de estructuras de pavimento en Bogotá”

AUTORES: Luisa María Estrada Beltrán, Jorge Andrés González Suarez, Laura Liliana Rodríguez González

AÑO: 2015

PAÍS: Colombia

TÍTULO: “Estudio de las propiedades de los agregados de la cantera sector Bello Horizonte – ladero – La Libertad”

AUTORES: Laiza Martínez, Jorge Leandro Segundo

AÑO: 2022

PAÍS: Perú

2.4. ANÁLISIS DE APOORTE TEÓRICO

El marco conceptual de este proyecto se seleccionó considerando la relevancia de los agregados pétreos en la construcción de pavimentos, con un enfoque en los tipos de agregados (naturales y triturados) y sus propiedades individuales y de conjunto. Este marco conceptual aporta significativamente al proyecto al proporcionar una base sólida para entender las diferencias en el comportamiento y las aplicaciones de los distintos tipos de agregados. Las características específicas para pavimentos, como la forma, resistencia al desgaste y adhesividad, son importantes para garantizar la durabilidad y el desempeño de los pavimentos.

Los ensayos de caracterización se eligieron por su importancia en evaluar el comportamiento de los agregados bajo condiciones de uso real. Las normativas se basaron en el manual de especificaciones técnicas de la ABC, asegurando su validez y comparabilidad de resultados.

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

CAPÍTULO III
DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA
INFORMACIÓN

3.1. IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN PRECISA DE LA
ZONA DE PROYECTO.

Para realizar el estudio de los agregados se extrajo material de tres lugares diferentes de la ciudad de Tarija, provincia Cercado.

3.1.1. Cantera Santa Ana

Queda ubicado sobre la carretera hacia el sur del departamento, pasando por la terminal interdepartamental de Tarija, atravesando el peaje la pintada, la cantera se encuentra a unos 700 metros sobre la ruta principal.

Características del área de lugar:

La cantera de Santa Ana se encuentra en una zona de importante transitabilidad, por esta vía existe un flujo abundante de vehículos pesados y livianos de uso particular y público, es una antigua ruta interdepartamental que conecta el Valle de la Concepción, Padcaya y comunidades aledañas con la ciudad de Tarija

El material que extrae proviene del Rio Santa Ana.

3.1.1.1. Ubicación geografica de la cantera Santa Ana

Tabla 5. Coordenadas UTM de la cantera Santa Ana y puntos de extracción.

	COORDENADAS ESTE	COORDENADAS NORTE
CANTERA	329899.00 m E	7608691.00 m S
PUNTO 1	329987.00 m E	7608704.00 m S
PUNTO 2	329965.00 m E	7608690.00 m S
PUNTO 3	329946.00 m E	7608697.00 m S

Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Ubicación de la cantera Santa Ana



Fuente: Google Earth

3.1.2. Cantera San Jacinto

Para llegar a esta cantera se ingresa por el barrio San Gerónimo, siguiendo por la Av. Alto de la Alianza hasta la Av. San Luis perteneciente al Barrio que lleva el mismo nombre, se sigue el recorrido pasando el Colegio Alemán del Sud hasta la zona el temporal, al llegar a San Jacinto, se debe transitar un aproximado de 575 m hasta llegar a la cantera.

Características del área de lugar:

La cantera de San Jacinto se encuentra en una zona alejada de la ciudad donde existe distintos tipos de sembradíos, predominando los viñedos a su alrededor. Para llegar a esta cantera se sigue una avenida asfaltada pasando por el Barrio San Gerónimo y San Luis, posteriormente pasando el puente el temporal, al llegar a San Jacinto se puede observar que el camino es de tierra.

El material que se extrae proviene del Rio Tolomosa.

3.1.2.1. Ubicación geográfica de la cantera San Jacinto

Tabla 6. Coordenadas UTM de la cantera San Jacinto y puntos de extracción.

	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
CANTERA	324989.00 m E	7611757.00 m S
PUNTO 1	324996.00 m E	7611743.00 m S
PUNTO 2	325010.00 m E	7611743.00 m S
PUNTO 3	325030.00 m E	7611764.00 m S

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Ubicación de la cantera San Jacinto.



Fuente: Google Earth

3.1.3. Cantera San Blas

Para llegar a la cantera se debe pasar por el parque temático hasta la rotonda de los leones, luego dirigirse a la Av. Felipe Palazón pasando por el barrio Miraflores y por el colegio La Salle el cual se encuentra a 730 metros de la cantera.

Características del área de lugar:

La Cantera de San Blas se encuentra en una zona poco transitable pasando el Barrio Miraflores, existe poca población a su alrededor, el camino hacia la cantera es asfaltado

2 km, desde la rotonda de los leones pasando por el colegio la Salle, hasta unos 100 m antes de llegar a la cantera, el acceso a la misma se encuentra empedrado.

El material que extrae de la cantera proviene del rio Guadalquivir.

3.1.3.1. Ubicación geográfica de la cantera San Blas

Tabla 7. Coordenadas UTM de la cantera San Blas y puntos de extracción

	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
CANTERA	322223.00 m E	7614892.00 m S
PUNTO 1	322177.00 m E	7614906.00 m S
PUNTO 2	322182.00 m E	7614931.00 m S
PUNTO 3	322165.00 m E	7614928.00 m S

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Ubicación de la cantera San Blas



Fuente. Google Earth

3.2. CRITERIOS DEL DISEÑO METODOLÓGICO

3.2.1. Unidad de estudio o muestra

Unidad de muestra:

Un ensayo de laboratorio de hormigón.

Población:

Todos los ensayos de laboratorio de hormigón.

Muestra:**Tabla 8. Muestra**

N°	Etapa	Ensayo	Ni
1	Caracterización	Contenido de humedad	6
2		Granulometría	6
3		Partículas planas y alargadas	6
4		Caras fracturadas	3
5	Pruebas definitivas	Desgaste de los Ángeles	60
Total			81

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Tamaño de la muestra

Para el cálculo del tamaño de la muestra se tomará en cuenta la ecuación de muestreo estratificado:

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

Tabla 9. Planilla de cálculo del tamaño de muestra

N°	Etapa	Ensayo	Ni	σ^2	$Ni*\sigma^2$	fi	ni
1	Caracterización	Contenido de humedad	6	0,1	0,90	0,074	4
2		Granulometría	6	0,1	0,90	0,074	4
3		Partículas planas y alargadas	6	0,1	0,90	0,074	4
4		Caras fracturadas	3	0,1	0,45	0,037	2
5	Pruebas definitivas	Desgaste de los Ángeles	60	0,1	9,00	0,741	44
Total			81		12,15		60

Fuente: Elaboración propia

Donde se tomará en cuenta un nivel de confianza de 95 % y de acuerdo a la variable estandarizada es $Z= 1,96$, con un margen de error $e= 0,05$ % que es deducido del nivel de confianza, y por el tiempo establecido se asume una varianza de $\sigma^2 = 0,10$.

Reemplazando se tiene:

$$n = \frac{12,15}{81 \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{12,15}{81}} \quad n = 60$$

Tabla 10. Tamaño de la muestra

N°	Etapa	Ensayo	Ni
1	Caracterización	Contenido de humedad	4
2		Granulometría	4
3		Partículas planas y alargadas	4
4		Caras fracturadas	2
5	Pruebas definitivas	Desgaste de los Ángeles	44
		Total	60

Fuente: Elaboración propia

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

Para realizar los ensayos de caracterización se utilizaron los siguientes equipos y herramientas:

Figura 20. Pala, bolsa de yute y varilla de madera



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Taras y bandejas



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Balanza de 6 y 60 kg de capacidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Horno y serie de tamices



Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Calibrador de partículas planas y alargadas



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Brocha, cepillo metálico y cuchara



Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Esferas metálicas, llave y Alargador



Fuente. Elaboración propia

Figura 27. Máquina de desgaste de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

3.4. ENSAYOS DE CARATERIZACION DE LOS AGREGADOS

3.4.1. Ensayo de muestreo

Debido a que la cantidad a extraer era superior a los 100 kg, se realizó el método de cuarteo manual y obtener una muestra representativa para la realización de los ensayos.

Figura 28. Proceso de cuarteo



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Contenido de Humedad

La humedad de los agregados es de mucha importancia porque influye en su comportamiento y en la resistencia mecánica del mismo.

Se realizó el contenido de humedad tanto para material natural como triturado obteniendo la siguiente tabla de cálculo:

Tabla 11. Contenido de humedad cantera Santa Ana material natural

CONTENIDO DE HUMEDAD			
Cápsula	1	2	3
Masa de suelo húmedo + Cápsula [g]	283	253,7	281,20
Masa de suelo seco + Cápsula [g]	282,5	253,1	280,70
Masa de cápsula [g]	18,6	16,8	18,10
Masa de suelo seco [g]	263,9	236,3	262,6
Peso del agua [g]	0,5	0,6	0,5
Contenido de humedad [%]	0,19	0,25	0,19
PROMEDIO	0,21		

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexo N°1)

3.4.3. 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.

Figura 29. Proceso de tamizado



Fuente: Elaboración propia

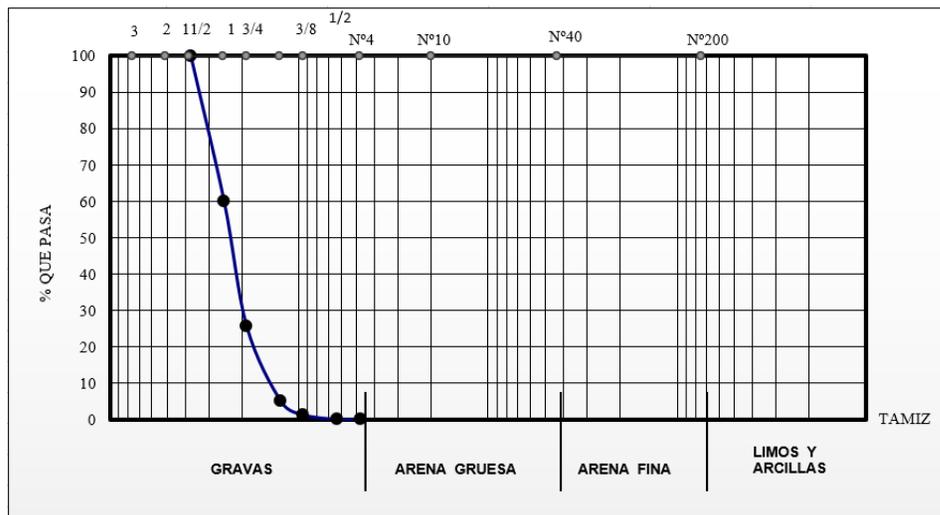
Trabajando con material natural y triturado, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 12. Granulometría de cantera Santa Ana material natural

Tamices	Tamaño [mm]	Peso Ret. [g]	Ret. Acum.	Ret. [%]	Pasa Total [%]
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	1999,60	1999,60	39,99	60,01
3/4"	19,00	1718,60	3718,20	74,36	25,64
1/2"	12,50	1033,10	4751,30	95,03	4,97
3/8"	9,50	183,60	4934,90	98,70	1,30
1/4"	6,3	62,20	4997,10	99,94	0,06
Nº4	4,75	2,90	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Curva Granulométrica de cantera Santa Ana material natural



Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexo N°2)

3.4.4. Ensayo de partículas planas y alargadas

Este ensayo nos permite garantizar la calidad de los materiales ya que estos pueden afectar en la colación y compactación para la construcción de infraestructuras viales.

Figura 31. Proceso de separación de las partículas



Fuente: Elaboración propia

Para este ensayo también se trabajó con material natural y triturado, obteniendo la siguiente tabla de cálculo.

Tabla 13. Partículas planas y alargadas de cantera Santa Ana material natural

PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS					
MASA INICIAL DE LA MUESTRA	5000 [g]				
Cápsula	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"
Masa total de cada fracción [g]	2042,8	1577,3	998,1	243,4	136,00
Retenido parcial [%]	40,86	31,55	19,96	4,87	2,72
Masa individual de planas y alargadas [g]	462,4	297,1	180,9	102,5	8,10
Masa individual de ni planas ni alargadas [g]	1580,4	1280,2	817,2	140,9	127,9
Porcentaje de las partículas planas y alargadas por tamiz de la muestra [%]	22,64	18,84	18,12	42,11	5,96
Porcentaje de las partículas planas y alargadas por tamiz ponderado a la granulometría [%]	9,25	5,94	3,62	2,05	0,16
Σ PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS	21,02				

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexo N°3)

3.4.5. Ensayo de caras fracturadas

Este ensayo visual es una herramienta que garantiza la calidad y el rendimiento de los áridos en proyectos de construcción y pavimentación.

Figura 32. Partículas fracturadas



Fuente: Elaboración propia

Para este ensayo solo se trabaja con material triturado, se debe sostener cada partícula de manera que se pueda apreciar directamente su superficie, si al menos un cuarto del área de la partícula esta fracturada se la considera como una cara fracturada. Posteriormente se obtiene la siguiente tabla de cálculo.

Tabla 14. Caras fracturadas de cantera Santa Ana

CARAS FRACTURADAS	
MASA INICIAL DE LA MUESTRA	5000 [g]
Masa de partículas con dos o más caras fracturadas [g]	4354
Masa de partículas con una cara fracturada [g]	426
Masa de partículas sin caras fracturadas [g]	220
Porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas [%]	87
Porcentaje de partículas con una cara fracturada [%]	8,5

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de cada ensayo revisar planillas (Anexo N°4)

3.5. PÉRDIDA POR ABRASIÓN EN EL DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Una vez realizado los ensayos de caracterización de agregados naturales y triturados, se procedió con el ensayo final que es el desgaste de los Ángeles,

La prueba de abrasión en el desgaste de los Ángeles nos ayuda a determinar si los agregados son lo suficientemente fuertes, para soportar el desgaste causado por el tráfico vehicular, ya que los agregados inadecuados pueden resultar en una capa de rodadura propensa a la erosión y al deterioro prematuro.

Para llevar a cabo el ensayo, de acuerdo a la granulometría se determina el tipo de gradación a utilizar; que consiste en elegir el diámetro de partículas para utilizar la cantidad de material, número de esferas que simulan el desgaste abrasivo y el número de revoluciones correspondientes a la siguiente tabla.

Tabla 15. Granulometrías representativas de los agregados, para la selección del tipo de gradación a usar

GRADACIÓN		A	B	C	D	E	F	G
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)						
PASA	RETENIDO							
3"	2 1/2"					2500±50		
2 1/2"	2"					2500±50		
2"	1 1/2"					5000±50	5000±50	
1 1/2"	1"	1250±25					5000±50	5000±50
1"	3/4"	1250±25						5000±50
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10					
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10					
3/8"	1/4"			2500±10				
1/4"	N°4			2500±10				
N°4	N°8				5000±10			
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±75	10000±50
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fuente: Norma ASTM C-131

Figura 33. Manipulación de la máquina de desgaste de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan el porcentaje de desgaste obtenidos de las diferentes canteras.

Tabla 16. Tabla de resultados de desgaste de los Ángeles

	Santa Ana Natural	Santa Ana Triturado	San Jacinto Natural	San Jacinto Triturado	San Blas Natural	San Blas Triturado
	Porcentaje de desgaste					
1	28,86	22,94	29,75	25,83	30,11	23,6
2	28,69	22,58	28,45	24,78	30,12	26,29
3	27,83	23,13	27,95	24,02	30,17	25,09
4	27,92	22,63	28,94	24,83	30,09	24,94
5	27,48	23,22	29,16	25,68	30,15	25,33
6	29,98	22,8	28,05	24,12	30,16	24,71
7	28,59	22,69	28,82	24,93	30,04	23,69
8	27,91	22,74	27,73	25,72	29,82	26,58
9	28,46	23,48	29,1	23,89	30,18	24,72
10	29,03	22,81	29,15	24,82	30,01	24,79
PROMEDIO	28,48	22,90	28,71	24,86	30,09	24,97

Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 17. Planilla resumen de caracterización de agregados

Ítem	Identificación de muestra	Contenido de humedad [%]	Granulometría									Partículas planas y alargadas [%]	Caras Fracturadas [%]
			[% que pasa]										
			2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N°4	N°10		
1	C. Santa Ana Material Natural	0,19 0,25 0,19	-	100	60,01	25,64	4,97	1,3	0,06	0	-	21,02	-
2	C. Santa Ana Material triturado	0,21 0,24 0,28	-	-	100	82,13	6,33	0,56	0	-	-	27,7	95,6
3	C. San Jacinto Material Natural	0,18 0,25 0,15	100	98,61	58,29	7,52	0,62	0,14	0	-	-	24,08	-
4	C. San Jacinto Material Triturado	0,26 0,18 0,32	-	-	100	85,1	42,7	20,1	3,3	0,9	0	22,1	87,74
5	C. San Blas Material Natural	0,12 0,14 0,12	100	98,67	18,83	3,89	0,43	0	-	-	-	20,8	-
6	C. San Blas Material Triturado	0,20 0,12 0,25	-	-	100	80,11	33,29	17,59	2,92	0,38	0	28,4	94,36

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y ANÁLISIS

CAPÍTULO IV
DISEÑO Y ANÁLISIS

4.1. CÁLCULO DE PORCENTAJE DE EFECTO

El cálculo de efecto se refiere a una forma de cuantificar la efectividad de una intervención relativa a alguna comparación.

Los datos iniciales son los siguientes:

Tabla 18. Datos iniciales de porcentaje de desgaste

	Cantera Santa Ana		Cantera San Jacinto		Cantera San Blas	
	Natural	Triturado	Natural	Triturado	Natural	Triturado
% de desgaste						
1	28,86	22,94	29,75	25,83	30,11	23,6
2	28,69	22,58	28,45	24,78	30,12	26,29
3	27,83	23,13	27,95	24,02	30,17	25,09
4	27,92	22,63	28,94	24,83	30,09	24,94
5	27,48	23,22	29,16	25,68	30,15	25,33
6	29,98	22,8	28,05	24,12	30,16	24,71
7	28,59	22,69	28,82	24,93	30,04	23,69
8	27,91	22,74	27,73	25,72	29,82	26,58
9	28,46	23,48	29,10	23,89	30,18	24,72
10	29,03	22,81	29,15	24,82	30,01	24,79

Fuente: Elaboración propia

Fórmula para el cálculo de porcentaje de efecto:

$$\%E = \frac{L \text{ inicial} - L \text{ final}}{L \text{ final}}$$

Donde:

L inicial = porcentaje de desgaste natural

L final = porcentaje de desgaste triturado

Tabla 19. Porcentaje de efecto de las distintas canteras

CÁLCULO DE EFECTO	Cantera Santa Ana	Cantera San Jacinto	Cantera San Blas
%E1	25,81	15,18	27,58
%E2	27,06	14,81	14,57
%E3	20,32	16,36	20,25
%E4	23,38	16,55	20,65
%E5	18,35	13,55	19,03
%E6	31,49	16,29	22,06
%E7	26,00	15,60	26,80
%E8	22,74	7,81	12,19
%E9	21,21	21,81	22,09
%E10	27,27	17,45	21,06

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Ordenamiento de datos

Para poder apreciar de mejor forma los resultados es fundamental el ordenamiento de los datos, para ello se concretó de manera ascendente los valores obtenidos en el cálculo.

Tabla 20. Porcentaje de efecto de las distintas canteras en orden ascendente

CÁLCULO DE EFECTO	Cantera Santa Ana	Cantera San Jacinto	Cantera San Blas
%E1	18,35	7,81	12,19
%E2	20,32	13,55	14,57
%E3	21,21	14,81	19,03
%E4	22,74	15,18	20,25
%E5	23,38	15,60	20,65
%E6	25,81	16,29	21,06
%E7	26,00	16,36	22,06
%E8	27,06	16,55	22,09
%E9	27,27	17,45	26,80
%E10	31,49	21,81	27,58

Fuente: Elaboración propia

4.2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

4.2.1. Cálculos de Curva de Frecuencia Absoluta y Acumulada

Para realizar la tabla de frecuencias, es necesario obtener algunos datos según la tabla de resultados, que son los siguientes:

Tabla 21. Datos para elaboración de planilla de frecuencia.

	Cantera Santa Ana	Cantera San Jacinto	Cantera San Blas
%E1	18,35	7,81	12,19
%E2	20,32	13,55	14,57
%E3	21,21	14,81	19,03
%E4	22,74	15,18	20,25
%E5	23,38	15,60	20,65
%E6	25,81	16,29	21,06
%E7	26,00	16,36	22,06
%E8	27,06	16,55	22,09
%E9	27,27	17,45	26,80
%E10	31,49	21,81	27,58

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

Máximo	31,49	21,81	27,58
Mínimo	18,35	7,81	12,19
Rango	13,14	13,99	15,40

DISTRIBUCIÓN DE CLASE O CATEGORÍAS

Número de clase	=	4,32	Se adopta	5
-----------------	---	------	-----------	---

INTERVALO DE CLASE, LIMITES DE CLASE, ANCHO Y MARCA DE CLASE

Ancho de clase para Cantera Santa Ana = 2,63

Ancho de clase para Cantera San Jacinto = 2,91

Ancho de clase para Cantera San Blas = 3,68

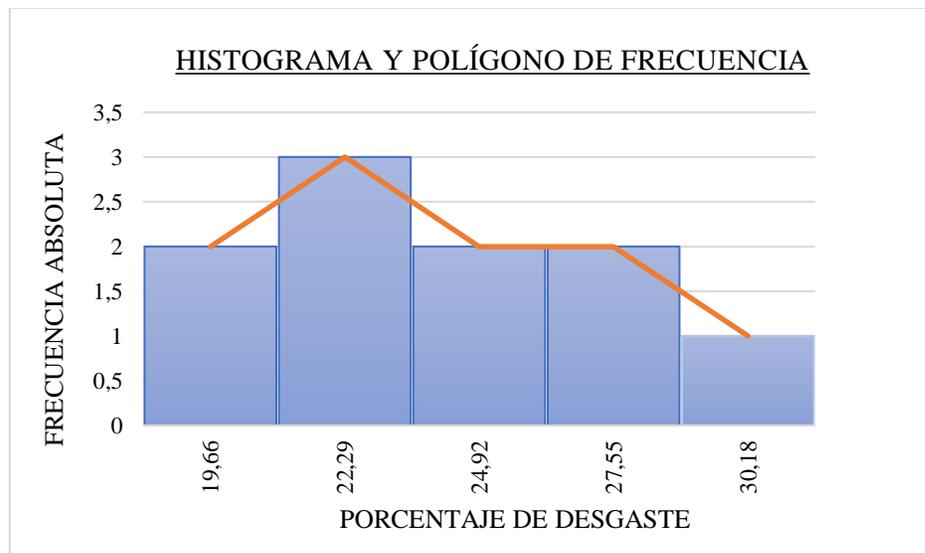
4.2.1.1. Elaboración de planillas y graficas de histograma y polígono de frecuencias

Tabla 22. Distribución de frecuencias de Cantera Santa Ana

Intervalo de clase	Marca de clase [%]	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa [%]	Frecuencia relativa acumulada [%]
[18,35 - 20,98[	19,66	2	2	20,00	20,00
[20,98 - 23,61[	22,29	3	5	30,00	50,00
[23,61 - 26,24[	24,92	2	7	20,00	70,00
[26,24 - 28,87[	27,55	2	9	20,00	90,00
[28,87 - 31,50[	30,18	1	10	10,00	100,00
		10			

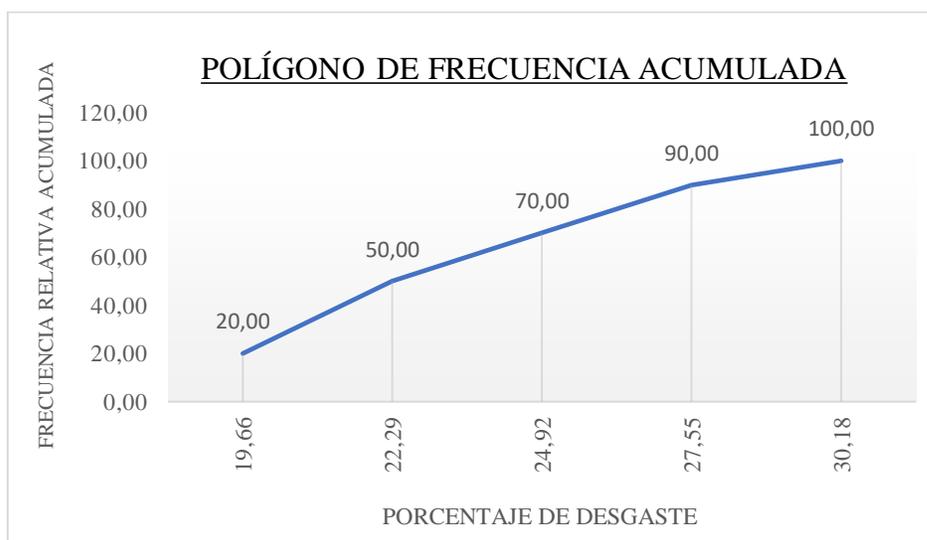
Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Histograma y Polígono de frecuencia de la Cantera Santa Ana



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Frecuencias Acumuladas de Cantera Santa Ana



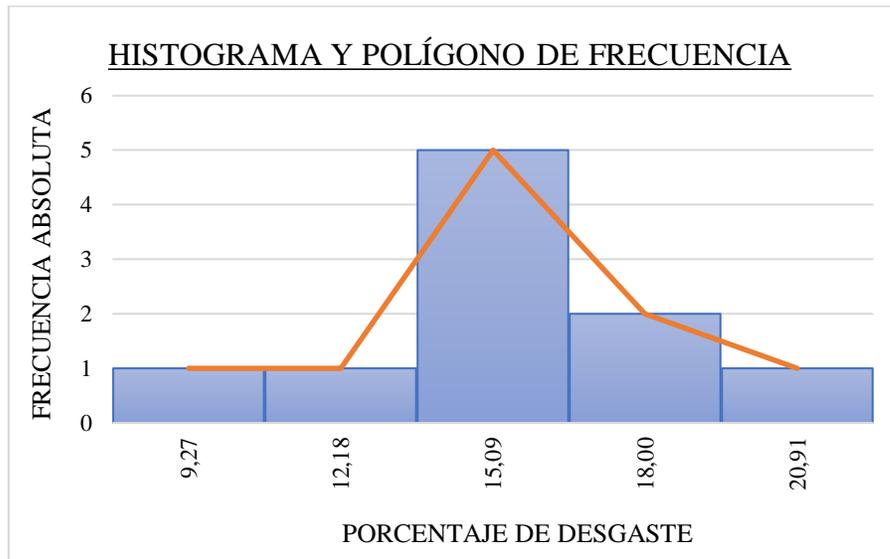
Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Distribución de frecuencias de Cantera San Jacinto

Intervalo de clase	Marca de clase [%]	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa [%]	Frecuencia relativa acumulada [%]
[7,81 – 10,72[	9,27	1	1	10,00	10,00
[10,72 – 13,63[	12,18	1	2	10,00	20,00
[13,63 – 16,54[	15,09	5	7	50,00	70,00
[16,54 – 19,45[	18,00	2	9	20,00	90,00
[19,45 – 22,36[	20,91	1	10	10,00	100,00
		10			

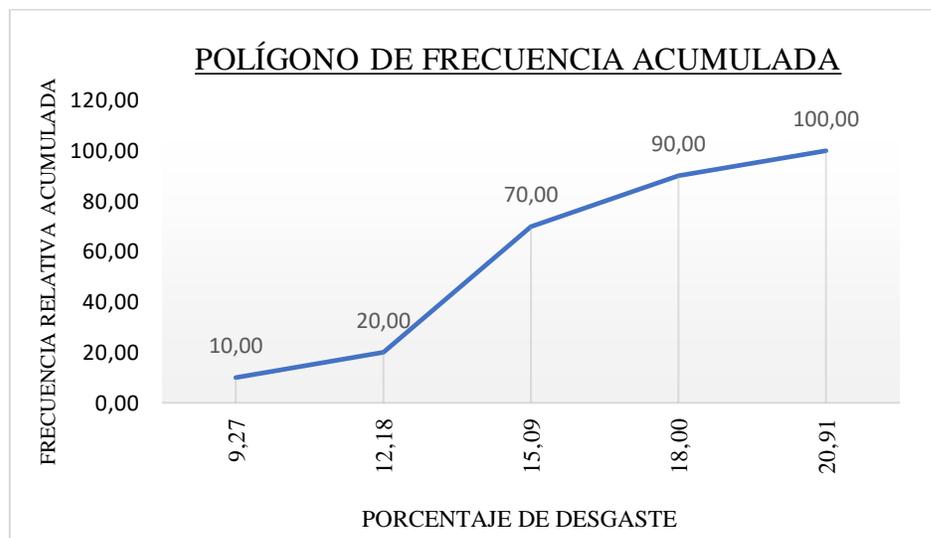
Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Histograma y Polígono de frecuencia de Cantera San Jacinto



Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Frecuencias Acumuladas de Cantera San Jacinto



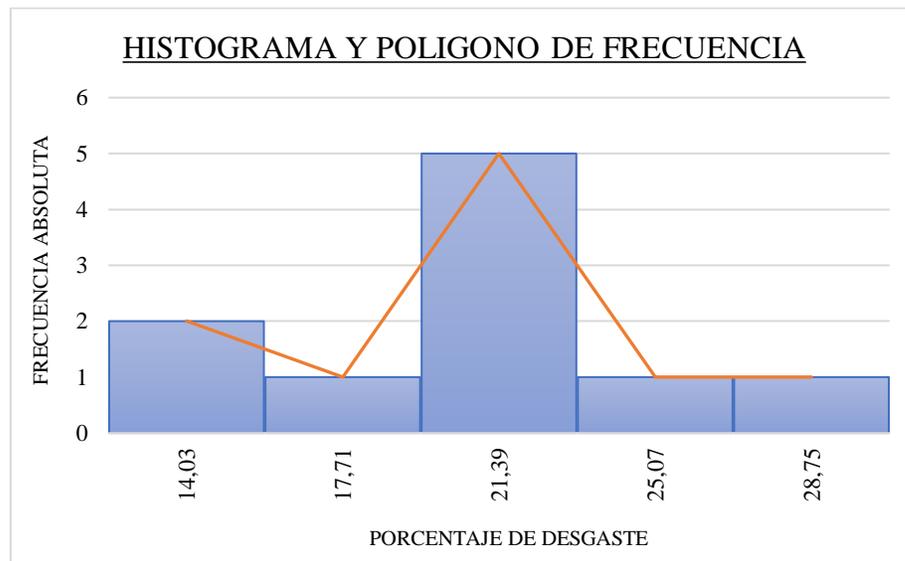
Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Distribución de frecuencias de Cantera San Blas

Intervalo de clase	Marca de clase [%]	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa [%]	Frecuencia relativa acumulada [%]
[12,19 – 15,87[	14,03	2	2	20,00	20,00
[15,87 – 19,55[	17,71	1	3	10,00	30,00
[19,55 – 23,23[	21,39	5	8	50,00	80,00
[23,23 – 26,91[	25,07	1	9	10,00	90,00
[26,91 – 30,59[	28,75	1	10	10,00	100,00
		10			

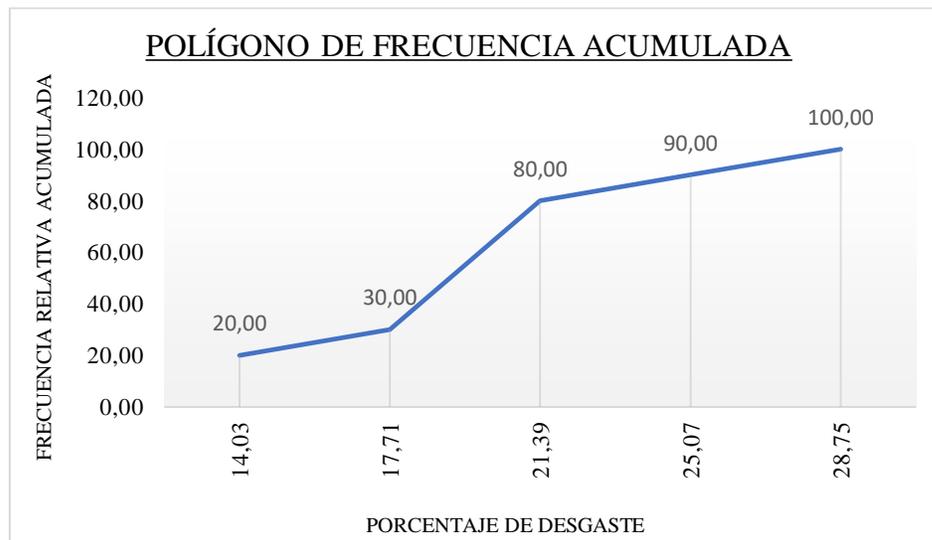
Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Histograma y Polígono de frecuencia de Cantera San Blas



Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Frecuencias Acumuladas de Cantera San Blas



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Cálculos de Medidas de Tendencia Central

4.2.2.1. Valores medios

- a) Media aritmética (X_m): Es el valor medio del grupo de datos.
- b) Mediana (m): Es el valor que separa la serie de datos ya ordenados en dos partes iguales.
- c) Moda: Es el valor más frecuente, la moda puede no existir o no ser única.

4.2.2.2. Medidas de dispersión

- a) Varianza (s^2)
- b) Desviación estándar (s)

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

A continuación, se presenta una tabla resumen de las medidas de tendencia central, proporcionando una visión integral de los datos analizados.

Tabla 25. Resumen de los valores de medidas de tendencia central

	SANTA ANA	SAN JACINTO	SAN BLAS
MÁXIMO	31,49	21,81	27,58
MÍNIMO	18,35	7,81	12,19
RANGO	13,14	13,99	15,40
SUMA	243,62	155,42	206,27
MEDIA	24,36	15,54	20,63
MEDIANA	24,59	15,95	20,85
MODA	#N/D	#N/D	#N/D
DESVIACIÓN ESTANDAR S	3,91	3,49	4,73
VARIANZA	15,27	12,17	22,39

Fuente: Elaboración propia

4.3. ANÁLISIS CON ESTADÍSTICA INFERENCIAL

4.3.1. Tipo de prueba

Según el comportamiento los datos observados, se puede determinar que el tipo de prueba es paramétrica.

4.3.2. Intervalo de confianza

El intervalo de confianza proporciona un rango de valores que; con una determinada probabilidad, contiene el valor verdadero del parámetro que estamos tratando de estimar.

Se determina con la siguiente fórmula:

$$\mu = \bar{X} \pm Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

\bar{X} = Media

Z = Por tablas es igual a 1,96

n = Tamaño de la muestra

σ = Desviación estándar

Obteniendo los siguientes valores:

Tabla 26. Valores para determinar el intervalo de confianza al 95%.

VARIABLE	SANTA ANA	SAN JACINTO	SAN BLAS
Media	24,36	15,54	20,63
Tamaño de da muestra	10,00	10,00	10,00
Z	1,96	1,96	1,96
Desviación estándar s	3,91	3,49	4,73

Fuente: Elaboración propia

Intervalo de confianza de Cantera Santa Ana

Límite Inferior	Límite Superior
21,94	26,78

$$21,94 \leq x \leq 26,78$$

Intervalo de confianza de Cantera San Jacinto

Límite Inferior	Límite Superior
13,38	17,70

$$13,38 \leq x \leq 17,70$$

Intervalo de confianza de Cantera San Blas

Límite Inferior	Límite Superior
17,69	23,56

$$17,69 \leq x \leq 23,56$$

4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1. Prueba Anova

La prueba Anova es un método estadístico que permite descubrir si los resultados de una prueba son significativos, es decir; permiten determinar si es necesario rechazar la hipótesis nula o aceptar la hipótesis alternativa.

Se usa para diversos trabajos dependiendo de las características y objetivos de la investigación.

Para este caso se trabajará con un nivel de confianza del 95 %, el nivel de significancia será el 5%. En el cálculo estadístico se eleva al cuadrado los valores de la planilla en cada una de las columnas, perteneciente a la siguiente tabla:

Tabla 27. Cuadrados del efecto

	SANTA ANA	SAN JACINTO	SAN BLAS
%E1	336,59	61,07	148,59
%E2	412,90	183,64	212,23
%E3	449,84	219,35	362,10
%E4	516,89	230,32	409,95
%E5	546,44	243,48	426,40
%E6	665,97	265,48	443,39
%E7	676,14	267,69	486,46
%E8	732,21	273,99	487,85
%E9	743,58	304,35	718,48
%E10	991,70	475,60	760,92
SUMA	6072,26	2524,96	4456,37

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se calcula el valor F de Fisher y al mismo tiempo su valor crítico, obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 28. Cálculo de prueba Anova

Fuente de variación	suma de cuadrados	gl	media de cuadrados	F	valor critico Fcr
SC entregrupos	391,984	2	195,992	11,801	0,000207601
SC intragrupos	448,431	27	16,609		
SC Total	840,415	29			

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Conclusión de hipótesis

Como conclusión de las pruebas realizadas, se puede apreciar en la tabla 28; F es mayor que F_{cr} lo cual nos indica que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), es decir que la hipótesis de investigación planteada “La pérdida por abrasión en agregados gruesos naturales y triturados presenta elevadas discrepancias en sus efectos, con diferentes bancos”, es verdadera.

4.5. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES

4.5.1. Concepto

Es el ensayo más conocido y utilizado para determinar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, 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, este ensayo es crucial para evaluar la durabilidad de los agregados que se utilizaran en la construcción de pavimentos y otras estructuras.

4.5.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados son los siguientes:

- Balanza.
- Cuchara.
- Bandejas.
- Esferas.
- Llave.
- Cepillo metálico.
- Juego de tamices.
- Horno ($110^{\circ} \pm 5^{\circ}C$).
- Máquina de los Ángeles.

4.5.3. Procedimiento

- Lavar la muestra y secar en horno hasta masa constante a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Determinar la granulometría del agregado mediante el proceso de tamizado.
- Elegir el tipo de gradación que mejor represente la granulometría de la muestra. Se debe sumar los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados a elegir.
- Reunir las fracciones retenidas en los tamices correspondientes al tipo de gradación asignado.
- Colocar la muestra de ensayo en la máquina de los Ángeles y ensayar de acuerdo al tipo de gradación, considerando la cantidad esferas y número de revoluciones.
- Completar el número de revoluciones y correspondientes y extraer la muestra ensayada evitando pérdidas y contaminaciones.
- Efectuar el primer tamizado en el tamiz N°12, reunir el material retenido, secar en horno hasta masa constante.
- Pesar y registrar la masa del material para posteriores cálculos.

4.5.4. Costo por unidad de cubicación

El costo del ensayo de desgaste de los Ángeles es de 350 Bs.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En conclusión, los resultados del ensayo de desgaste de los Ángeles mostraron diferencias significativas en la pérdida por abrasión entre los agregados naturales con los triturados. Los agregados triturados presentaron una mayor resistencia al desgaste en comparación con los naturales. Como ser la cantera de Santa Ana, San Jacinto y San Blas presentan una variación del 5,58%, 3,85% y 5,12% respectivamente. Los agregados naturales, extraídos de fuentes naturales, son más económicos, pero menos resistentes al desgaste, los cuales son recomendados para pavimentos de menor tráfico. Por otro lado, los agregados triturados, producidos mediante la trituración de rocas, ofrecen mayor resistencia y son ideales para pavimentos de alto tráfico. Llegando a cumplir con el objetivo general planteado.
- Se logró un entendimiento más profundo sobre los factores que influyen en la pérdida por abrasión de los agregados, destacando la importancia de la forma, textura y composición mineralógica.
- El estudio permitió identificar y optimizar los procedimientos operacionales del ensayo de desgaste de Los Ángeles, asegurando la repetibilidad y precisión de los resultados.
- La caracterización de los agregados de las canteras de Santa Ana, San Jacinto y San Blas reveló variaciones en sus propiedades físicas y mecánicas, como ser:
En el ensayo de contenido de humedad, se obtuvo un valor máximo del 0,25% el cual pertenece a la cantera de San Jacinto, material triturado y un valor mínimo del 0,13% correspondiente a la cantera San Blas, material natural.
Según el ensayo de Granulometría, se observó que la cantera San Ana tiene un tamaño máximo del 1 ½” y las canteras de San Jacinto y San Blas tienen un tamaño máximo de 2” para el material natural. En cuanto al material triturado, las distintas canteras presentaron un tamaño máximo de 1”.
Los resultados obtenidos de los porcentajes de partículas planas y alargadas muestran que varían según la fuente de los agregados. El material natural extraído de las

canteras San Ana, San Jacinto y San Blas, los porcentajes son 21,02%, 24,08% y 20,80%, respectivamente. Por otro lado, en el material triturado, los porcentajes correspondientes son: 27,70%, 22,10% y 28,40 %.

En cuanto al ensayo de caras fracturadas, el material triturado de la cantera Santa Ana presenta el mayor porcentaje de 95,60%, seguido por la cantera San Blas que tiene un porcentaje del 94,36% y San Jacinto un 87,74%. El alto porcentaje de caras fracturadas es un indicador positivo, ya que la misma mejora la interacción entre partículas y contribuye a una mayor resistencia al desgaste.

- En el desarrollo del ensayo de desgaste de los Ángeles, los materiales de las distintas canteras presentaron las siguientes especificaciones:

Identificación de muestra	Tipo de gradación	Numero de esferas	Revoluciones por minuto	Porcentaje de desgaste [%]
C. Santa Ana Material Natural	A	12	500	28,48
C. Santa Ana Material triturado	B	11	500	22,90
C. San Jacinto Material Natural	G	12	1000	28,71
C. San Jacinto Material Triturado	B	11	500	24,86
C. San Blas Material Natural	G	12	1000	30,09
C. San Blas Material Triturado	B	11	500	24,97

- La prueba estadística Anova confirmo que las diferencias en la pérdida por abrasión entre los agregados naturales con triturados son significativas, lo que justifica la selección de uno sobre otro dependiendo del tipo de pavimento y las condiciones de uso.
- Se concluyó que los agregados triturados son más adecuados para aplicaciones en pavimentos de alto tráfico debido a su mayor resistencia al desgaste, mientras que los agregados naturales pueden ser utilizados en pavimentos de menor exigencia.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para llevar a cabo los ensayos de caracterización de agregados, es fundamental seleccionar muestras representativas y homogéneas, asegurándose que estén libres de impurezas. La preparación adecuada de las muestras, incluyendo el secado y tamizado, es importante para obtener resultados precisos.
- Para realizar el ensayo de desgaste de los Ángeles de manera efectiva, es necesario seleccionar y preparar adecuadamente las muestras, asegurando que estén secas y tamizadas. El equipo debe estar limpio antes de usarlo ya que esto puede afectar el peso de la muestra, porque el polvo de un ensayo anterior influenciara en la lectura de la balanza.
- Para investigaciones futuras se podrían realizar estudios adicionales que incluyan una mayor variedad de canteras y tipos de agregados para generalizar los resultados obtenidos.