

VALORACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE LA LAJOSIDAD Y EL DESGASTE DE LOS MATERIALES TRITURADOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1.- GENERALIDADES

Los constantes avances de la tecnología, la necesidad de mejorar las condiciones actuales de los caminos y las técnicas constructivas para lograr una eficiente realización de los trabajos hace que la industria de la piedra triturada invierta, tanto tiempo como dinero, en lograr una mejora en la calidad del producto final y cumplir así con los requerimientos exigidos por las normas vigentes.

Esta inversión se representa en estudios y modificaciones en los procesos de trituración de la roca para poder contrarrestar los cambios constantes en la calidad producidos por las características cambiantes de la formación geológica de los cerros o por los métodos de reducción.

La industria de la piedra triturada presenta distintos resultados del producto final elaborado, ya sea por las características cambiantes de la formación geológica de los cerros explotados, por los métodos de extracción o por los distintos métodos de reducción de la roca (trituración).

Hasta hace un tiempo atrás se comenzó a observar variaciones en el índice de desgaste de Los Ángeles que en un primer momento se adjudicaron a las variaciones geológicas de los cerros, lo cual motivo a observar que en el caso de extraer el material del mismo lugar del cerro, el cual no presentaba variaciones visibles, el índice de Desgaste de Los Ángeles también variaba, es por eso que se comenzó a pensar que la forma de las partículas que se sometían al ensayo influían en el índice obtenido.

Estos cambios de forma en las partículas se daban principalmente por la variación circunstancial en el proceso de trituración por rotura de los equipos en las distintas etapas de trituración o también por el método de reducción de las rocas en el frente mediante “torteo” el cual puede aportar una variación en la forma de las partículas obteniendo mayor cantidad de partículas Lajosadas y así una variación en el índice de Desgaste de Los Ángeles, sin en el momento que se procesa la roca proveniente del “torteo” se extrae muestra para realizar el ensayo.

Considerando esta posibilidad es que se comienza a estudiar dicha situación para así poder tener mayor control en los distintos procesos de trituración ya que de este depende el porcentaje de partículas Lajosadas, el cual tiene incidencia en el índice de Desgaste de Los Ángeles ocasionando problemas en el buen desempeño de la construcción de las diferentes obras civiles.

1.2. PROBLEMA

Ante la no existencia de información técnica que muestre la correlación entre Lajosidad y el Desgaste que tienen los materiales triturados para la construcción de pavimentos flexibles provenientes de bancos de préstamo de nuestro medio, ¿realizar esta investigación nos proporciona información clara sobre la relación entre ambos parámetros?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo es de gran importancia ya que hasta hace un tiempo atrás no se tomaba en cuenta la forma de las partículas lo cual influía en los ensayos de desgaste de Los Ángeles atribuyéndoles en un comienzo a las variaciones geológicas de los cerros.

Ahora en nuestro país recién hace un tiempo atrás el índice de Lajosidad paso a formar parte de las diferentes Normas y especificaciones técnicas que nos da la Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.), lo cual nos insta a buscar recursos bibliográficos acerca del mismo ya que este será tema de discusión en los procesos de ejecución de las obras en vías carreteras y vías de comunicación.

Por ese motivo es que se realizara este estudio, ya que es importante conocer la influencia que tiene la forma de los materiales triturados cuando estos formen parte de una estructura, como ser la de una carretera con pavimento flexible.

La valoración de la correlación entre la Lajosidad y el desgaste nos ayudara de gran manera ya que nos hará ahorrar tiempo y costo económico al eliminar la realización de los diferentes ensayos de laboratorio que se necesitan para encontrar los valores de Lajosidad y de Desgaste en los materiales triturados, convirtiéndose en parte de las herramientas y documentación técnica que es necesaria en el proceso de ejecución de las diferente obras en carreteras, especialmente en pavimentos flexibles.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar y analizar la correlación entre la lajosidad y el desgaste de los materiales triturados de bancos de préstamo de nuestro medio, para así brindar una herramienta que ayude a los constructores en las diferentes actividades donde se utilizaran este tipo de materiales.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar técnicamente los agregados que se usan en la elaboración de pavimentos flexibles.
- Obtener muestras de materiales triturados para someterlos a estudio.
- Realizar ensayos de Granulometría de las muestras.
- Realizar ensayos de índice de Lajosidad de los materiales triturados.
- Realizar ensayos de Desgaste de los materiales triturados.
- Realizar ensayos de Desgaste de los materiales triturados con diferentes porcentajes de material Lajoso.
- Obtener las correlaciones de las muestras recolectadas para el estudio.
- Obtener la correlación general de todos los materiales estudiados.
- Realizar el análisis de resultados de la correlación.
- Establecer conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Si los materiales triturados de un banco de préstamo tienen alto índice de lajosidad su desgaste también será alto, reduciendo su resistencia y la vida útil de un pavimento flexible.

1.6. ALCANCE

Hasta hace un tiempo atrás se comenzaron a ver variaciones en el ensayo de desgaste de los Ángeles en los materiales triturados que se extraían de un mismo lugar, que a un comienzo se adjudicaron a las variaciones geológicas de los cerros, esto condujo a que se hicieran varios estudios sobre la misma, dando como resultado que el porcentaje de partículas lajosas influía directamente en el ensayo de desgaste de Los Ángeles.

El problema es que en nuestro medio no contamos con documentación técnica ni bibliografía que nos muestre cual es la correlación existente entre la Lajosidad y el Desgaste de los materiales triturados, entonces nuestro objetivo central es la valoración de dicha correlación.

Este trabajo es de mucha importancia ya que ayudaría de gran manera al desarrollo de las diferentes actividades en la construcción, especialmente en la construcción de carreteras con pavimento flexible.

En el estado de conocimiento se hará un estudio bibliográfico más profundo del tema, investigando sobre los materiales usados en Pavimentos Flexibles, ensayos de Lajosidad y Desgaste de los agregados, estudios realizados sobre la Lajosidad y las influencias que tiene en el Desgaste de los materiales triturados los cuales revelaron que existe una relación directa entre ellos.

Comenzaremos con los conceptos relacionados con la investigación, como el de los agregados empleados en la construcción de pavimentos flexibles, estos agregados son producto de la piedra triturada y son de gran importancia especialmente en la construcción de la capa de rodadura ya que deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las

obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento ya que deberán soportar las cargas altas ocasionadas por el tránsito vehicular.

En estos agregados encontramos el índice de Lajosidad, que es el porcentaje de partículas en forma de Lajas que hay en una determinada muestra, el estudio de estas partículas es de mucha importancia ya que tras varios estudios se descubrió que tienen influencia en el Desgaste de los materiales triturados al momento de realizar el ensayo del índice de Desgaste de Los Ángeles y repercuten directamente en el comportamiento de las capas de los pavimentos flexibles en las cuales se emplean agregados triturados.

Por otra parte tenemos el Desgaste que sufren los materiales triturados especialmente en la capas superiores del pavimento como la capa base y la capa de Rodadura, esto se debe al esfuerzo-deformación que existe en la superficie del pavimento cuando este está puesto en servicio, ya que la carga de la rueda es transmitida de forma directa a la superficie del pavimento el cual después distribuye las cargas a todo el paquete estructural llegando la mínima parte a la Subrasante.

También se estudiara la relación que existe entre la Lajosidad y el Desgaste de los Materiales ya que tras varios estudios realizados se determinó que si existe una relación y una influencia del índice de Lajosidad frente al índice de Desgaste de los Ángeles para así poder llevar a cabo nuestra investigación de la mejor manera posible para lograr resultados que sirvan de aporte a nuestro medio.

Nuestra investigación está enfocada en el estudio del material triturado producido para pavimentos flexibles, por lo que en la parte práctica de nuestro trabajo pondremos a prueba diferentes tipos de materiales los cuales serán obtenidos de trituradoras locales, para esta tarea se recolectara un mínimo de 5 muestras para la realización de nuestro trabajo.

Las plantas de trituradoras de materiales para la construcción pavimentos flexibles producen cuatro tipos de material, los cuales se recolectaran para la investigación, material grueso, intermedio, filler y arena natural.

A estas muestras se les realizaran ensayos de granulometría para caracterizar y verificar si corresponden a las bandas granulométricas especificadas para su uso en pavimentos flexibles.

Posteriormente se realizara el ensayo de índice de Lajosidad, el cual se lo realiza usando como equipo principal un calibrador de Lajas junto a un juego de tamices y balanza, este tiene como objetivo encontrar el porcentaje en peso de las partículas en forma de Lajas el cual se designa como índice de Lajosidad, este ensayo lo realizaremos al material grueso de cada muestra en su estado natural, para así obtener el porcentaje de partículas Lajositas que tiene el material originalmente.

Al mismo tiempo se realizara el ensayo del índice de Desgaste de Los Ángeles para las mismas muestras, el cual se lo realiza usando principalmente la llamada Maquina de Desgaste de Los Ángeles que contiene esferas de peso calibrado que junto a otros materiales de laboratorio como ser balanzas, horno y un juego de tamices se logra determinar el porcentaje de desgaste de los materiales que es básicamente la resistencia de los agregados al desgaste o a la abrasión.

Después de haber obtenido los resultados de los ensayos de Desgaste de los Ángeles y de Lajosidad de las muestras en estudio en su estado natural se procederá a realizar los ensayos de Desgaste de los Ángeles a las mismas muestras con diferentes porcentajes de material Lajoso para así poder observar las variaciones del desgaste frente a las variaciones del porcentaje de lajas.

Se hará un análisis de los resultados de las muestras en su estado natural en la cual se podrá observar cómo están relacionados los diferentes bancos entre sí.

Se realizara la correlación entre la Lajosidad y el desgaste de los materiales estudiados por banco y seguidamente entre bancos para así poder valorar la correlación que existe entre estas dos variables y cumplir con el objetivo de la investigación.

Al final del trabajo estableceremos las conclusiones de toda la investigación realizada, donde podremos ver y analizar si se cumplió con los objetivos trazados al

principio que vendría a ser la obtención y valoración de la correlación entre la Lajosidad y el índice de Desgaste de los Ángeles en materiales triturados, y la posibilidad de aplicación en nuestro medio. Al mismo tiempo rescataremos las y recomendaciones que servirán de experiencia para estudiantes en futuras investigaciones.

CAPITULO II

2. AGREGADOS EN PAVIMENTOS: SU EVALUACIÓN DE LAJOSIDAD Y DESGASTE

2.1 MATERIALES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1.1 COMPONENTES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Un Pavimento Flexible o Pavimento Asfáltico es una estructura que está compuesta por varias capas con el fin de satisfacer los siguientes propósitos:

- Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito.
- Tener la permeabilidad necesaria.
- Resistir la acción destructora de los vehículos.
- Tener resistencia a los agentes atmosféricos.
- Tener una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.
- Presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de la base o SubBase.

En la figura 1.1 se muestra esquemáticamente las mismas:

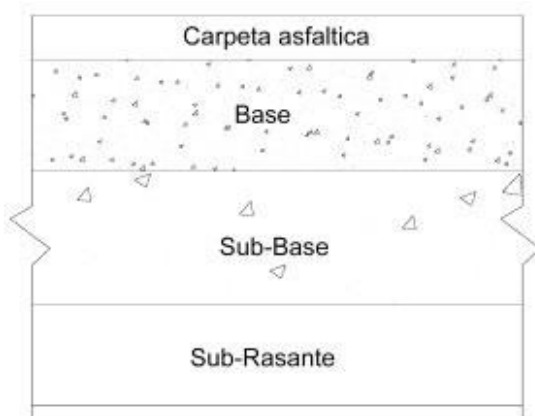


FIGURA 2.1 – Esquema de un Pavimento flexible

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

2.1.1.1. Subrasante.

La capa Subrasante es la que sirve como cimiento de la estructura del pavimento, esta es de mucha importancia ya que en función de su valor de soporte dependerán los espesores de las capas superiores, tanto así que si las características de la Subrasante fuesen de excelente calidad esta podría funcionar como capa SubBase, de lo contrario si esta tuviese material de mala calidad se tendrá que hacer mejoramiento de la misma.

2.1.1.2. Capa Sub-Base

La capa SubBase es aquella que se encuentra sobre la Subrasante, esta tiene como fin el de funcionar como capa drenante de manera que esta capa retenga la ascensión capilar de las aguas subterráneas y además cumpla con la función de ser la capa intermedia entre la capa base y la Subrasante.

2.1.1.3. Capa Base

La capa Base es la capa estructural del pavimento sobre la cual se colocara la capa de rodadura, por lo tanto se requiere que las características de resistencia sean lo más altas posibles ya que las exigencias para este material son mayores.

2.1.1.4. Capa de Rodadura o Carpeta Asfáltica

La capa de Rodadura es la capa superior del pavimento, esta se construye sobre la capa Base y debe ser capaz de resistir altas presiones de neumáticos, así como las fuerzas abrasivas del tránsito y proporcionar una superficie de manejo resistente a los derrapes, resistir los agentes atmosféricos y poder evitar la penetración del agua superficial a las capas inferiores.

2.1.2 MATERIALES EN LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

2.1.2.1. Materiales en la Subrasante

La Subrasante suele ser el material natural ubicado a lo largo del alineamiento horizontal del pavimento, está también puede estar hecha de una capa de materiales

adecuados de préstamo, bien compactados hasta las especificaciones que se muestran en la siguiente tabla:

CARACTERISTICAS	CALIDAD		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Tamaño Máximo (mm)	76	76	76
% de Finos	-	-	-
(Mat. 0.074 mm)	25 Max.	35 max.	40 Max.
Límite Líquido %	30 Max.	40 Max.	50 Max.
Índice plástico %	10 Max.	20 Max.	25 Max.
Compactación %	100 Min.	100 + - 2	100 + - 2
(AASHTO Est.) (1)	-	-	-
CBR %	30 Min.	20 Min.	15 min.

TABLA 2.1 – Valores de Calidad para Materiales de la Capa Subrasante

Fuente: VÍAS DE COMUNICACIÓN Ing. Carlos Crespo Villalaz

2.1.2.2. Materiales en la Capa Sub-Base

La SubBase está compuesta de material de calidad superior a la que en general se usa en la construcción de Subrasante. Cuando la calidad del material de la Subrasante cumple con los requisitos del material de SubBase, se puede omitir la SubBase como componente. En casos en que no se consigue con facilidad un material adecuado para SubBase, el material disponible puede tratarse con otros, para alcanzar las propiedades necesarias. A este proceso de tratar suelos para mejorar sus propiedades técnicas se le llama Estabilización.

Los valores de calidad para materiales de la capa SubBase se muestran a continuación en la siguiente Tabla:

CARACTERÍSTICAS	CALIDAD		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Tamaño Máximo (mm)	51	51	76
% de Finos (Mat. 0.074 mm)	15 Max.	25 Max.	10 Min. 20 Max.
Limite Liquido %	25 Max.	30 Max.	40 Max.
Índice plástico %	6 Max.	10 Max.	15 Max.
Compactación % (AASHTO Modif.)	-	-	AASHTO estandar
Equivalente de Arena %	45 Min.	30 Min.	-
CBR %	40 Min.	30 Min.	30min.
Desgaste los Angeles	40 Max.	-	-

TABLA 2.2 – Valores de Calidad para Materiales de la Capa SubBase

Fuente: VÍAS DE COMUNICACIÓN Ing. Carlos Crespo Villalaz

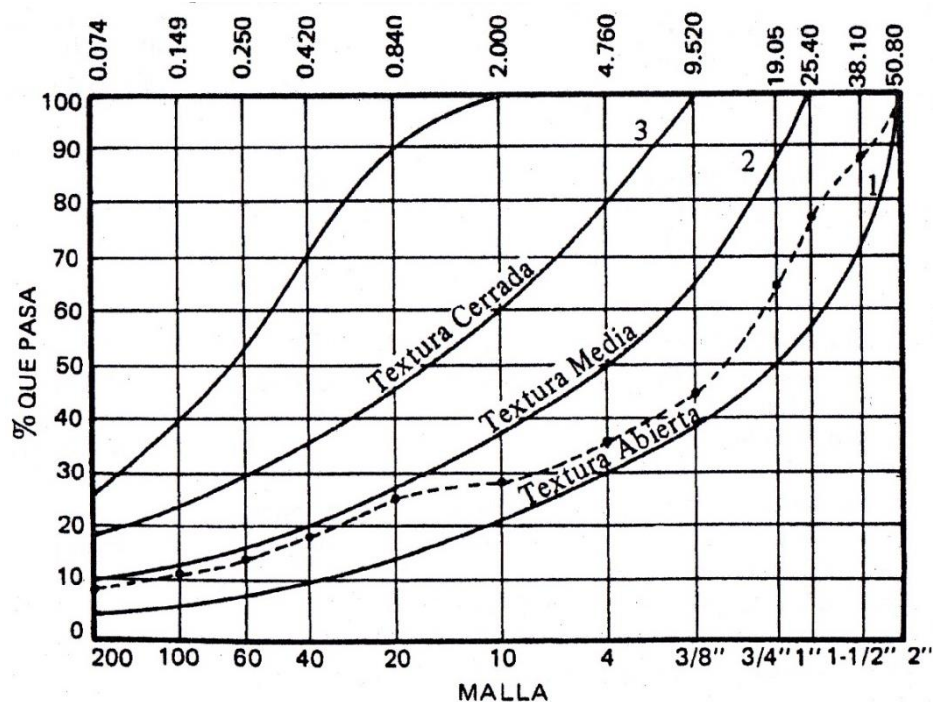


FIGURA 2.2 – Grafica de composición Granulométrica

Fuente: VÍAS DE COMUNICACIÓN Ing. Carlos Crespo Villalaz

ZONA

Deseable: 1-2

Adecuada: 1-3

Tolerable: 1-3

2.1.2.3. Materiales en la Capa Base

La capa base está compuesta por materiales granulares como piedra triturada, escoria triturada o no triturada, grava triturada o no triturada, y arena. El control de calidad de los materiales para esta capa son muy estrictos en comparación con los materiales de la sub base, en especial en lo que concierne a su plasticidad, granulometría y resistencia. Los materiales que no tienen las propiedades requeridas se pueden usar como materiales de base si se estabilizan en forma adecuada con cemento portland, asfalto o cal. En algunos casos, también se pueden tratar los materiales gruesos para base de alta calidad, con un asfalto o con cemento Portland para mejorar las características de rigidez de los pavimentos que tendrán un uso más rudo.

Los valores de calidad para materiales de la capa SubBase se muestran a continuación en la siguiente Tabla:

CARACTERISTICAS	CALIDAD	
	DESEABLE	ADECUADA
Tamaño Máximo (mm)	38	51
% de Finos	10 Max.	15 Max.
(Mat. 0.074 mm)	-	-
Límite Líquido %	25 Max.	30 Max.
Índice plástico %	6 Max.	6 Max.
Compactación %	100 Min.	100 Min.
(AASHTO Est.)	-	-
Equivalente de Arena %	45 Min.	30 Min.
CBR %	100 Min.	80 Min.
Desgaste los Angeles	40 Max.	40 Max.

TABLA 2.3 – Valores de Calidad para Materiales de la Capa Base

Fuente: VÍAS DE COMUNICACIÓN Ing. Carlos Crespo Villalaz

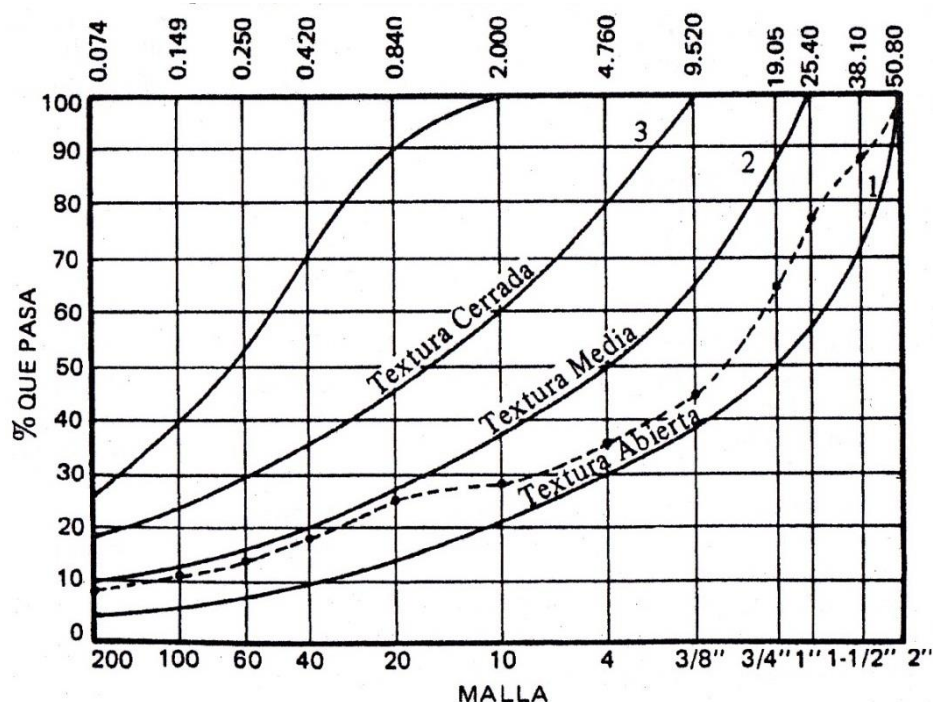


FIGURA 2.3 – Grafica de composición Granulométrica

Fuente: VÍAS DE COMUNICACIÓN Ing. Carlos Crespo Villalaz

ZONA

Deseable: 1-2

Adecuada: 1-3

2.1.2.4. Materiales en la capa de Rodadura

La capa de Rodadura en los pavimentos flexibles está compuesta por una mezcla de agregados pétreos y materiales asfálticos. Los agregados pétreos deben cumplir con ciertas características dadas por la granulometría, dureza, forma de las partículas y adherencia con el asfalto, se recomienda que las partículas que se utilicen tengan forma esférica, ya que las que son en forma de laja o aguja pueden romperse muy

fácilmente y afectar a la granulometría. En general los materiales pétreos deben llenar los siguientes requisitos:

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

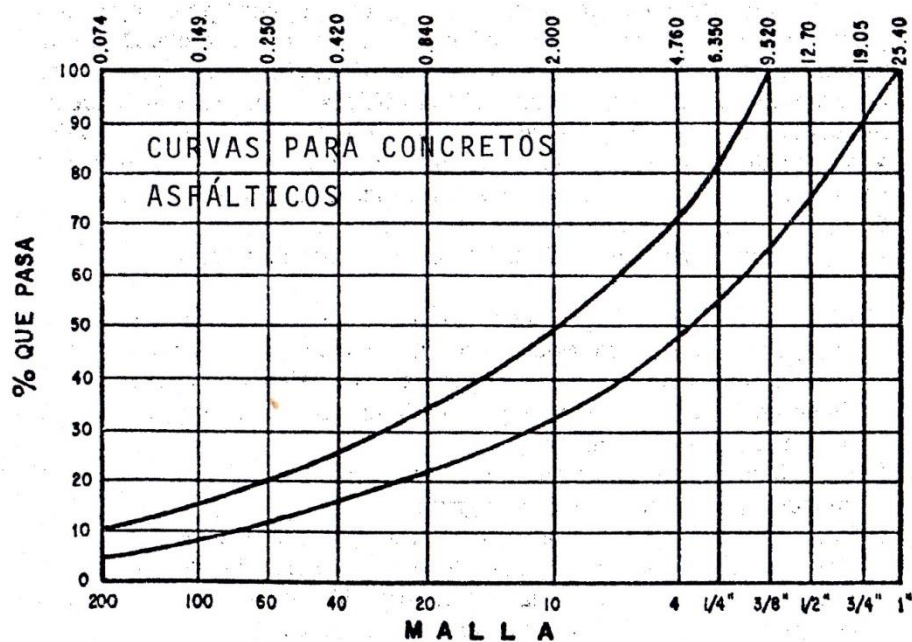


FIGURA 2.4 Grafica de Composición Granulométrica

Fuente: VÍAS DE COMUNICACIÓN Ing. Carlos Crespo Villalaz

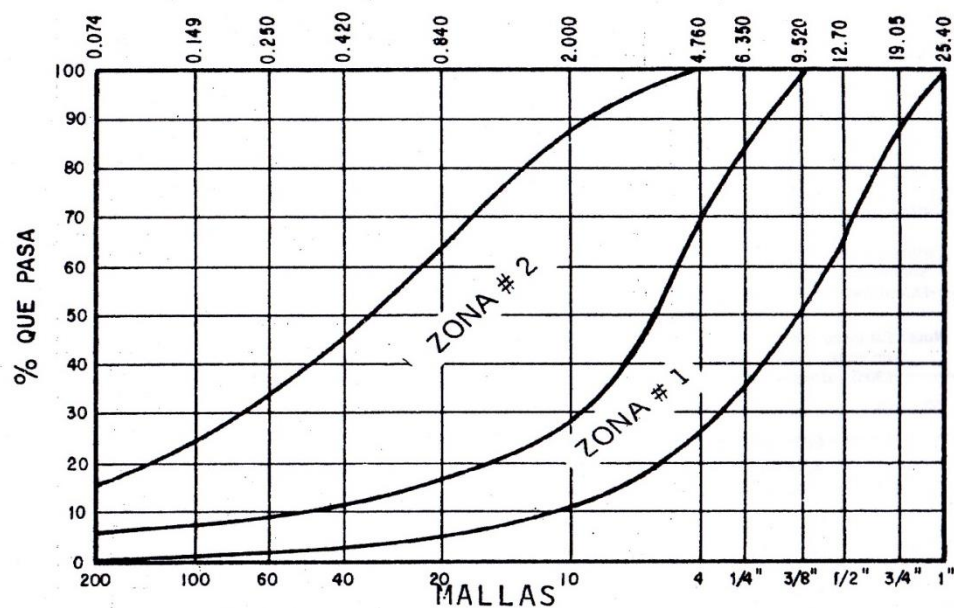


FIGURA 2.5 – Granulometría para Mezclas en el Lugar

Fuente: VÍAS DE COMUNICACIÓN Ing. Carlos Crespo Villalaz

- Se recomienda, para dar una superficie antiderrapante, usar siempre como curva de proyecto la curva inferior, o ligeramente más abajo, mostrada para los concretos asfálticos.
- El desgaste determinado con la Máquina de los Ángeles no debe ser mayor de 40%.
- La absorción del material pétreo no debe ser mayor que 5%.
- La densidad aparente del material pétreo no debe ser menor de 2.3%.
- El material pétreo debe tener buena adherencia con el asfalto, debiendo satisfacer una de las especificaciones siguientes:
 1. Desprendimiento máximo por fricción, 2.5%.
 2. Cubrimiento máximo con asfalto inglés, 90%.
 3. Pérdida máxima de estabilidad, por inmersión en agua, 25%.

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta, es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad.

2.1.3. USO DE MATERIALES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1.3.1. Agregados pétreos empleados en Pavimentos Flexibles

Las capas de un pavimento flexible suelen tener una proporción muy elevada de material de naturaleza pétreo que se denominan Agregados. Las proporciones en las que intervienen son variables, aunque en general superiores al 90 % en masa y al 80% en volumen del total de un pavimento flexible. En las capas del pavimento de las que forman parte, los agregados aportan a la resistencia fundamentalmente la componente del rozamiento interno. En este sentido, es habitual hacer referencia a la Granulometría.

Los grandes volúmenes necesarios de agregados, así como su importancia técnica y económica en los pavimentos, hacen imprescindible estudiarlos en el laboratorio. Hay que determinar cuáles, entre los agregados disponibles, son los que cumplen las

exigencias y especificaciones; además, su extracción no debe ocasionar problemas ambientales. Los estudios de laboratorio han de llevarse a cabo sobre muestras representativas y se basan en la realización de ensayos normalizados.

2.1.3.1.1. 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:

a) Agregados Naturales.

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento.

b) Agregados de Trituración.

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

c) Agregados Artificiales.

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación, tienen alta resistencia al desgaste y han sido usados en la pavimentación de cubiertas de puentes y cubiertas de techos, así como en capas superficiales de pavimento donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

2.1.3.1.2. Conceptos más frecuentes relacionados a los agregados.

- **Agregado Grueso:** Agregado que pasa el tamiz de 3’’ y queda retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- **Agregado Fino:** Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el tamiz de 0.075 mm (No. 200)

- **Polvo Mineral:** La porción de agregado fino que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200).
- **Relleno Mineral:** Producto mineral finamente dividido en donde más del 70% pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200).
- **Agregado de Graduación Gruesa:** Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.
- **Agregado de Graduación Fina:** Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños finos.
- **Agregado Densamente Graduado:** Agregado con una distribución de tamaños de partícula, tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.
- **Agregado de Graduación Abierta:** Agregado que contiene poco o ningún llenante mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.
- **Agregado Bien Graduado:** Agregado cuya graduación va desde el tamaño máximo hasta el de un llenante mineral con el objeto de obtener una mezcla bituminosa con un contenido de vacíos controlado y alta estabilidad.

2.1.3.1.3. Consideraciones acerca del empleo de los agregados pétreos.

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

1. Naturaleza e identificación:

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

2. Propiedades geométricas:

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

3. Propiedades mecánicas:

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

4. Ausencia de impurezas:

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

2.1.3.2. Agregados Triturados en Pavimentos flexibles.

Estos agregados son aquellos que han pasado por un proceso de trituración y tamizado antes de emplearlos en la construcción de pavimentos, los principales usos de estos materiales son en su mayoría para la elaboración de Mezclas Asfálticas para Capa de Rodadura, y en algunos casos en la capa base de un Pavimento Flexible, es necesario resaltar la importancia que tienen los agregados triturados en un pavimento flexible, en especial en la elaboración de carpetas asfálticas ya que estos tienen la función de contribuir a la estabilidad mecánica, soportar la carga del tráfico y al mismo tiempo transmitir la carga a la SubBase a una unidad de presión considerablemente reducida.

Estos materiales deben de ser de calidad uniforme, triturados a tamaño según sea necesario, deben estar compuestos de piedras sólidas y duraderas o fragmentos de roca o escoria, con o sin arena u otro agregado mineral inerte y cuidadosamente dividido. Todo el material debe estar libre de arcilla, materia orgánica y otras sustancias perjudiciales que afecten la estabilidad del pavimento.

Existen dos fuentes principales de agregados triturados o procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas mas apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica,

y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que son extraídas de canteras y que deben ser reducidas en tamaño en las plantas trituradoras, antes de ser usados en la pavimentación; de la calidad de las rocas que se explotan en las canteras dependerá la calidad de los agregados procesados y dispuestos para ser utilizados Pavimentos Flexibles.

La roca es triturada por tres razones:

- 1) Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa.
- 2) Para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular.
- 3) Para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas.

El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones económicas, el material triturado es usado tal y como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra. El agregado triturado, sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar, y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimento. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

En plantas de trituradoras donde la producción de agregado es más o menos continua a través de la temporada de pavimentación, se deben llevar a cabo evaluaciones de control de calidad cada cierto volumen de producción, para así poder

monitorear la calidad del producto final para que pueda cumplir con las especificaciones requeridas.

2.1.3.2.1. Producción de Agregados Triturados para Pavimentos Flexibles.

La forma de explotación y producción de agregados tienen una importancia decisiva para obtener un agregado correcto, llegándose incluso a obtener un agregado aceptable de una procedencia mediocre, por eso este método es uno de los más usados en la construcción de pavimentos flexibles en nuestro medio, ya que podemos obtener tamaños de agregados según nuestra necesidad y conveniencia.

El proceso de trituración de agregados tiene fundamentalmente tres etapas:

1.- Extracción

Los yacimientos más comunes son los que se encuentran en las terrazas fluviales especialmente en nuestro medio, el problema de su explotación es que puede producir problemas de hidráulica fluvial como ser: socavaciones, desvíos del curso, desbordamientos y daños al ecosistema. Por ello en muchos países este recurso está cada vez mas restringido lo mismo en nuestro medio.

También se realizan explotaciones de materiales en canteras que son formaciones rocosas masivas, su extracción requiere de una fase inicial de fragmentación mediante voladuras; a veces, se necesita incluso una voladura secundaria (taqueo) para reducir suficientemente el tamaño de los fragmentos obtenidos para poder someter el material a la trituración. Como en las explotaciones en las terrazas fluviales esta forma de extracción también tiene limitaciones ambientales.

Las consideraciones ambientales y energéticas están llevando a buscar nuevos materiales para la construcción de los pavimentos, tal es el caso del uso de agregados artificiales que son procedentes de procesos industriales de productos de demolición y del reciclado de firmes envejecidos los cuales son sometidos a procesos de trituración y posterior clasificación.

2.- Trituración y Clasificación

La trituradora más usada en la construcción de carreteras es la Panta Trituradora portátil, ya que esta tiene la capacidad de ser transportada y ensamblada según sea conveniente para las construcciones de Pavimentos. En la Figura 2.6 hicimos un esquema del proceso de Trituración y Clasificación de Agregados:

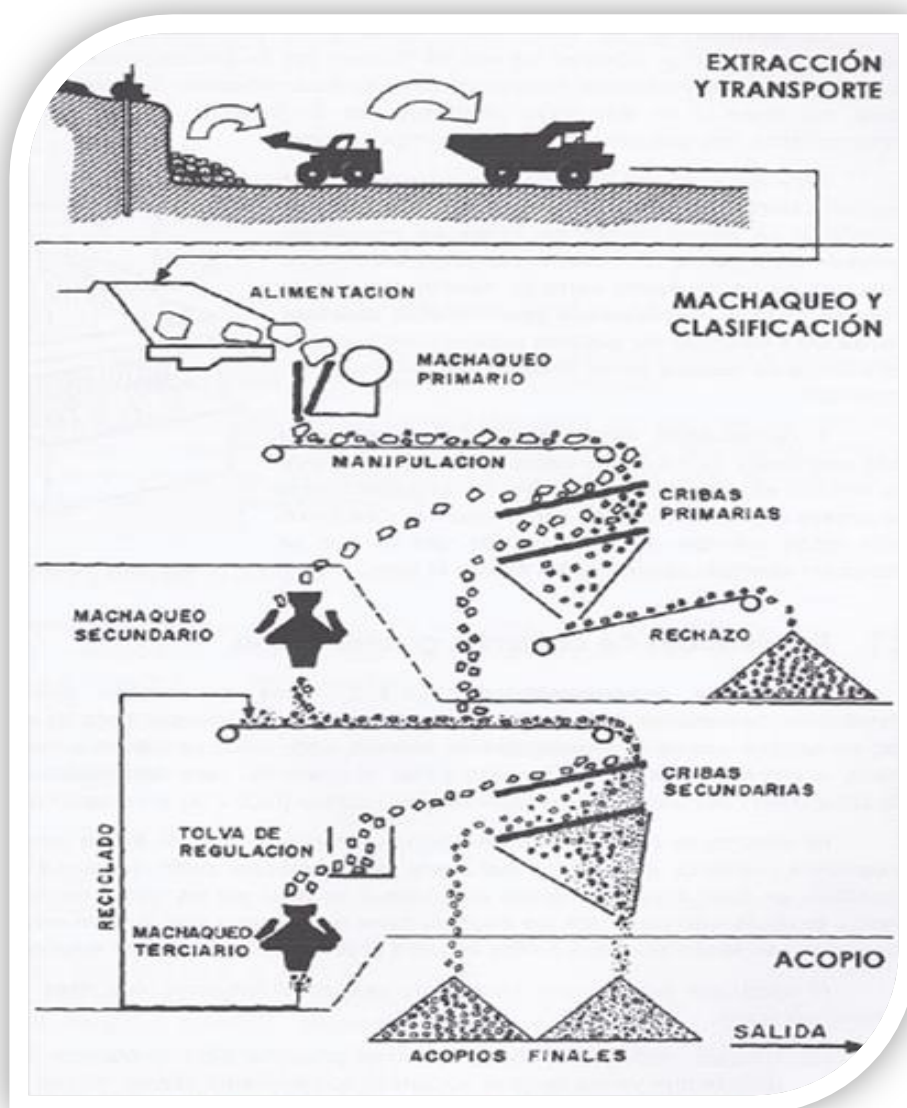


FIGURA 2.6 – Proceso de Fabricación de agregados Triturados.

Fuente: INGENIERÍA DE CARRETERAS VOL. II. Carlos Kraemer

3.- Acopio de Agregados

Para producir agregados para Pavimentos de buena calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de reservas. Los agregados retienen su graduación si son adecuadamente acopiados. Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño), y la graduación varía en los diferentes niveles del acopio. El Ingeniero deberá estar al tanto de los efectos producidos, en la graduación del agregado, por las diferentes prácticas de acopio, y siempre deberá fomentar las buenas prácticas.

Deberán prepararse superficies firmes y limpias, y deberán tomarse precauciones para mantener separadas las reservas y así prevenir entremezclado de partículas, el cual conduce, frecuentemente, a errores en la graduación. La separación se logra ya sea manteniendo las reservas ampliamente espaciadas, mediante el uso de muros de contención entre ellas, o almacenando el agregado en depósitos.

El uso de muros de contención requiere que estos sean lo suficiente fuertes para resistir el peso del agregado, y que se extiendan hasta la profundidad total de las reservas.

2.1.3.2.2. Manejo de los Agregados

El manejo de agregado es muy importante ya que las partículas individuales de agregado causan segregación cuando se trata de partículas que presentan diferentes tamaños, por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo para poder prevenir cualquier degradación y segregación.

El manejo mínimo incluye apartar el agregado de las reservas para que pueda ser procesado adicionalmente, y para luego ser mezclado en la planta (en caso de su uso para capa de Rodadura). No existen reglas específicas para esta operación, pero sí hay una norma general que casi siempre se aplica; ésta consiste en usar un cargador para remover material de las partes casi verticales del acopio. Si se usa un bulldózer, o cualquier otro vehículo de tracción, para trabajar en la parte superior del acopio, aumenta la probabilidad de una alta degradación.

Si se permite el uso de topadoras en el manejo de pilas de agregado, estas no deberán trabajar continuamente sobre el mismo nivel. Si esto llegara a ocurrir, el material fino, producido por la acción moledora de la banda de rodamiento, encontrará el camino hacia la parte baja de la rampa que esta siendo usada por la topadora (Figura 2.7). Por lo tanto, el material tendrá que volver a ser tamizado antes de ser usado en la mezcla. De otra manera, el material deberá ser desechado. Este problema no esta únicamente limitado al uso de topadoras y otros vehículos de tracción; también ocurre cuando se usan equipos con llantas de caucho.

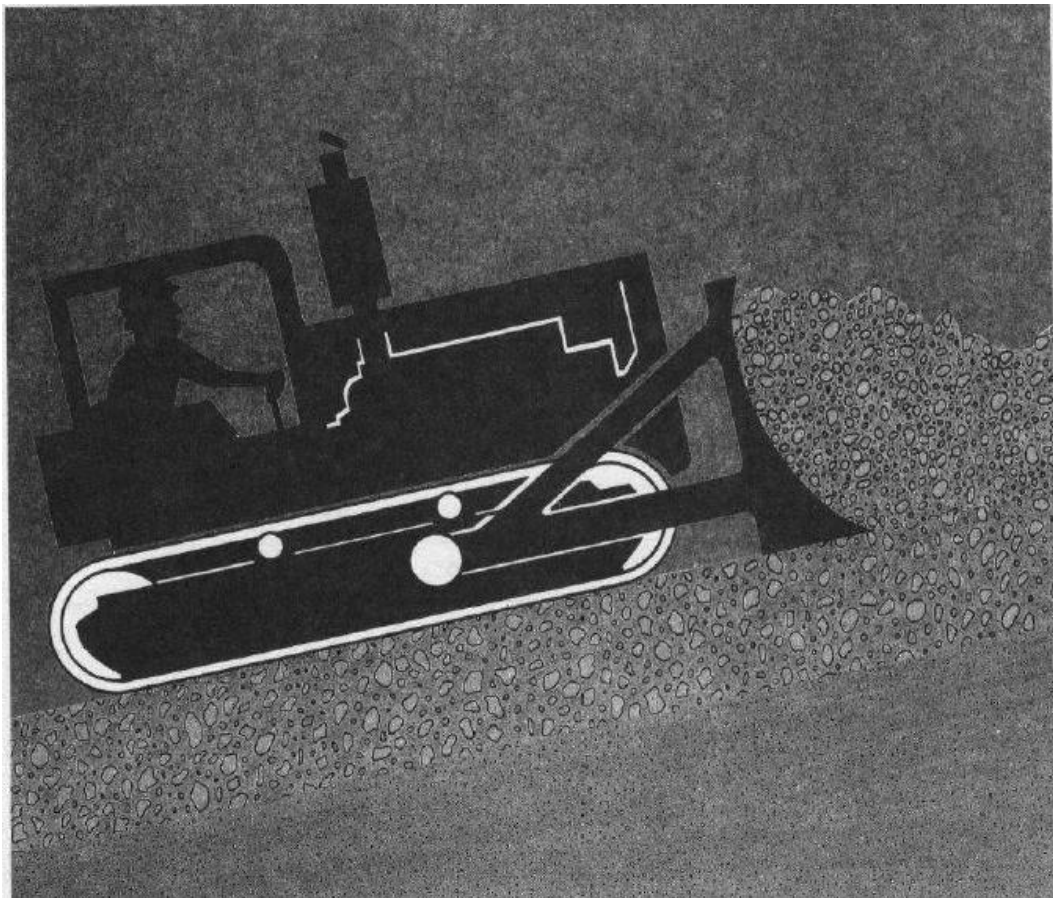


FIGURA 2.7 – Segregación Causada por el Buldózer.

Fuente: SERIE DE MANUALES N.º22 (MS-22). Univ. Del Salvador

Para garantizar que la pila mantenga una graduación uniforme se deben tomar muestras del agregado, y ensayarlas con frecuencia. Cada muestra de la pila debe ser un compuesto de agregados tomados de diferentes niveles de la pila - cerca a la cima, en la mitad, y cerca de la base. Es posible usar un escudo de madera o metal metido verticalmente en la pila, justo por encima del área de muestreo, para prevenir que partículas sueltas de agregado se derrumben sobre la muestra durante la operación de muestreo.

Para obtener muestras, use una pala de punta cuadrada con bordes doblados hacia arriba tal que formen una cuchara. Introduzca horizontalmente la cuchilla de la pala dentro de la pila y remueva una palada de material. Tenga cuidado de no dejar caer ninguna de las partículas. Luego coloque el agregado en un balde. Las paladas siguientes serán colocadas en el mismo balde.

Asegúrese de obtener una palada de agregado, en el área de muestreo, de cada nivel de la pila. Es importante que las áreas de muestreo no estén en línea vertical. Estas deberán estar más bien escalonadas alrededor, o dentro, de la pila, para garantizar muestras representativas.

2.1.3.2.2.1. Practicas Para la Construcción de Acopios

.La manera como los agregados deben ser manejados durante el acopio depende de la naturaleza misma del material. Los agregados finamente graduados (tales como arenas y materiales finos) y los de un solo tamaño no requieren el mismo cuidado en su manejo que los agregados gruesos compuestos de varios tamaños de partícula. Las arenas, el agregado triturado fino, y los agregados de un solo tamaño (especialmente los tamaños pequeños) pueden ser manejados y almacenados casi de cualquier manera.

Las combinaciones de agregados, sin embargo, requieren de un manejo especial. Por ejemplo, si un material que contiene partículas gruesas y finas se coloca en una pila con forma de cono, es probable que presente segregación debido a que las partículas

grandes van a rodar por la pendiente de la reserva (Figura 2.8.A). Esta segregación puede ser minimizada si se construye la pila en capas (Figura 2.8.B).

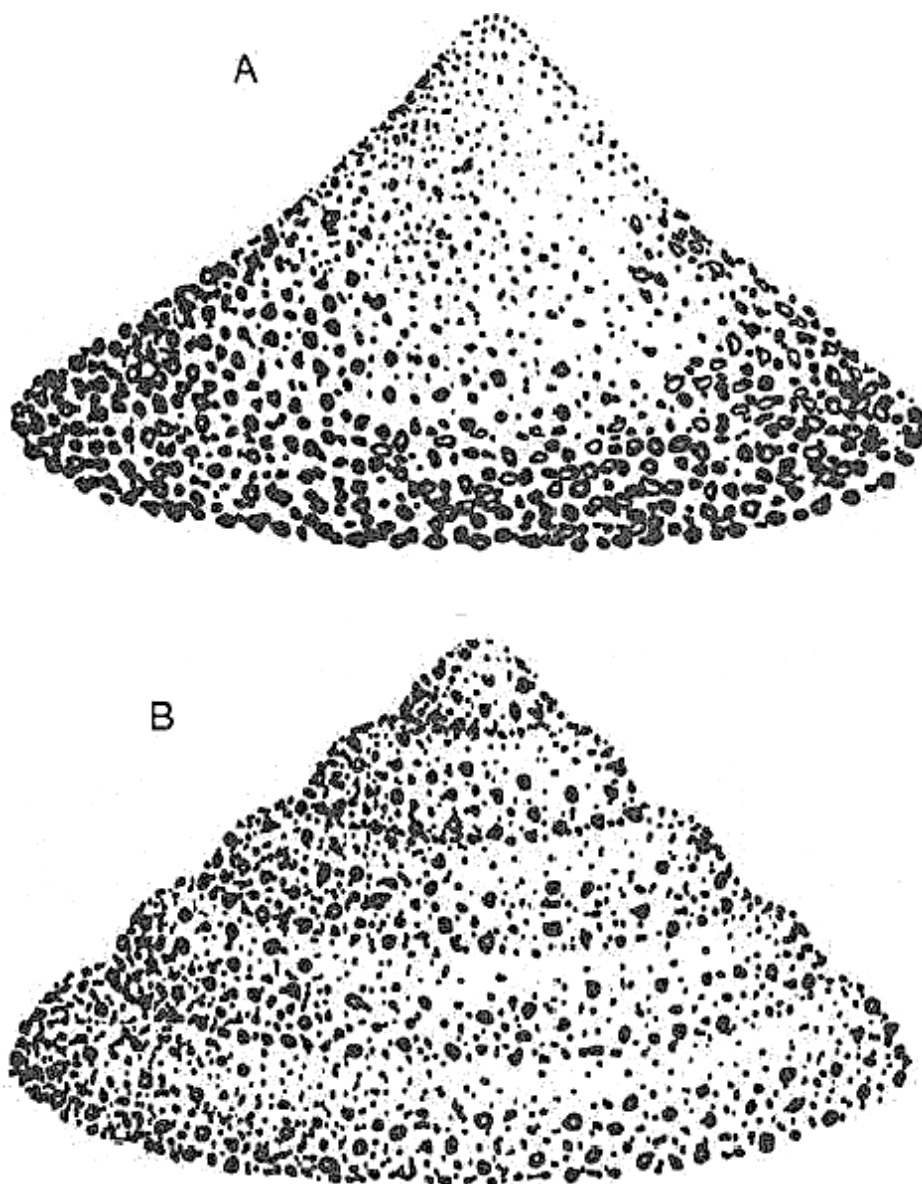


FIGURA 2.8 – Método (A) Incorrecto (B) correcto para Apilar Agregado con Partículas Grandes y Pequeñas.

Fuente: SERIE DE MANUALES N.º.22 (MS-22). Univ. Del Salvador

Si los agregados son transportados en camión, se puede construir una pila en capas vaciando las camionadas, una cerca de otra, sobre la superficie total del montón. El tamaño de las camionadas determinará el espesor de cada capa. Cuando el apilamiento se hace con grúa, las cargas deberán depositarse (sin ser arrojadas) una cerca de otra para formar capas de espesor uniforme. Cada capa deberá ser terminada antes de comenzar a apilar la capa siguiente, como lo muestra la Figura 2.9.

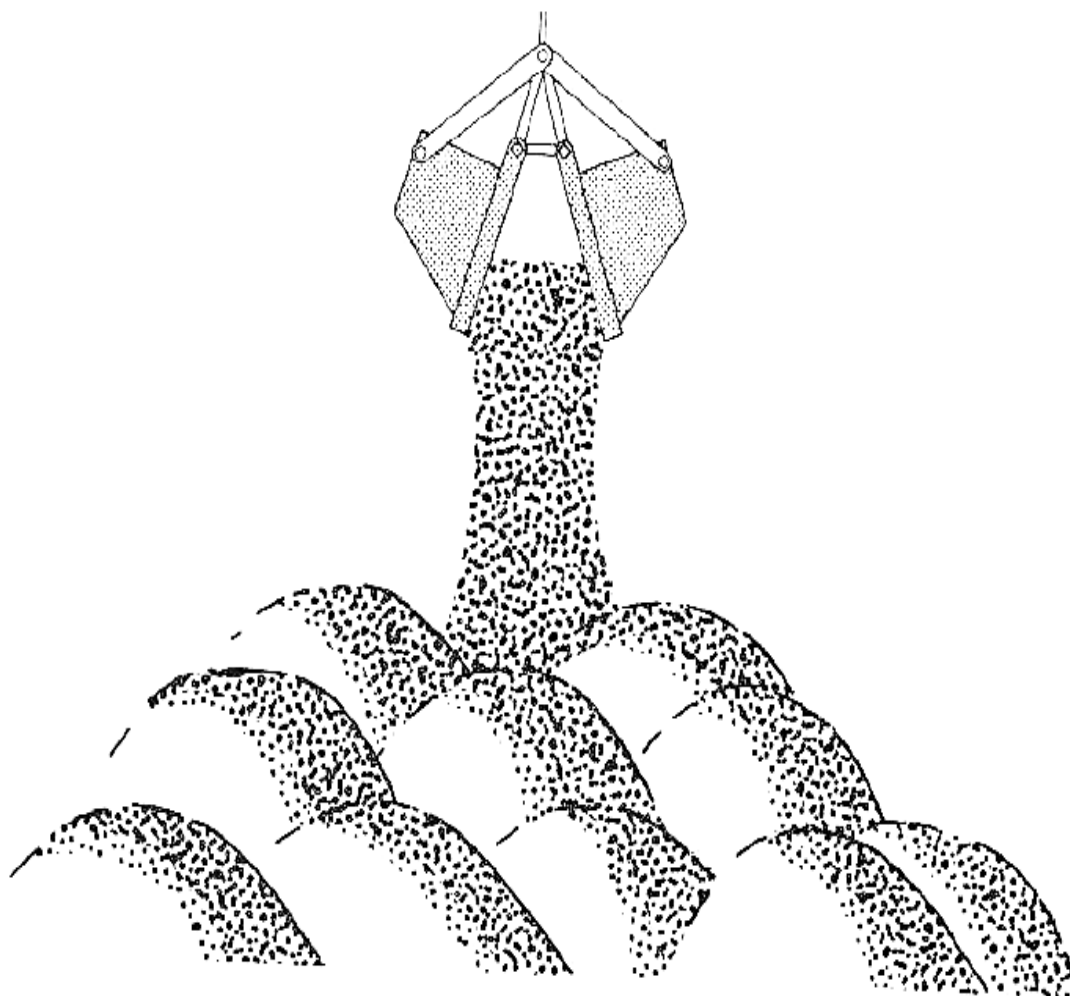


FIGURA 2.9 Apilamiento con Grúa

Fuente: SERIE DE MANUALES N.º.22 (MS-22). Univ. Del Salvador

Si se usa una topadora (buldozer) para construir la pila, la topadora tendrá que depositar el agregado de tal forma que la pila crezca en capas uniformes. Cada capa no deberá tener un espesor de mas de 1.20 metros (4 pies). La manipulación de agregados con topadora deberá ser mínima, debido a que cualquier movimiento del agregado puede causar segregación y degradación.

2.2. EVALUACIÓN DE MATERIALES POR EL ÍNDICE DE LAJOSIDAD

2.2.1. Concepto

Se define como Laja “a la partícula pétreo en que el cociente entre las dimensiones máximas y mínimas referidas a un prisma rectangular, es mayor que 5”.

Fuente: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES PARA CARRETERAS VOL.4

2.2.2. Principios de Lajosidad

Las propiedades de forma y angulosidad de las partículas de un agregado triturado tienen vital importancia en el comportamiento de un pavimento flexible, especialmente en los agregados que están constituidos por fracciones de un tamaño apreciable, como es el caso de los Agregados Gruesos, estos agregados contienen partículas que pueden ser individualizadas con gran facilidad, lo que es de mucha ayuda al momento de estudiar sus propiedades de forma y angulosidad.

Según su forma, las partículas pueden clasificarse en redondeadas, irregulares, angulares, lajosas, alargadas y alargadas – lajosas, como se muestra en la Figura 2.10.

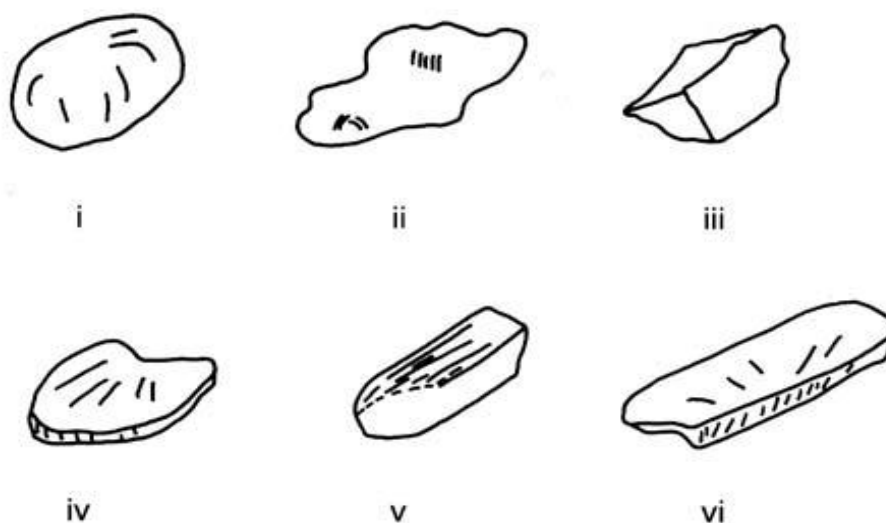


FIGURA 2.10 – Forma de las Partículas de los Agregados.

i. Redondeada, ii. Irregular, iii. Angular, iv.

Lajosa, v. Alargada, vi. Alargada - Lajosa.

La forma de los agregados triturados más deseados para la elaboración de Pavimentos Flexibles son aquellos con una alta proporción de partículas aproximadamente equidimensionales o en forma Cubica, Los factores intrínsecos, como la composición de la roca afectan a la forma de los agregados durante los procesos de trituración y fundamentalmente a la resistencia del esqueleto mineral del agregado.

La industria de la piedra triturada esta cada día está trabajando por obtener como resultado un material de buena calidad para el empleo en la construcción de Pavimentos Flexibles, esto se dificulta cuando se producen grandes volúmenes de material que se requieren en la construcción de las capas de pavimento como la capa de Rodadura y Capa base, ya que por los métodos empleados para su reducción o en menor grado por la naturaleza de la roca es inevitable la producción de partículas en forma de Lajas en el resultado final del producto.

Es por eso que se imponen limitaciones y tolerancias a la proporción de partículas de forma defectuosa (lajas) que provienen de plantas trituradoras y que serán empleadas

para la construcción de pavimentos, esta limitación varía de acuerdo al uso que se le dará al agregado y a las especificaciones de cada proyecto.

El procedimiento para medir la existencia de este tipo de partículas es normalizado como ya lo mostraremos más adelante, este método se basa generalmente en la medida directa de las dimensiones de las partículas, el cual consiste básicamente en hacer pasar cada fracción del agregado a través de un calibre metálico (Figura 2.11) separando así las partículas en forma de lascas y poder obtener el porcentaje que existe de las mismas en una determinada muestra.

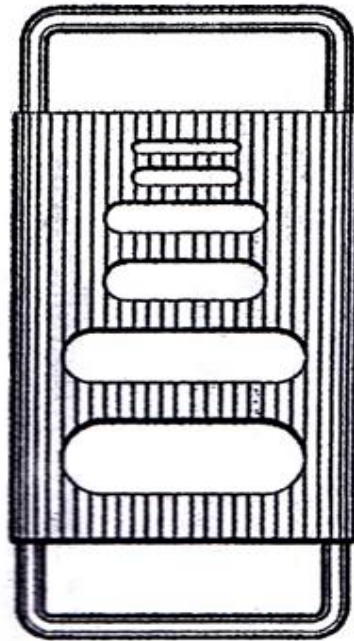


FIGURA 2.11 Calibrador del Lajas

Fuente: INGENIERÍA DE CARRETERAS VOL. II Carlos Kraemer

2.2.3. Efecto de la Lajosidad en Pavimentos Flexibles.

El estudio de las formas de las partículas es muy importante, ya que de ellas depende el buen desempeño de un pavimento flexible especialmente cuando hablamos de partículas en forma de Lajas. Varios estudios demostraron que las partículas en forma de Lajas no son las adecuadas para un óptimo desempeño en las capas de un

pavimento flexible, especialmente en las capas superiores las cuales deben resistir las cargas directas del tráfico.

Estas partículas son las que nos interesan para la realización de nuestro estudio, como lo dijimos anteriormente estas son muy perjudiciales para el buen funcionamiento de un pavimento flexible, especialmente cuando se las usa para la elaboración de mezclas asfálticas para capas de Rodadura, esto se debe a que estas son frágiles y fáciles de romper al momento de realizar el manejo de agregados y trabajos de compactación, así como la acción del tráfico, modificando su granulometría y descubriendo en su caso una superficie no envuelta por el ligante, ocasionando la debilitación de la estructura y con ello la aparición de fallas visibles en la capa de Rodadura.

Varios estudios realizados a las partículas en forma de Lajas revelaron que son más propensas al desgaste por efecto de la abrasión, investigaron el efecto que tienen estas partículas en la resistencia al desgaste, en uno de estos estudios sometieron muestras de agregados con diferentes porcentajes de Lajas al desgaste mediante la Máquina de Los Ángeles, en el cual descubrieron que a mayor porcentaje de partículas en forma de Lajas que agregaban a una muestra era mayor el índice de desgaste del material.

En estos estudios también se pudo observar que las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada.

Es importante tener un cuidado especial en los procesos de reducción de la roca empleando los equipos de trituración adecuados para cada tipo de material para así minimizar la producción de este tipo de partículas, cuando se utilizan explosivos para reducción de roca (voladuras), se recomienda intercalar con el proceso de trituración, ya que se observó que la reducción mediante explosivos aumenta la producción de

lajas más aún si la cantidad de explosivos es excesiva, esto se lo realiza reduciendo la roca a un tamaño adecuado para procesarlo en una planta trituradora, esto minimizara la producción de partículas en forma de Lajas.

2.2.4. Ensayo de Lajosidad.

El objetivo de este ensayo es encontrar el denominado Índice de Lajosidad, el cual representa la cantidad de partículas Lajosadas que tiene una determinada muestra de agregado, este Índice es expresado en porcentaje respecto al total de la muestra ensayada.

Para el objetivo de mi estudio usare como guía de laboratorio el “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales para Carreteras” de la Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.), ensayo Nro. A0503. MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE LAJAS

Equipo y Materiales.-

1. Balanza
De capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo y una precisión de 0.1g.
2. Juego de Tamices
3. Calibrador de Lajas (Figura 2.12).
4. Bandejas
5. Otros

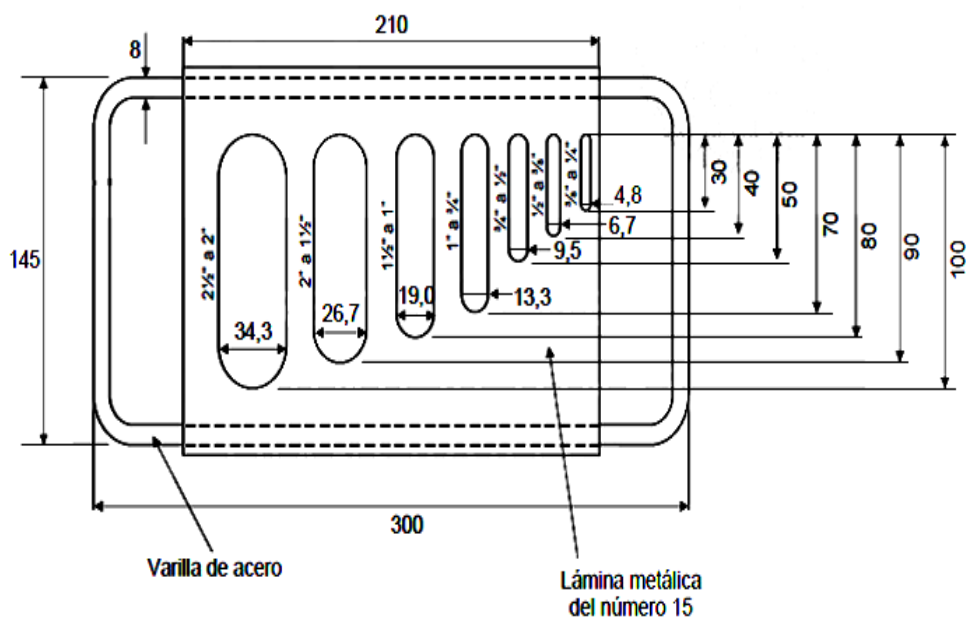


FIGURA 2.12 Calibrador del Lajas

Fuente: MANUALES DE ENSAYOS PARA PAVIMENTOS

Procedimiento.-

1. Se extrae y se separa las muestras de acuerdo al Manual de Ensayos A.B.C.
2. La cantidad de mínima de muestra se indica en la Tabla 2.4, de acuerdo al tamaño máximo absoluto del agregado.

Tamaño Máximo Absoluto (mm)	Masa Mínima (g)
37,5	16000
25	10000
19	8000
12,5	5000
9,5	4000
6,3	3000

TABLA 2.4 – Cantidad Mínima de Muestra de Ensayo

Fuente: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES PARA
CARRETERAS A.B.C.

3. Seque la muestra, pésela y determine su distribución granulométrica de acuerdo al Manual de Ensayos A.B.C.
4. Las fracciones a considerar para el ensaye son las siguientes: 37.5 – 25 mm, 25 - 19 mm, 19 - 12,5mm, 12,5 – 9.5 mm, 9.5 - 6,3mm y 6,3 – 4.75 mm.
5. Obtenga por cuarteo una cantidad mínima de 100 partículas de cada fracción y registre su peso como MTi, aproximando a 0,1 g.

Nota.- Cuando se obtenga una cantidad de material menor que el 5% en cualquier fracción, se puede omitir la determinación correspondiente sin que el resultado cambie apreciablemente.

6. Repita para cada fracción los pasos que a continuación se indican:
 - a) Haga pasar cada una de las partículas de la fracción por el orificio del calibrador correspondiente a dicha fracción.
 - b) Pese el total de partículas que pasan por la abertura del calibrador y registre como MPi, aproximando a 0,1 g.
 - c) Calcule el Índice de Lajas de la fracción i (ILi) de acuerdo a la siguiente expresión, aproximando a un decimal:

$$IL_i = \frac{M_{Pi}}{M_{Ti}} \times 100$$

Donde:

ILi : Índice de Lajas de la fracción i (%).

MPi : Masa de material que pasa por la abertura del pie de metro para la fracción i (g).

MTi : Masa total de ensaye de la fracción i (g).

Cálculos.-

El Índice de Lajas del agregado (IL) se obtiene de la siguiente expresión, aproximando al entero:

$$IL = \frac{\sum (IL_i \times R_i)}{\sum R_i}$$

Donde:

IL: Índice de Lajas del agregado (%).

ILi: Índice de Lajas de la fracción i (%).

Ri: Porcentaje parcial retenido de la fracción i (%), aproximado al entero.

Resultados.-

Los resultados del ensayo determinaran si el material cumple con las especificaciones del proyecto y si es apto para su empleo en el Pavimento Flexible.

Algunas bibliografías recomiendan que no sobrepase el 35% del total para su uso en pavimentos flexibles.

2.3. EVALUACIÓN DE MATERIALES POR EL DESGASTE DE LOS ÁNGELES

2.3.1. Concepto

Es la resistencia a la abrasión y a la degradación mecánica del agregado grueso, que se produce durante el manejo, construcción y vida útil de un pavimento, este procedimiento se realiza utilizando la Maquina de los Ángeles.

2.3.2. Principios de Desgaste de los Ángeles.

La durabilidad y resistencia de los pavimentos flexibles van a estar relacionadas principalmente con la calidad de los agregados que se emplean en su construcción, por lo tanto, debemos saber con que tipo de agregados se cuenta para su desarrollo, estos agregados pueden ser de calidad variable: de alta, baja, o media dependiendo de su resistencia al desgaste. Una vez conocida la resistencia de los agregados se puede garantizar un buen resultado en los trabajos de construcción de pavimentos.

La resistencia al desgaste de un agregado es la resistencia a la abrasión que ocurren en los puntos de contacto ya que en estos se ejercen las presiones mas altas, es por eso que los materiales que están en la parte superior de la estructura como la capa base y la capa de rodadura deben tener una alta resistencia a estos esfuerzos.

La resistencia al desgaste es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca ya sea por su naturaleza petrológica o por sus propiedades de forma. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de los pavimentos flexibles, ya que estas deberán soportar los esfuerzos producidos por la acción de las cargas del trafico vehicular, para lo cual los agregados que se utilizan deben tener buena resistencia y dureza especialmente en las capas superiores las cuales estarán en contacto directo con las cargas.

Es por eso que la resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor predominante en la evolución del comportamiento de un pavimento flexible después de su puesta en servicio, especialmente en las capas superiores del pavimento. 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 Pavimento. Se realizan una serie de ensayos que tienden a reproducir en laboratorio de manera más sencilla el comportamiento que luego tendrán los agregados en servicio, para ello se preparan las muestras con granulometrías próximas a las que van a ser puestas en obra, sometiéndolas a un desgaste que, de forma indirecta, proporciona información de la resistencia mecánica del material. La prueba de Los Ángeles es un ejemplo de este tipo de ensayos.

El ensayo de desgaste de Los Ángeles caracteriza la resistencia que presentan los agregados al desgaste. La máquina de los Ángeles (Figura 2.13) consiste en un cilindro hueco de acero,



FIGURA 2.13 Maquina de los Ángeles

Fuente: VÍAS DE COMUNICACIÓN Ing. Crespo Villalaz

con sus extremos cerrados y una abertura para introducir los áridos, que puede girar en posición horizontal. Se introducen en el cilindro unas bolas de acero como la carga abrasiva y se hace girar un determinado número de vueltas, se determina el coeficiente de desgaste de los ángeles que es la diferencia entre el peso original de la muestra y el peso después del ensayo expresada en porcentaje del peso inicial, este ensayo lo explicaremos detalladamente mas adelante.

2.3.3. Efecto del Desgaste de Materiales en Pavimentos Flexibles

Los agregados que son utilizados en las capas de un pavimento Flexible deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Esto se debe a los esfuerzos que deben soportar los agregados en la producción, y manejo en las plantas de producción de materiales, también es importante analizar los

procesos de construcción de pavimentos, en los cuales se deben considerar las cargas producidas por los equipos pesados como los rodillos pata de cabra y rodillos lisos, los cuales ejercen presiones muy altas al realizar trabajos de compactación en las capas del pavimento ocasionando que se produzca un desgaste irreversible lo cual conlleva a una modificación en la granulometría de los agregados.

De la misma manera, en la vida de servicio del pavimento este debe ser capaz de resistir el desgaste y la degradación a través de los años de vida útil, esto se debe al esfuerzo-deformación ocasionado por la carga de la rueda ya que esta es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los agregados que están en, o cerca de la superficie, como son los materiales de la capa base y capa de rodadura, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas ocasionadas por el tránsito vehicular.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El Ensayo de Desgaste mediante la maquina de Los Ángeles (ensayo Nro. A0511. “MÉTODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES”. A.B.C), mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

También se está usando el ensayo de abrasión para calificar la calidad de piedras, y bloques de roca para obras de defensa ribereña, etc. para lo cual se deberá someter primero a un proceso de chancado a fin de tener la muestra de ensayo.

2.3.4. Ensayo de Desgaste mediante la Máquina de los Ángeles.

El objetivo de este ensayo es encontrar el coeficiente de desgaste de los ángeles que es la diferencia entre el peso original de la muestra y el peso después del ensayo expresada en porcentaje del peso inicial.

Para el objetivo de mi estudio usare como guía de laboratorio el “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales para Carreteras” de la Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.), ensayo Nro. A0511. MÉTODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES.

Equipo y Materiales.-

1. Máquina de los Ángeles. (Figura 2.14)

- a) Tambor de acero de 710 ± 6 mm de diámetro interior y de 510 ± 6 mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar un motor. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material sobre tamiz N ° 50 (0.3mm).
- b) Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en 90 ± 3 mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1,25 m.

Nota 1: Es preferible utilizar una aleta de acero de sección rectangular montada independientemente de la tapa. Sin embargo, puede emplearse como aleta una de las alas de un perfil L de acero laminado montado en el interior de la tapa, de modo que

la carga se reciba por la cara externa del ángulo. Cuando la aleta se deforma debe ser reparada o remplazada.

- c) La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática

Nota 2: Cualquier deslizamiento o punto muerto en el mecanismo de impulsión puede alterar los resultados de ensaye, lo que los hace no comparables con resultados obtenidos en una máquina que produzca una velocidad periférica uniforme.

2. Balanza: Con una capacidad superior a 10 Kg y una precisión de 1g.
3. Juego de Tamices.
4. Horno.
5. Esferas. (Carga abrasiva): Un juego de esferas de acero de aprox. 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g.

Procedimiento.-

1. Se extrae y se prepara las muestras de acuerdo al Manual de Ensayos A.B.C.
2. Determine la granulometría de la muestra de acuerdo con el Manual de Ensayos A.B.C.
3. El tamaño de la muestra (en kg) debe ser igual o mayor que $2 D_n$, en que D_n es el tamaño máximo nominal expresado en mm, y no menor que 50 kg para los grados 1 al 5 y 25 kg para los grados 6 y 7
4. Lave la muestra y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
5. Tamice la muestra obtenida, de acuerdo al Manual de Ensayos A.B.C., empleando la serie de tamices de aberturas nominales siguientes: 75 mm, 63 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9.5 mm, 6,3 mm, 4.75 mm y 2,36 mm. Deje el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.

6. Elija de la Tabla 2.5 el grado de ensaye que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sume los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elija para el ensaye el que entregue una mayor suma.

Nota 3: En caso que alguna de las fracciones del grado elegido tenga un porcentaje parcial retenido muy bajo, que requiera tamizar una cantidad de material muy alta para componerlo, se considerará como grado de ensaye aquel que entregue la suma de parciales retenidos inmediatamente inferior a la del grado elegido. En el caso del grado 4 se entenderá como porcentaje parcial retenido muy bajo un valor igual o inferior que 4%.

7. Cuando se trate de agregados sin tratamiento ni selección, debe procesar la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir de la tabla el grado de ensaye correspondiente a dicha banda granulométrica.
8. Pese los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, de acuerdo con la Tabla 2.5. Registre la masa del total de material por ensayar como masa inicial de la muestra (m_i), aproximando a 1 g.
9. Coloque la masa inicial de material en la máquina de Los Ángeles y ensaye de acuerdo con el grado elegido (número y masa de esferas, y número de revoluciones), según Tabla 2.5.

Nota 4: Seleccione las esferas de manera tal que la suma de sus masas individuales cumpla con los valores estipulados en la Tabla 2.5.

10. Una vez completado el número de revoluciones correspondiente, saque el material de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones.
11. Separe la carga abrasiva.
12. Efectúe un primer tamizado en un tamiz de 2,36 mm o superior, a fin de evitar dañar el tamiz de corte (1,7 mm).

13. Tamice manualmente el material bajo 2,36 mm por tamiz de 1,7 mm (No. 12), según procedimiento de tamizado final descrito en Manual de Ensayos A.B.C.
14. Reúna todo el material retenido en ambos tamices, lávelo, séquelo hasta masa constante en horno a 100 ± 5 ° C y deje enfriar a temperatura ambiente.
15. Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la muestra (m_f), aproximando a 1 g.

Cálculos.-

Calcule el desgaste del agregado como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P(\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100$$

Donde:

P: Pérdida de masa de la muestra (%).

m_i : Masa inicial de la muestra (g).

m_f : Masa final de la muestra (g).

Nota 5: Los resultados de ensaye de los grados 1, 2 y 3 con 1.000 revoluciones no tienen relación consistente con los resultados de los grados 4, 5, 6 y 7 con 500 revoluciones y, por lo tanto, no son comparables.

Tamaños de partículas (mm)	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
	Tamaño de las fracciones (g)						
75 - 63	2.500 ±						
63 - 50	2.500 ±						
50 – 37.5	5.000 ±	5.000 ±					
37.5 - 25		5.000 ±					
25 - 19			5.000 ±	1.250 ±			
19 - 12,5				1.250 ±		2.500 ±	
12,5 – 9.5				1.250 ±	2.500 ±		
9.5 - 6,3						2.500 ±	
6,3 – 4.75		2.500 ±					
4.75 - 2,5			5.000 ±				
Masa inicial de muestra (Mi)	10.000 ±100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- número	12			12	11	8	6
- masa (g)	5.000 ± 25			5.000 ± 25	4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
No. deRevoluciones	1.000			500			

TABLA 2.5 – Grados de ensayo (Definidos por rangos de tamaño en mm)

Fuente: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES PARA
CARRETERAS A.B.C

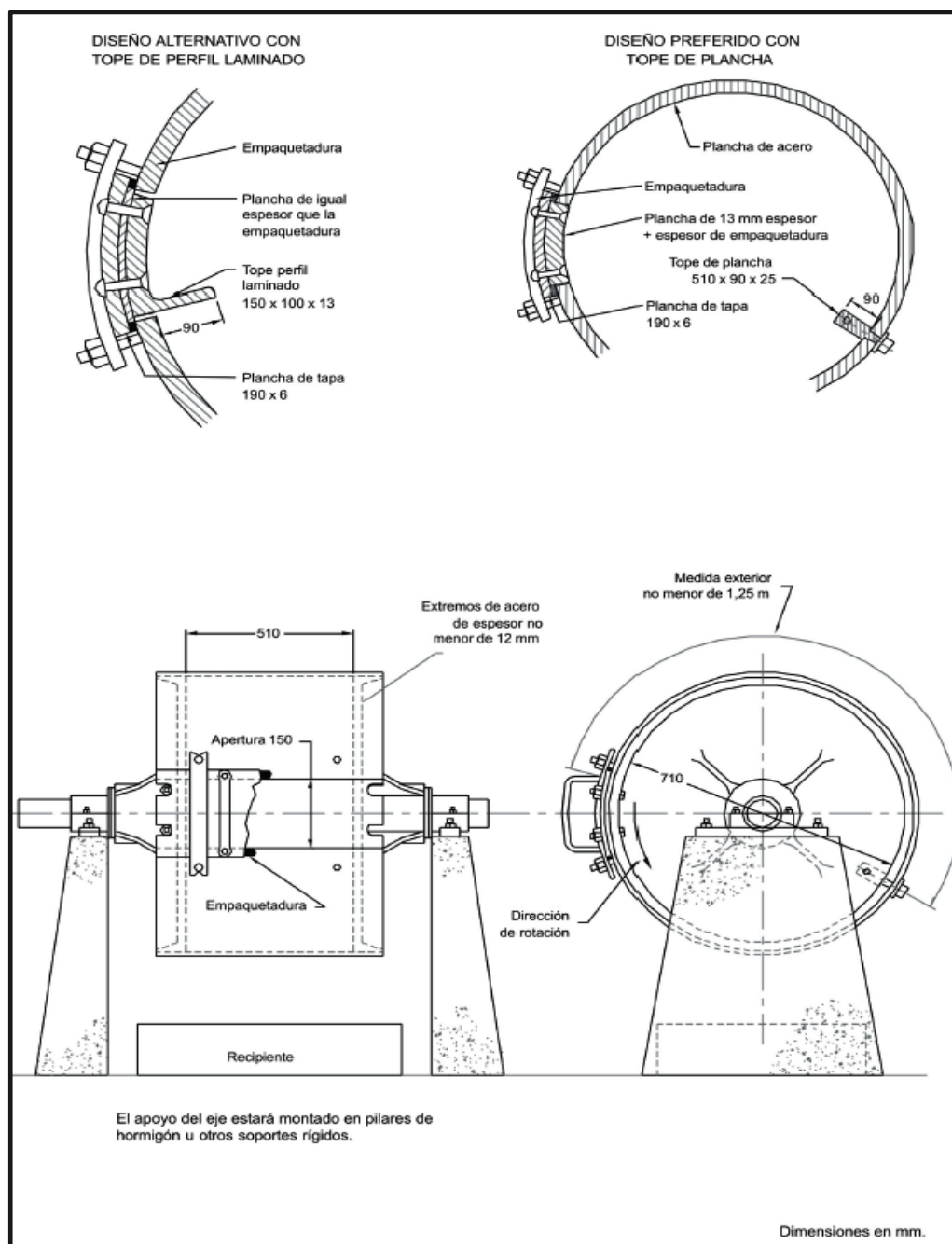


FIGURA 2.14 Diagrama Máquina de los Ángeles

Fuente: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES PARA CARRETERAS A.B.C.

Resultados.-

Los resultados del ensayo determinaran si el material cumple con las especificaciones del proyecto y si es apto para su empleo en el Pavimento Flexible.

Algunas bibliografías recomiendan que el índice de desgaste para SubBase, base y capa de rodadura no deban sobrepasar el 40 % del total de la muestra como explicamos en el inciso 2.1.2 Materiales en las capas del Pavimento Flexible.

2.4. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y REGRESIÓN

El análisis de correlación estudia el grado de relación de dos o más variables, es decir, mide la dependencia de una variable con respecto de otra, el análisis de regresión consiste en emplear métodos que permitan determinar la mejor relación funcional entre dos o más variables concomitantes (o relacionadas).

El concepto de correlación está estrechamente vinculado al concepto de regresión, pues, para que una ecuación de regresión sea razonable los puntos muestrales deben estar ceñidos a la ecuación de regresión

2.4.1. Regresión lineal Simple

Se puede decir que Y depende de X, en donde Y y X son dos variables cualquiera en un modelo de Regresión Simple.

"Y es una función de X"

$$Y = f(X)$$

En el Modelo de Regresión Simple se establece que Y es una función de sólo una variable independiente, razón por la cual se le denomina también Regresión Di variada porque sólo hay dos variables, una dependiente y otra independiente y se representa así:

"Y está regresando por X"

$$Y = f(X)$$

La variable dependiente es la variable que se desea explicar, predecir. También se le llama regresando o variable de respuesta.

La variable independiente X se le denomina variable explicativa ó regresor y se le utiliza para explicar Y.

En el estudio de la relación funcional entre dos variables poblacionales, una variable X, llamada independiente, explicativa o de predicción y una variable Y, llamada dependiente o variable respuesta, presenta la siguiente notación:

$$Y = a + b X + e$$

Dónde:

a = Valor de la ordenada donde la línea de regresión se intercepta con el eje Y.

b = Coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta)

e = Error

2.4.1. 1. Estimación de la ecuación de regresión muestral

Consiste en determinar los valores de "a" y "b " a partir de la muestra, es decir, encontrar los valores de a y b con los datos observados de la muestra. El método de estimación es el de Mínimos Cuadrados, mediante el cual se obtiene:

$$a = \bar{Y} - b \bar{X}$$

$$b = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} = \frac{\sum X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum X_i^2 - n \bar{X}^2}$$

Luego, la ecuación de regresión muestral estimada es

$$\hat{Y} = a + b X$$

Que se interpreta como:

“a” es el estimador de “a”, es el valor estimado de la variable Y cuando la variable X = 0. “b” es el estimador de “b”, es el coeficiente de regresión, está expresado en las mismas unidades de Y por cada unidad de X. Indica el número de unidades en que varía Y cuando se produce un cambio, en una unidad, en X (pendiente de la recta de regresión).

Un valor negativo de b sería interpretado como la magnitud del decremento en Y por cada unidad de aumento en X.

2.4.2. Coeficiente de correlación Lineal Simple (*r* de Pearson)..

Es un número que indica el grado o intensidad de asociación entre las variables X e Y. Su valor varía entre -1 y +1; esto es:

$$-1 \leq r \leq 1$$

No importa qué técnica de correlación se emplee, pues todas tienen ciertas características comunes, como ser:

1. Los valores de los coeficientes de correlación varían entre +1,00 y - 1,00. Ambos extremos representan relaciones perfectas entre las variables y 0,00 representa la ausencia de relación.
2. Una relación positiva significa que los valores que obtienen calificaciones altas en una variable, tienden a obtener calificaciones altas en la otra. La aseveración.
3. Una relación negativa significa que los valores que obtienen una calificación baja en una variable, tienden a obtener una calificación alta en una segunda variable. Por el contrario, los valores que tienen una calificación alta en una variable, tienden a obtener una calificación baja en la segunda variable.

En la siguiente figura se muestra diferentes grados de relación entre dos variables:

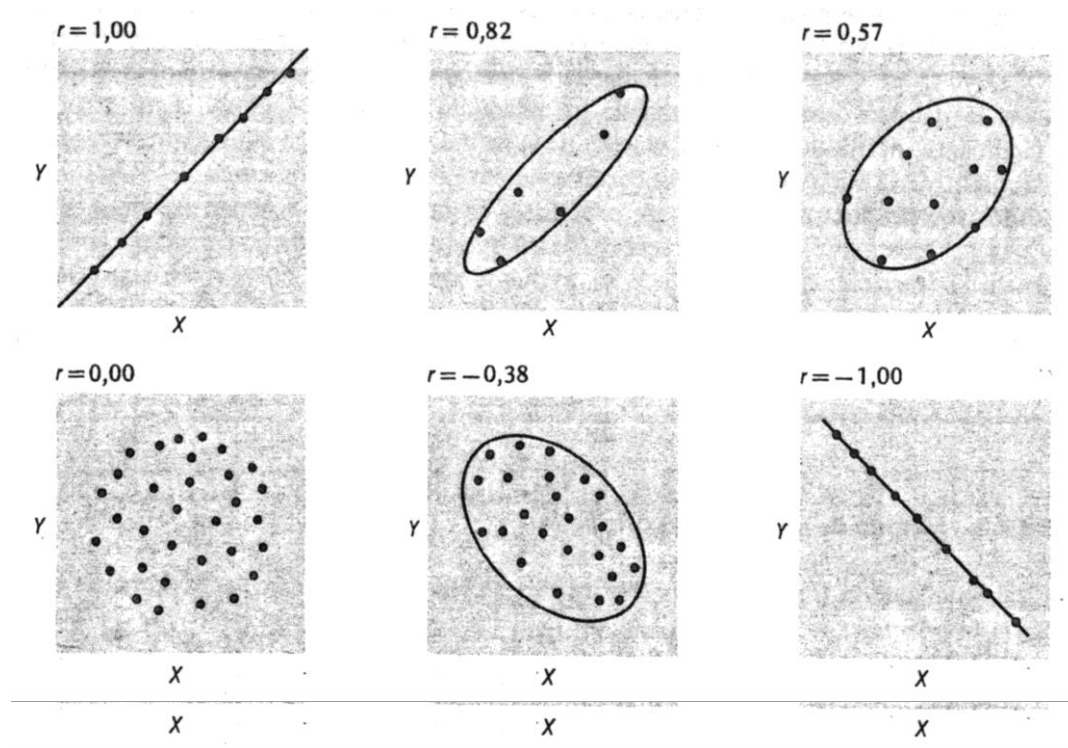


Figura. 2.15 Diagramas de dispersión que muestran varios grados de relación entre dos variables.

Fuente: ESTADISTICA GENERAL DE AUDREY HABER

El cálculo del coeficiente de correlación r de Pearson está dado por la siguiente formula:

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sqrt{\left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right] \left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right]}}$$

- **Coeficiente de Determinación R^2 .**

Mide el porcentaje de variación en la variable respuesta, explicada por la variable independiente.

R^2 es un valor positivo, expresado en porcentaje es menor de 100.

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

Se interpreta como una medida de ajuste de los datos observados y proporciona el porcentaje de la variación total explicada por la regresión.

CAPITULO III

3. INVESTIGACIÓN

3.1 HIPÓTESIS

Si los materiales triturados de un banco de préstamo tienen alto índice de lajicidad su desgaste también será alto, reduciendo su resistencia y la vida útil de un pavimento flexible.

3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.2.1. Obtención de Muestras

Las muestras se recolectaron de plantas trituradoras de agregados para el uso en pavimentos flexibles, estas plantas producen acopios de 4 tipos de materiales:

- Agregado Grueso 3/4"
- Agregado Intermedio 3/8"
- Arena triturada.
- Arena lavada.

3.2.2. Caracterización de Muestras

Una vez obtenidos estos cuatro materiales de cada muestra se procedió a realizarles los ensayos de:

- Granulometría (ensayo A0506 A.B.C.)
- Índice de Desgaste de los Ángeles (Ensayo A0511 A.B.C.).
- Índice de Lajas (Ensayo AO503 A.B.C.).



FIGURA 3.1. Tamices para Granulometría Laboratorio de Suelos U.A.J.M.S.

Fuente: ELABORACION PROPIA



FIGURA 3.2. Máquina de los Ángeles Laboratorio de Suelos U.A.J.M.S.

Fuente: ELABORACION PROPIA



FIGURA 3.3. Calibres de Lajas Laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

Fuente: ELABORACION PROPIA

Los ensayos de Desgaste de los Ángeles y de Índice de Lajas se los realizo a los agregados de $3/4''$ y $3/8''$ ya que dichos ensayos solo pueden evaluar a los agregados gruesos, estos ensayos se los realizo en su estado natural para así poder identificarlos y compararlos de acuerdo a sus características.

También determino la curva de trabajo de los agregados para carpetas asfálticas, para así poder realizar los mismos procedimientos a los materiales combinados.

3.2.3. Proceso de investigación.

Después de identificar cada material que compone cada muestra se comenzó con el estudio de los agregados de tamaño “intermedio ($3/8''$)” y “grueso ($3/4''$)” de cada muestra, este consistió en someter el material al ensayo de desgaste de los Ángeles a distintos porcentajes de material lajoso, en este caso a 0%, 50%, 100% de porcentaje de lajas, para esto se tuvo que tamizar y separar las partículas en forma de lajas para así poder dosificar adecuadamente para lograr los porcentajes propuestos, teniendo en cuenta el contenido natural de lajas del material.

Para el estudio del material combinado se mezcló las fracciones del material grueso e intermedio en un solo ensayo, la combinación que se hizo se muestra en la siguiente tabla:

TAMIZ (plg.)		PORCIONES DE LA MUESTRA
PASA	RETIENE	CANTIDAD (gramos)
1 ½"	1"	
1"	¾"	
¾"	½"	1250
½"	⅜"	1250
⅜"	¼"	1250
¼"	Nº.4	1250
Masa inicial (gr)		5000

TABLA 3.1. Masa de materiales combinados

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez que obtuvimos la muestra combinada de agregados de cada muestra se la sometió al ensayo de desgaste de los Ángeles a diferentes porcentajes de partículas en forma de lajas, los porcentajes fueron: 0%, 25%, 50%, 75%, 100%.

Después de obtener los resultados de los ensayos se analizó la relación existente entre el índice de lajosidad y el desgaste de los Ángeles y se sacó las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

3.3. MUESTREO

Como lo mencionábamos anteriormente las muestras que se recolectó fue de trituradoras locales las cuales producen agregados para su uso en pavimentos flexibles.

Muestra 1.-

Esta corresponde a la planta trituradora de materiales del Servicio Departamental de Caminos la cual se encuentra ubicada en la comunidad de Charaja Municipio de Uriondo.



FIGURA 3.4. Agregado Grueso SE.DE.CA.

Fuente: ELABORACION PROPIA



FIGURA 3.5. Agregado Intermedio SE.DE.CA.

Fuente: ELABORACION PROPIA

También se recogió una muestra de arena triturada y arena natural para realizar la curva de trabajo y verificar si entra en la faja especificada.

Su naturaleza petrológica indica que pertenece a la familia de las areniscas y tiene un grado de metamorfismo medio a alto con un contenido de silicio relativamente alto.

Muestra 2.-

Esta corresponde a la planta trituradora de materiales de la Pintada la cual produce agregados para la alcaldía de cercado, esta se encuentra ubicada en la localidad de la Pintada municipio de cercado.



FIGURA 3.6. Agregado Grueso Alcaldía Cercado

Fuente: ELABORACION PROPIA



FIGURA 3.7. Agregado Intermedio Alcaldía Cercado.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

También se recogió una muestra de arena triturada y arena natural para realizar la curva de trabajo y verificar si entra en la faja especificada.

Su naturaleza petrológica indica que pertenece a la familia de las areniscas y tiene un grado de metamorfismo bajo a medio compuesta de granos de silicio y hierro.

Muestra 3.-

Esta corresponde a la planta trituradora de materiales Tacuara de la empresa constructora “Erika”, esta se encuentra ubicada en la localidad de cañas Municipio de Padcaya.



FIGURA 3.8. Agregado Grueso Constructora Erika.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

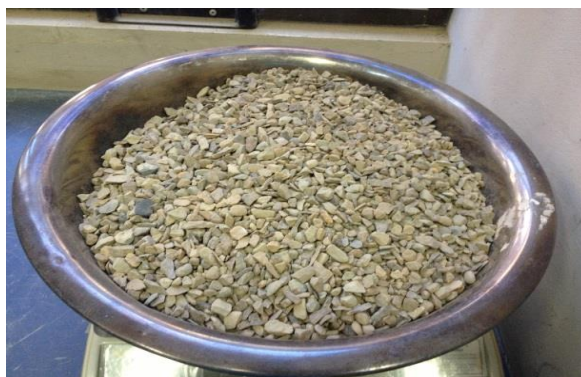


FIGURA 3.9. Agregado Intermedio Constructora Erika.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

También se recogió una muestra de arena triturada y arena natural para realizar la curva de trabajo y verificar si entra en la faja especificada.

Su naturaleza petrológica indica que pertenece a la familia de las areniscas y tiene un grado de metamorfismo medio a alto con un contenido de silicio relativamente alto.

Muestra 4.-

Esta corresponde a la planta trituradora de materiales Calama de la empresa constructora O.A.S., esta se encuentra ubicada en la localidad de San Lorenzo Municipio de Méndez.



FIGURA 3.10. Agregado Grueso Calama O.A.S.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.11. Agregado Intermedio Calama O.A.S.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

También se recogió una muestra de arena triturada y arena natural para realizar la curva de trabajo y verificar si entra en la faja especificada.

Su naturaleza petrológica indica que pertenece a la familia de las areniscas y tiene un grado de metamorfismo medio a alto con un contenido de silicio relativamente alto.

Muestra 5.-

Esta corresponde a la planta trituradora Carusla de la empresa constructora O.A.S., esta se encuentra ubicada en la localidad de Carusla Municipio de Iscayachi.



FIGURA 3.12. Agregado Grueso Carusla O.A.S.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.13. Agregado Intermedio Carusla O.A.S.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

También se recogió una muestra de arena triturada y arena natural para realizar la curva de trabajo y verificar si entra en la faja especificada.

Su naturaleza petrológica indica que pertenece a la familia de las areniscas y tiene un alto grado de metamorfismo con un contenido de silicio alto.

3.4. ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

Los ensayos de granulometría se los realizaron en base al ensayo No. A0506 del Manual de ensayos de Suelos y Materiales para Pavimentos de la Administradora Boliviana de carreteras.

Las planillas de la granulometría realizada a cada muestra se encuentran en el Anexo I de la parte de Anexos del trabajo.

3.5. ENSAYOS DE LAJOSIDAD

Los ensayos para determinar el índice de lajosidad se realizaron en base al ensayo Nro. A0503. MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE LAJAS. del “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales para Carreteras” de la Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.), descrito en el capítulo II del trabajo.

Los materiales y equipos que se usaron para el desarrollo de los ensayos fueron:

1. Balanza

De capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo y una precisión de 0.1g.

2. Juego de Tamices

3. Calibrador de Lajas (Figura 3.1).

4. Bandejas

5. Otros



FIGURA 3.14. Juego de Calibradores de lajas.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Las fracciones a considerar para el ensayo fueron $3/4''$ - $1/2''$, $1/2''$ - $3/8''$, $3/8''$ - $1/4$ y $1/4''$ - No4.

En base a la granulometría que se realizó en la caracterización de las diferentes muestras se procedió a obtener 200 partículas de cada fracción registrando el peso de las mismas. (Se omitieron las fracciones que tengan un porcentaje parcial retenido menor a 5 ya que estas no tienen repercusión en el resultado del ensayo).



FIGURA 3.15. Muestra de 200 partículas

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Después de obtener la cantidad de partículas requeridas para el ensayo se procedió a separar las partículas lamosas usando el calibrador de lamos, esto se realiza para cada fracción, este procedimiento se realiza para cada fracción.



FIGURA 3.16. Separación de partículas Lajasas.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.17. Partículas Lajasas.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.18. Partículas no lajosas

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA.

Después de separar las partículas lajosas de la fracción se procedió a registrar su peso y ponderarlo por el porcentaje parcial retenido de la misma en la granulometría, esta ponderación se realizó para determinar el índice de Lajas de la muestra.

Estos cálculos se los realizaron con las siguientes formulas:

Índice de lajas de la fracción:

$$IL_i = \frac{M_{Pi}}{M_{Ti}} \times 100$$

Dónde:

IL_i: Índice de Lajas de la fracción i (%).

MP_i: Masa de material que pasa por la abertura del pie de metro para la fracción i (g).

MT_i: Masa total de ensaye de la fracción i (g).

Para el cálculo del índice de lajas de la muestra:

$$IL = \frac{\sum (IL_i \times R_i)}{\sum R_i}$$

Dónde:

IL: Índice de Lajas del agregado (%).

ILi: Índice de Lajas de la fracción i (%).

Ri: Porcentaje parcial retenido de la fracción i (%), aproximado al entero.

Este ensayo se lo realizo a las cinco muestras para así poder cuantificar el contenido de Lajas en su estado natural, en la parte investigativa del trabajo este contenido nos sirvió de base para aumentar o disminuir el porcentaje de lajas de las muestras a ensayar, para esto se separó partículas lajosas de cada fracción para así poder dosificar según el requerimiento del porcentaje de lajas para los ensayos de Desgaste de los Ángeles que planificamos en la metodología de trabajo.



FIGURA 3.19. Partículas lajosas separadas por fracciones.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Las planillas de los ensayos de lajosidad se encuentran en el Anexo II de la parte de Anexos del trabajo, a continuación se muestra el resumen de resultados de los mismos:

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ÍNDICE DE LAJOSIDAD

MATERIAL GRUESO		MATERIAL INTERMEDIO		MATERIAL COMBINADO	
PROCEDENCIA	% LAJAS	PROCEDENCIA	% LAJAS	PROCEDENCIA	% LAJAS
Carusla	21,35	Carusla	19,35	Carusla	22,15
Calama	38,63	Calama	39,27	Calama	38,87
Alcaldía	30,4	Alcaldía	31,22	Alcaldía	33,35
Sedeca	36,27	Sedeca	35,96	Sedeca	37,12
Erika	30,21	Erika	29,2	Erika	31,83

TABLA 3.2. Resultados de Lajosidad de los materiales en su estado natural.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

3.6. ENSAYOS DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Los ensayos para determinar el Desgaste de los materiales mediante la Máquina de los Ángeles se hizo en base al ensayo No. A0511 del manual de ensayos de suelos y materiales para carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras A.B.C descrito en el capítulo II del trabajo.

Los materiales y equipos que se usaron para el desarrollo de los ensayos fueron:

1. Máquina de los Ángeles. (Figura 2.14)
2. Balanza: Con una capacidad superior a 10 Kg y una precisión de 1g.
3. Juego de Tamices.
4. Horno.
5. Esferas. (Carga abrasiva): Un juego de esferas de acero de aprox. 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g.



FIGURA 3.20. Máquina de los Ángeles

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.21. Esferas (carga abrasiva) Laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Tamaños de partículas (mm)	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
	Tamaño de las fracciones (g)						
75 - 63	2.500 ±						
63 - 50	2.500 ±						
50 - 37,5	5.000 ±	5.000 ±					
37,5 - 25		5.000 ±					
25 - 19			5.000 ±	1.250 ±			
19 - 12,5				1.250 ±			
12,5 - 9,5				1.250 ±	2.500 ±		
9,5 - 6,3							
6,3 - 4,75						2.500 ±	
4,75 - 2,5						2.500 ±	
							5.000 ±
Masa inicial de muestra (Mi)	10.000 ±100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- número	12			12	11	8	6
- masa (g)	5.000 ± 25			5.000 ± 25	4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
No. DeRevoluciones	1.000			500			

TABLA 3.3 Grados de ensayo (Definidos por sus rangos de tamaño en mm)

Fuente: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES PARA CARRETERAS.

Los ensayos de desgaste mediante la máquina de los Ángeles comenzó con la elección del grado de ensayo que mejor represento a la muestra, para esto se tiene que sumar los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados, en la realización de nuestro estudio los grados que se ajustaron fueron:

- Grado “5” (A.B.C.) y su equivalente “B’ (AASHTO T96-99) para los materiales de tamaño 3/4” (Gruesos).
- Grado “6” (A.B.C.) y su equivalente “C” (AASHTO T96-99) para los materiales de tamaño 3/8” (Intermedios).
- Para los materiales combinados se procedió al ensayo con la masa explicada en la (Tabla 3.1) y con el Grado “5” (A.B.C.) y su equivalente “B’ (AASHTO T96-99) para obtener el desgaste en condición desfavorable.

A continuación se muestra como se preparó las fracciones para someterlas a ensayo según la metodología empleada para cada material.

- **SEPARADO DE MUESTRAS POR FRACCIONES.**



FIGURA 3.22. Fracción 3/4”-1/2”

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.23. Fracción 1/2"-3/8"

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.24. Fracción 3/8"-1/4"

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.25. Fracción 1/4"-No.4"

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

- **DOSIFICACIÓN DE LAJAS PARA INVESTIGACIÓN.**



FIGURA 3.26. Material Lajoso por fracciones.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez separadas las fracciones y dosificadas con el porcentaje de lajas requerido procedimos a lavarlas para limpiarlas de impurezas que puedan alterar el resultado del ensayo.



FIGURA 3.27. Lavado de Material

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Después de lavar el material lo pusimos a secar al horno a una temperatura de 110 ± 5 grados Centígrados.



FIGURA 3.28. Material Lavado

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.29. Secado de Material

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Sacamos el material seco del horno y procedemos a pesar cada fracción para obtener la masa requerida para cada ensayo, en nuestra investigación todos los pesos para los grados utilizados fueron de 2500grs. por fracción para materiales Gruesos e Intermedios y para los combinados la masa que se muestra en la Tabla 3.1



FIGURA 3.30. Material preparado para el ensayo

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA 3.31. Material preparado para el ensayo

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Después de tener la masa lista para el ensayo se introduce el material en la máquina de los Ángeles y se la hace funcionar con el número de revoluciones y esferas del grado elegido.



FIGURA 3.32. Material puesto en la Máquina de los Ángeles

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Al terminar las 500 revoluciones se procede a descargar el material junto con las esferas para recuperar el material ensayado.



FIGURA 3.33. Material después del ensayo.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Se recogió el material ensayado teniendo en cuenta de no perder masa en el proceso para que no exista alteración en el resultado del ensayo, posteriormente se lo tamiza con el tamiz de corte No. 12.



FIGURA 3.34. Tamizado de material tamiz No.12

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Se separó el material retenido en el tamiz No.12, este se lo lava para llevarlo al horno a una temperatura de 105 ± 5 grados centígrados para secarlo.



FIGURA 3.35. Lavado de material ensayado

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Se pesa y registra la masa del material seco para calcular la pérdida del material.

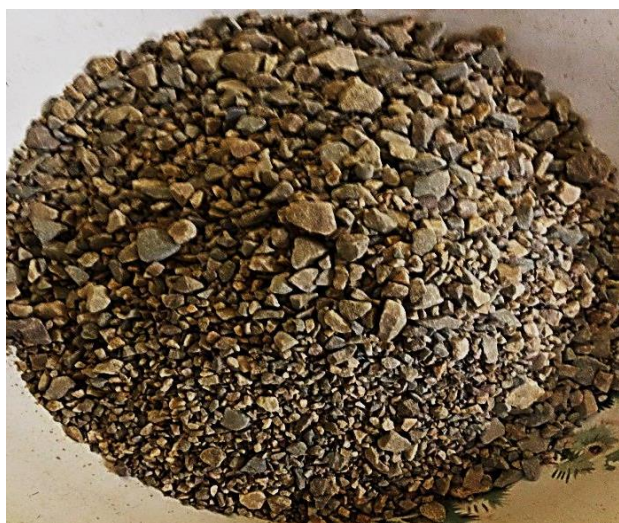


FIGURA 3.36. Material ensayado seco.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Este procedimiento lo realizamos para cada ensayo de desgaste con diferentes porcentajes de partículas lajosas como se explicó en el subtítulo

El cálculo del desgaste se lo expresa en porcentaje y lo realizamos de la siguiente forma:

$$P(\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100$$

Dónde:

P : Pérdida de masa de la muestra (%).

m_i : Masa inicial de la muestra (g).

m_f : Masa final de la muestra (g).

Las planillas de los ensayos de Desgaste de los Angeles se encuentran en el Anexo III de la parte de Anexos del trabajo, a continuación se muestra el resumen de resultados de los mismos:

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES

- Muestras en estado natural.-

MATERIAL GRUESO		MATERIAL INTERMEDIO		MATERIAL COMBINADO	
PROCEDENCIA	% DESGASTE	PROCEDENCIA	% DESGASTE	PROCEDENCIA	% DESGASTE
Carusla	19,25	Carusla	18,24	Carusla	19,58
Calama	25,78	Calama	27,1	Calama	26,66
Alcaldía	38,3	Alcaldía	36,4	Alcaldía	37,1
Sedeca	24,03	Sedeca	23,7	Sedeca	24,6
Erika	23,4	Erika	22,1	Erika	24,2

TABLA 3.4. Resultados de Desgaste de los materiales en su estado natural.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

- **Muestras de material 3/4” (Grueso).-**

ERIKA		SEDECA		ALCALDÍA	
% LAJAS	%DESGASTE	% LAJAS	%DESGASTE	% LAJAS	%DESGASTE
0	20,33	0	21,74	0	36,2
50	26,32	50	25,78	50	39,4
100	29,68	100	29,72	100	45,3

CALAMA		CARUSLA	
% LAJAS	%DESGASTE	%LAJAS	%DESGASTE
0	21,63	0	17,59
50	26,34	50	19,54
100	32,3	100	22,65

TABLA 3.5. Resultados de Investigación de Desgaste de material Grueso 3/4”.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

- **Muestras de material 3/8” (Intermedio).-**

ERIKA		SEDECA		ALCALDÍA	
% LAJAS	%DESGASTE	% LAJAS	%DESGASTE	% LAJAS	%DESGASTE
0	20,12	0	21,95	0	35,91
50	25,12	50	24,17	50	38,32
100	26,74	100	25,31	100	42,3

CALAMA		CARUSLA	
% LAJAS	%DESGASTE	%LAJAS	%DESGASTE
0	20,95	0	16,58
50	25,16	50	18,98
100	31,44	100	20,45

TABLA 3.6. Resultados de Investigación de Desgaste de material Intermedio 3/8”

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

- **Muestras de material Combinado.**

ERIKA		SEDECA		ALCALDÍA	
% LAJAS	%DESGASTE	% LAJAS	%DESGASTE	% LAJAS	%DESGASTE
0	20,25	0	21,78	0	36,16
25	23,5	25	22,33	25	37,8
50	25,86	50	24,46	50	39,1
75	26,87	75	27,52	75	41,2
100	28,73	100	29,17	100	43,8

CALAMA		CARUSLA	
% LAJAS	%DESGASTE	% LAJAS	%DESGASTE
0	21,59	0	17,32
25	24,12	25	18,59
50	25,28	50	19,41
75	29,33	75	21,16
100	32,11	100	22,12

TABLA 3.7. Resultados de Investigación de Desgaste de material Combinado

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

3.7. RELACIÓN LAJOSIDAD - DESGASTE

➤ CONDICIÓN NATURAL

En los siguientes gráficos mostramos las variaciones que tienen los cinco bancos respecto a la Lajosidad y al Desgaste de los materiales en su estado natural.

• Material 3/4” Grueso.-

Con los datos de la Tabla 3.4 realizamos los siguientes Histogramas:

PROCEDENCIA	% DESGASTE
Carusla	19,25
Calama	25,78
Alcaldía	38,3
Sedeca	24,03
Erika	23,4

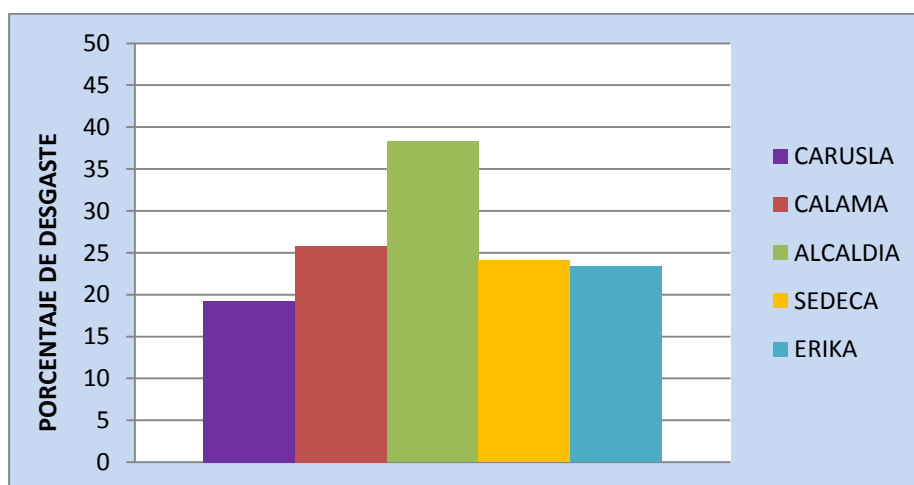


FIGURA 3.37. Histograma de Desgaste de los Ángeles

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

PROCEDENCIA	% LAJAS
Carusla	21,35
Calama	38,63
Alcaldía	30,4
Sedeca	36,27
Erika	30,21

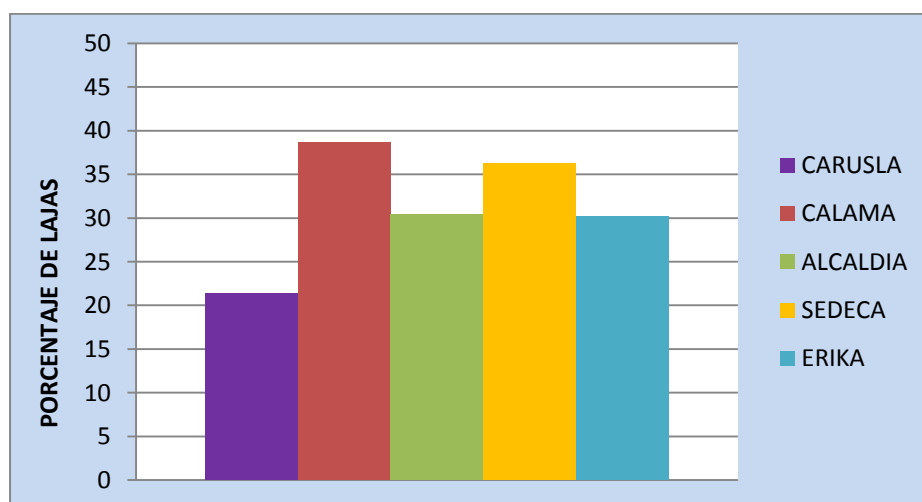


FIGURA 3.38. Histograma de Lajosidad.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

En los Histogramas anteriores (Figura 3.37 y Figura 3.38) que corresponden a los materiales gruesos 3/4” de los bancos en estudio se puede evidenciar que no hay una correlación entre los diferentes bancos en su estado natural ya que cada uno tiene distintos valores de desgaste y lajosidad con respecto al otro, observándose un desgaste máximo en el banco de la Pintada Alcaldía con un valor de 38.30% y una lajosidad máxima en el banco de Calama de 38.63%, y el desgaste mínimo en el banco de Carusla de O.A.S. con 19.25% y la lajosidad mínima en el banco de Carusla de O.A.S. con 21.35%.

- **Material 3/8” Intermedio.**

Con los datos de la Tabla 3.4 realizamos los siguientes Histogramas:

MATERIAL INTERMEDIO	
PROCEDENCIA	% DESGASTE
Carusla	18,24
Calama	27,1
Alcaldía	36,4
Sedeca	23,7
Erika	22,1

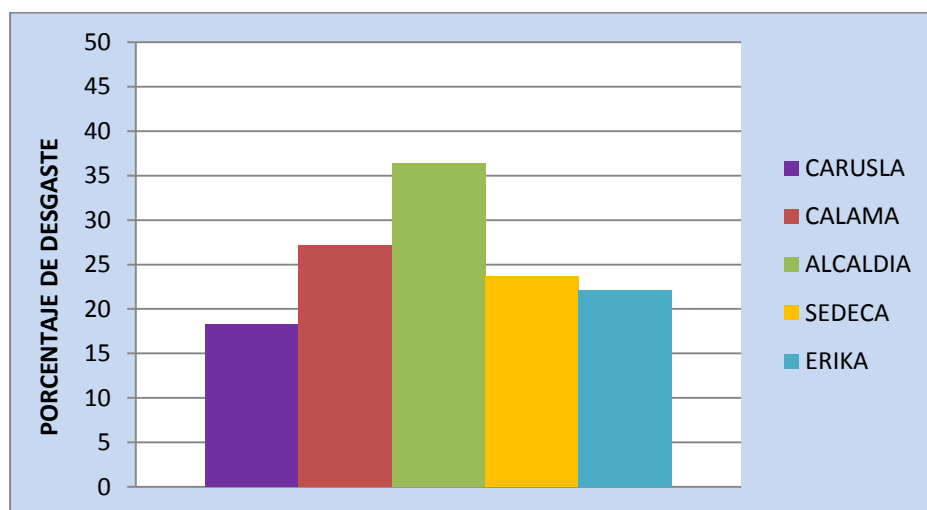


FIGURA 3.39. Histograma de Desgaste de los Ángeles

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

PROCEDENCIA	% LAJAS
Carusla	19,35
Calama	39,27
Alcaldía	31,22
Sedeca	35,96
Erika	29,2

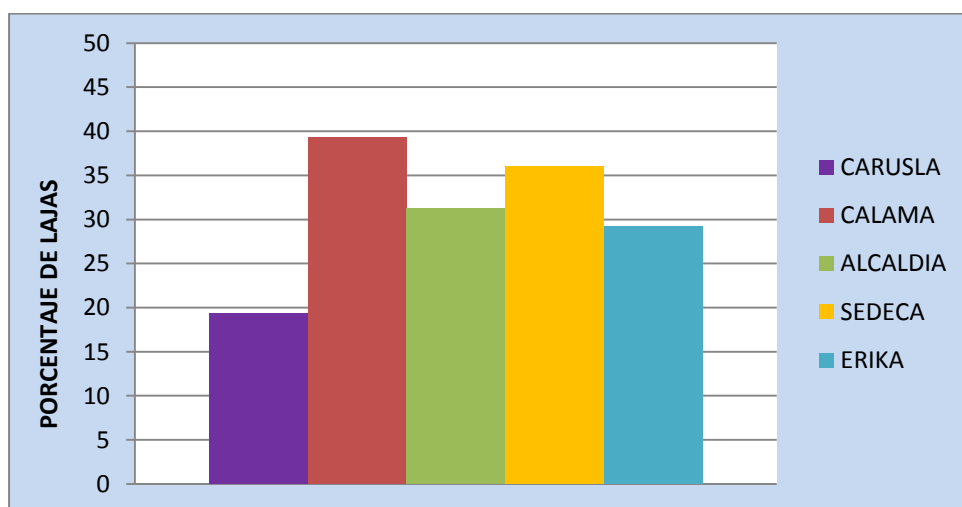


FIGURA 3.40. Histograma de Lajosidad.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

En los histogramas para el material Intermedio (Figura 3.39 y Figura 3.40) podemos apreciar que tampoco tienen una correlación entre si en su estado natural, siendo el banco de la Alcaldía el que tiene mayor desgaste con un valor de 36.64% y el banco de Calama O.A.S. tiene el mayor índice de Lajosidad con un valor de 39.27%, para los valores mínimos tenemos al banco de Carusla O.A.S. con un valor de desgaste de 18.24% y al banco de Carusla O.A.S. con un valor de 19.35%.

- **Material Combinado.**

Con los datos de la Tabla 3.4 realizamos los siguientes Histogramas:

PROCEDENCIA	% DESGASTE
Carusla	19,58
Calama	26,66
Alcaldia	37,1
Sedeca	24,6
Erika	24,2

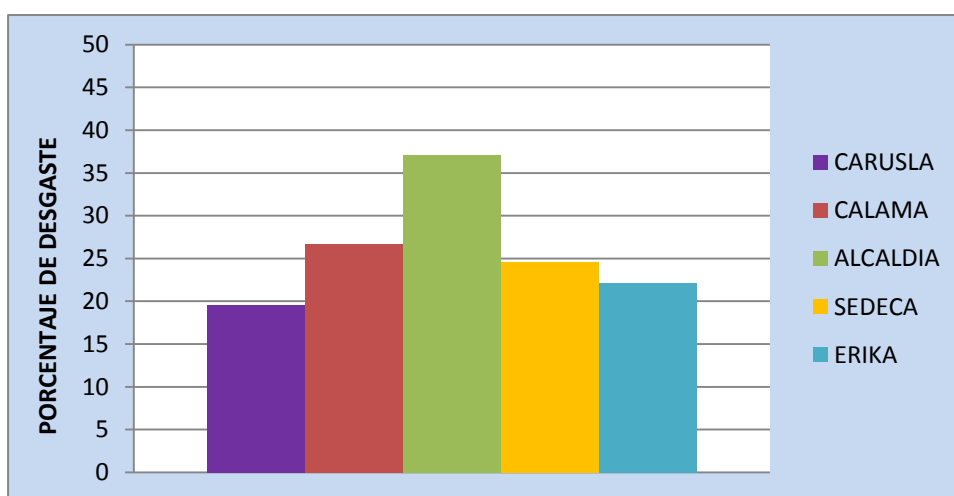


FIGURA 3.41. Histograma de Desgaste de los Ángeles

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

PROCEDENCIA	% LAJAS
Carusla	22,15

Calama	38,87
Alcaldia	33,35
Sedeca	37,12
Erika	31,83

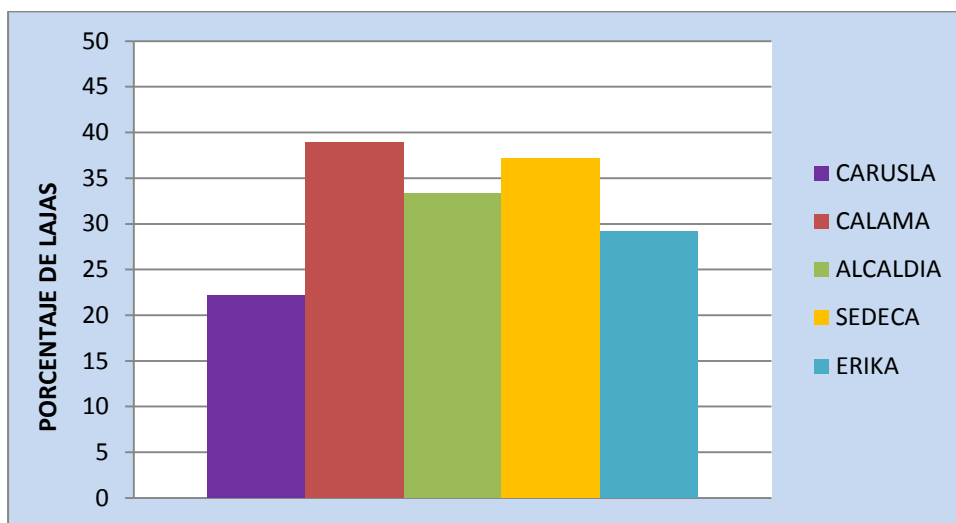


FIGURA 3.42. Histograma de Lajosidad.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

De la misma forma para los histogramas para el material Combinado (Figura 3.41 y Figura 3.42) podemos apreciar que no tienen una correlación entre bancos en su estado natural, que de la misma forma que en los histogramas anteriores para el material denominado combinado el banco de la Alcaldía es el que tiene mayor desgaste con un valor de 37.10% y el banco de Calama O.A.S. tiene el mayor índice de Lajosidad con un valor de 38.87%, para los valores mínimos tenemos al banco de Carusla O.A.S. con un valor de desgaste de 19.58% y al banco de Carusla O.A.S. con un valor de 22.15%.

➤ **RELACIONES POR BANCO**

Con los resultados obtenidos en el proceso de investigación (Tablas 3.5, 3.6 y 3.7) graficamos los resultados para así poder entender el comportamiento y encontrar la relación entre el desgaste y la lajosidad los Tamaños estudiados.

BANCO DE TACUARA EMPRESA “ERIKI”

- **Material grueso.**

% LAJAS	%DESGASTE
0	20,33
50	26,32
100	29,68

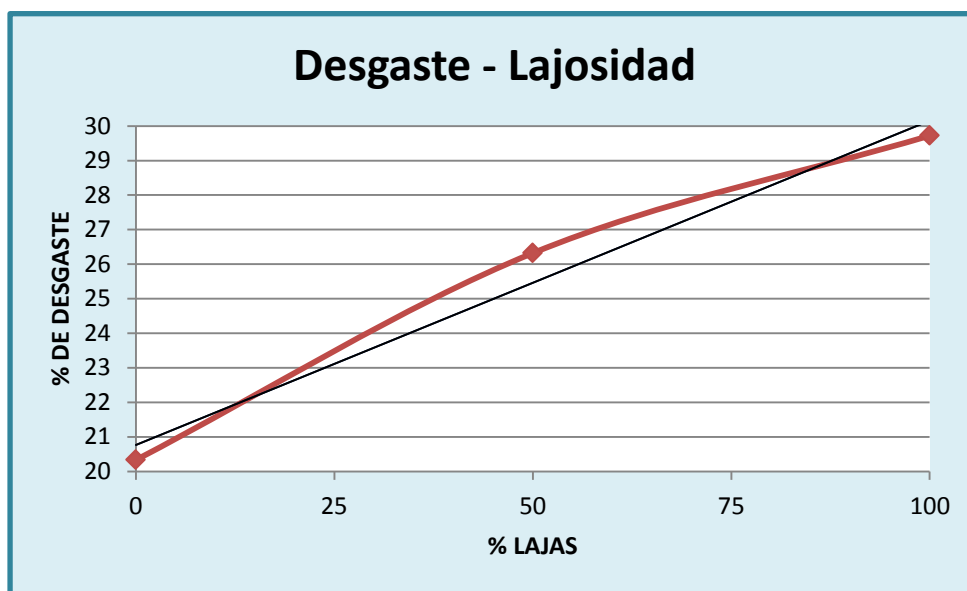


FIGURA 3.43. Relación material Grueso ERIKA.

Fuente: ELABORACION PROPIA

$$Y = 0,0935x + 20,768$$

$$R^2 = 0,9743$$

En la gráfica (Figura 3.43) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 29.68% y un valor mínimo de 20.33%, con un incremento en el desgaste del 45.99%.

- **Material intermedio.-**

% LAJAS	%DESGASTE
---------	-----------

0	20,12
50	25,12
100	26,74

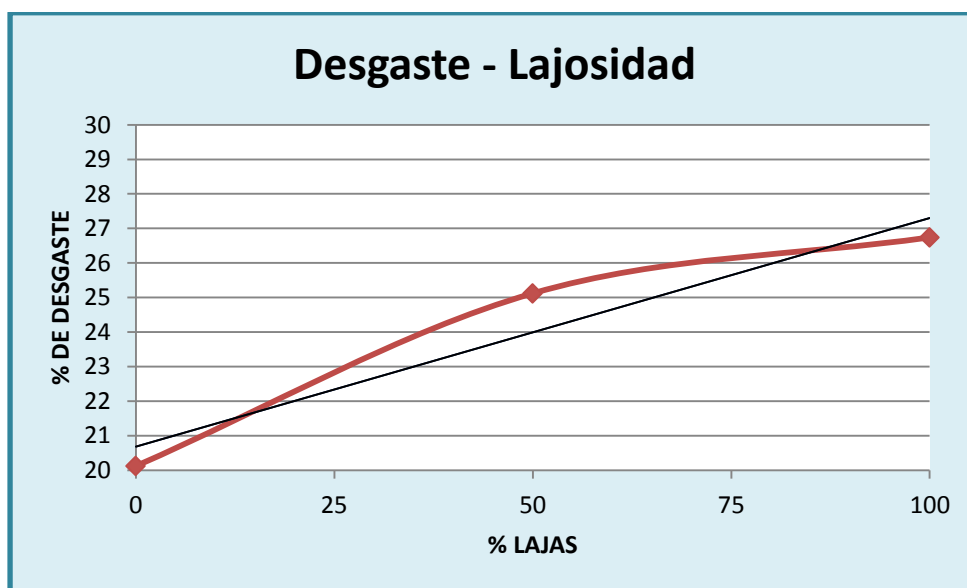


FIGURA 3.44. Relación material Intermedio ERIKA.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0662x + 20,683$$

$$R^2 = 0,9201$$

En la gráfica (Figura 3.44) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 26.74% y un valor mínimo de 20.12%, con un incremento en el desgaste del 32.90%.

- **Material combinado.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	20,25
25	23,5
50	25,86
75	26,87

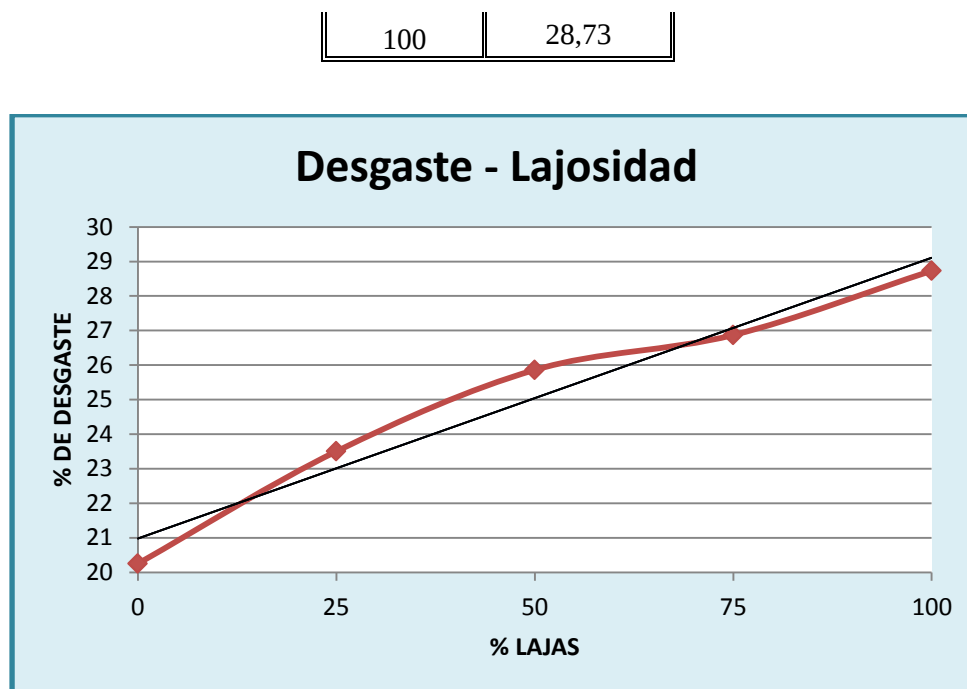


FIGURA 3.45. Relación material Combinado ERIKA.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0813x + 20,976$$

$$R^2 = 0,9622$$

En la gráfica (Figura 3.44) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 28.73% y un valor mínimo de 20.25%, con un incremento en el desgaste del 41.88%.

BANCO DE CHARAJA DEL SE.DE.CA.

- **Material grueso.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	21,74
50	25,78
100	29,68

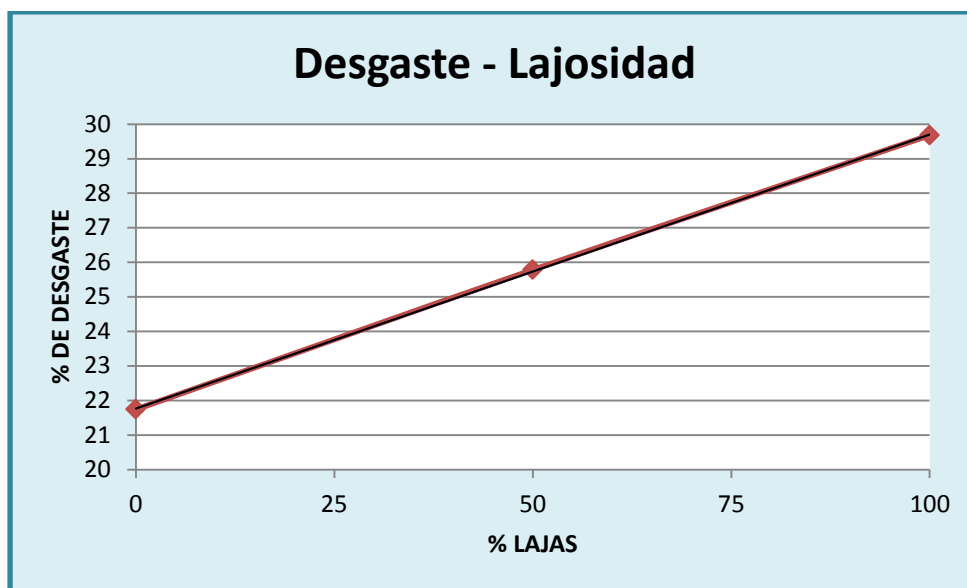


FIGURA 3.46. Relación material Grueso SE.DE.CA.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0794x + 21,763$$

$$R^2 = 0,9999$$

En la gráfica (Figura 3.46) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 29.68% y un valor mínimo de 21.74%, con un incremento en el desgaste del 36.70%.

- **Material intermedio.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	21,95
50	24,17
100	25,31

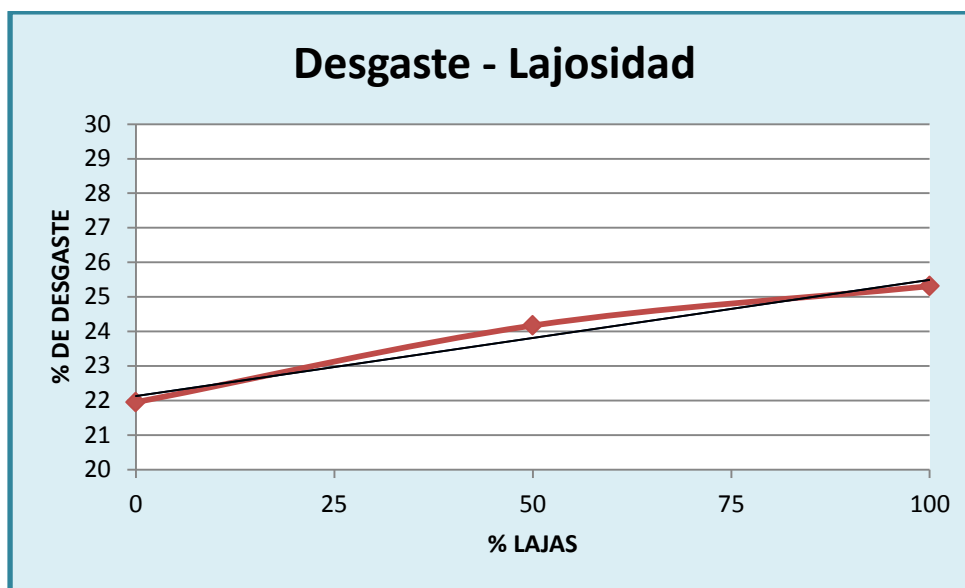


FIGURA 3.47. Relación material Intermedio SE.DE.CA.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0336x + 22,13$$

$$R^2 = 0,9667$$

En la gráfica (Figura 3.47) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 25.31% y un valor mínimo de 21.95%, con un incremento en el desgaste del 15.30%.

- **Material combinado.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	21,78
25	22,33
50	24,46
75	27,52
100	29,17

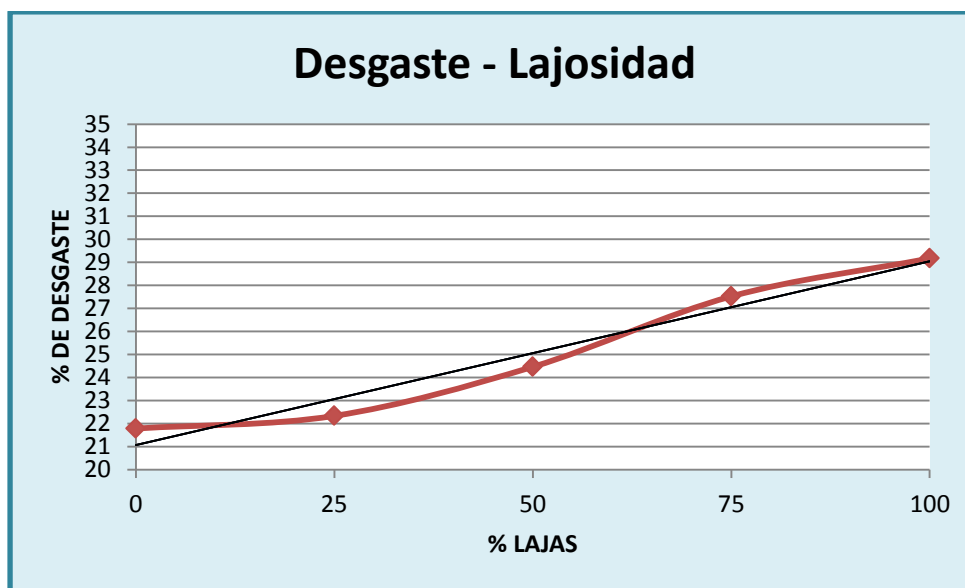


FIGURA 3.48. Relación material Combinado SE.DE.CA.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0799x + 21,058$$

$$R^2 = 0,9606$$

En la gráfica (Figura 3.48) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la Lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 29.17% y un valor mínimo de 21.78%, con un incremento en el desgaste del 33.93%.

BANCO DE LA PINTADA ALCALDÍA

- **Material grueso.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	36,2
50	39,4
100	45,3

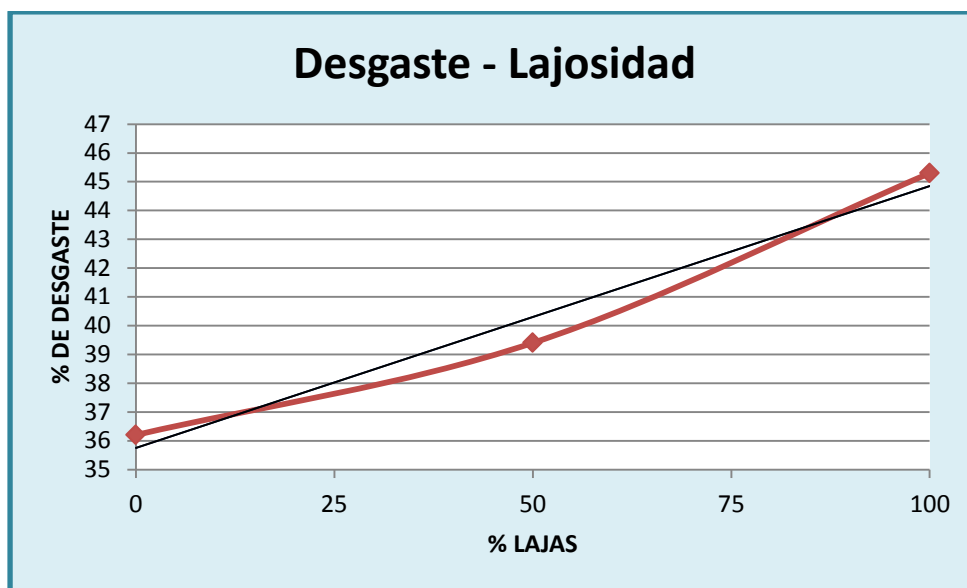


FIGURA 3.49. Relación material Grueso Alcaldía

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,091x + 35,75$$

$$R^2 = 0,9715$$

En la gráfica (Figura 3.49) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la Lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 45.30% y un valor mínimo de 36.20%, con un incremento en el desgaste del 25.14%.

- **Material intermedio.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	35,91
50	38,32
100	42,3

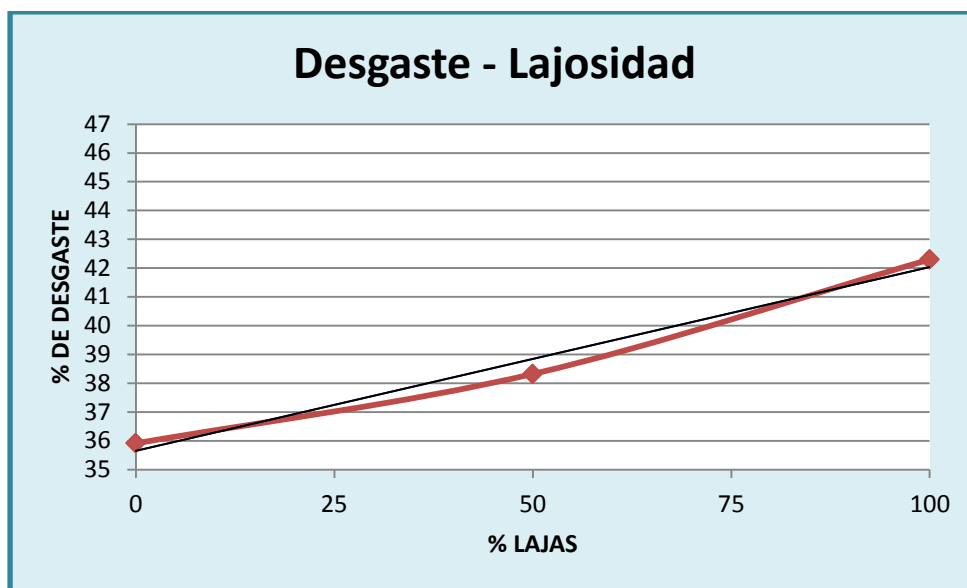


FIGURA 3.50. Relación material Intermedio Alcaldía

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0639x + 35,648$$

$$R^2 = 0,9803$$

En la gráfica (Figura 3.50) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 42.30% y un valor mínimo de 35.91%, con un incremento en el desgaste del 17.79%.

- **Material combinado.**

% LAJAS	%DESGASTE
0	36,16
25	37,8
50	39,1
75	41,2
100	43,8

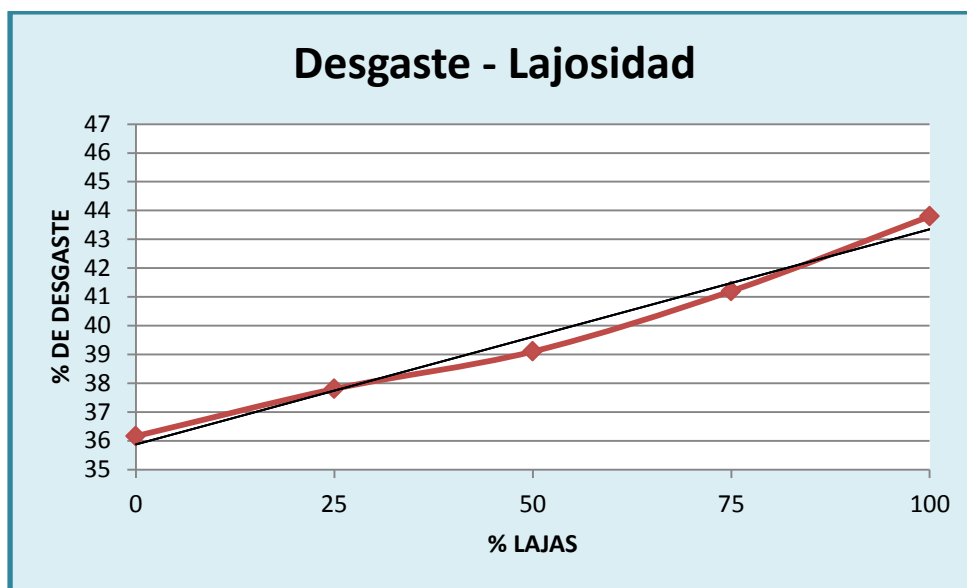


FIGURA 3.51. Relación material Combinado Alcaldía

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0747x + 35,876$$

$$R^2 = 0,9823$$

En la gráfica (Figura 3.51) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la Lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 43.80% y un valor mínimo de 36.16%, con un incremento en el desgaste del 21.13%.

BANCO DE CALAMA O.A.S.

- **Material grueso.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	21,63
50	26,34
100	32,5

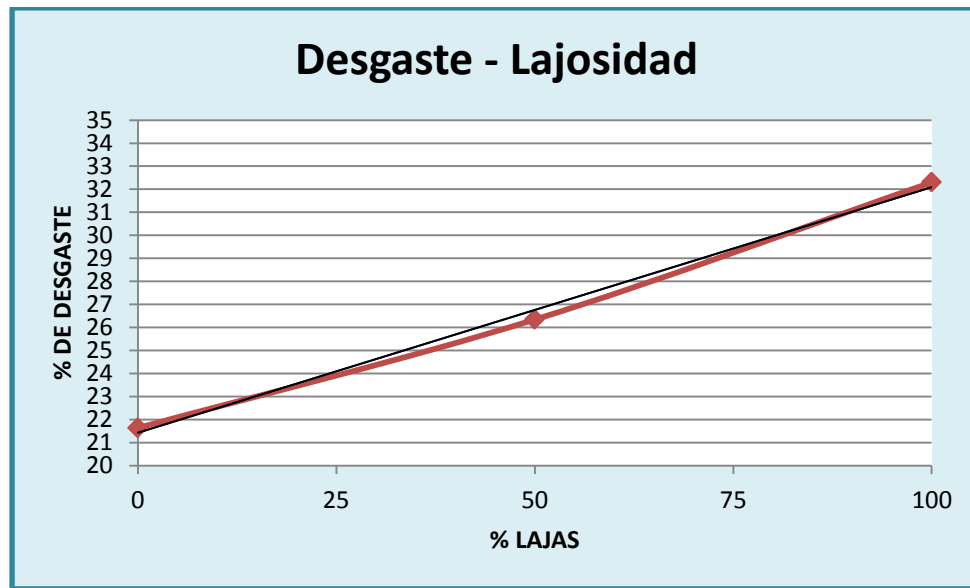


FIGURA 3.52. Relación material Grueso Calama

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,1087x + 21,388$$

$$R^2 = 0,9941$$

En la gráfica (Figura 3.52) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 32.5% y un valor mínimo de 21.63%, con un incremento en el desgaste del 50.25%.

- **Material intermedio.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	20,95
50	25,16
100	31,44

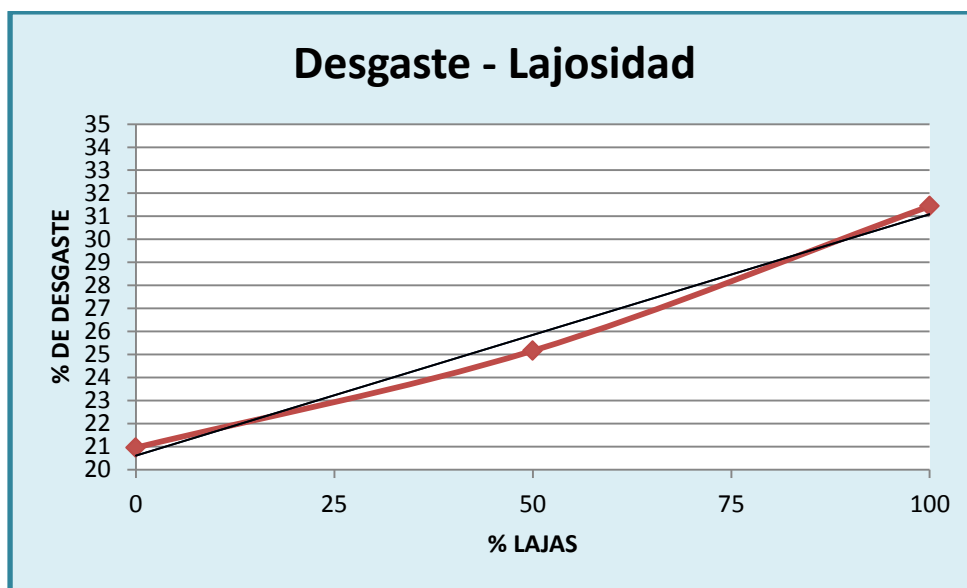


FIGURA 3.53. Relación material Intermedio Calama

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,1049x + 20,605$$

$$R^2 = 0,9872$$

En la gráfica (Figura 3.52) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 31.44% y un valor mínimo de 20.95%, con un incremento en el desgaste del 50.07%.

- **Material combinado.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	21,59
25	24,12
50	25,28
75	29,33
100	32,11

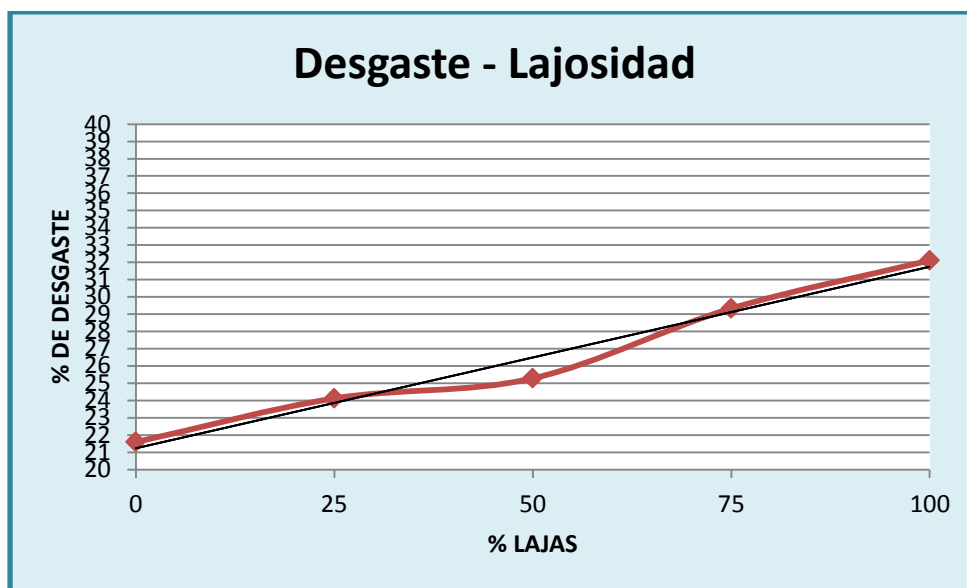


FIGURA 3.54. Relación material Combinado Calama

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,105x + 21,236$$

$$R^2 = 0,9741$$

En la gráfica (Figura 3.54) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 32.11% y un valor mínimo de 21.59%, con un incremento en el desgaste del 48.73%.

BANCO DE CARUSLA EMPRESA O.A.S.

- **Material grueso.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	17,59
50	19,54
100	22,65

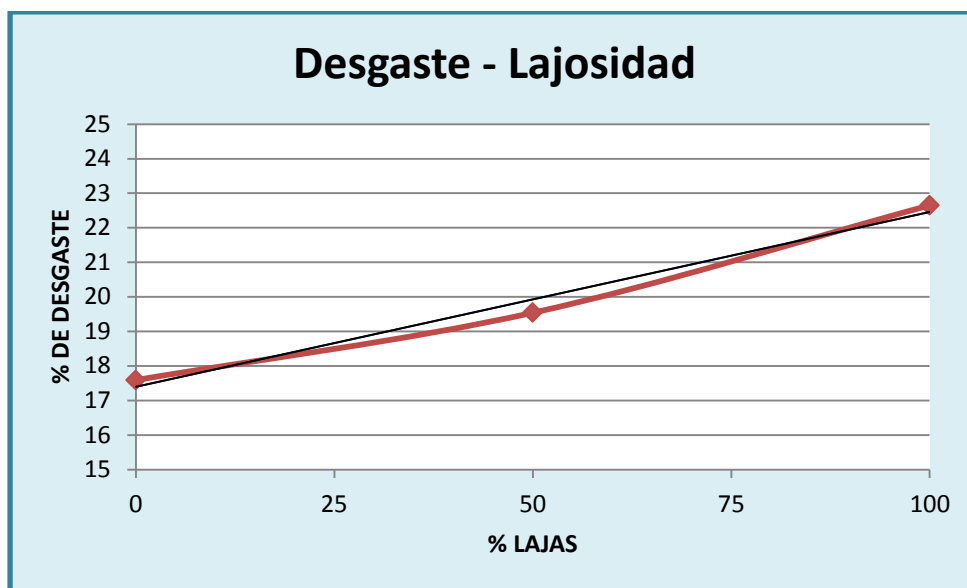


FIGURA 3.55. Relación material Grueso Carusla

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0506x + 17,397$$

$$R^2 = 0,9828$$

En la gráfica (Figura 3.55) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 22.65% y un valor mínimo de 17.59%, con un incremento en el desgaste del 28.77%.

- **Material intermedio.-**

% LAJAS	%DESGASTE
0	16,58
50	18,98
100	20,45

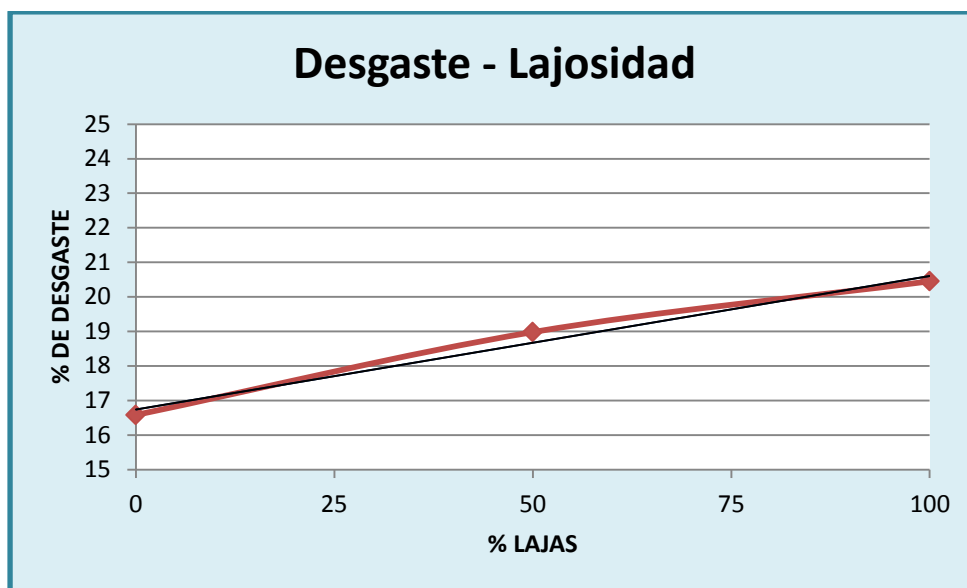


FIGURA 3.56. Relación material Intermedio Carusla

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0387x + 16,735$$

$$R^2 = 0,9811$$

En la gráfica (Figura 3.56) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 20.45% y un valor mínimo de 16.58%, con un incremento en el desgaste del 23.34%.

Material combinado.-

% LAJAS	%DESGASTE
0	17,32
25	18,59
50	19,41
75	21,16
100	22,12

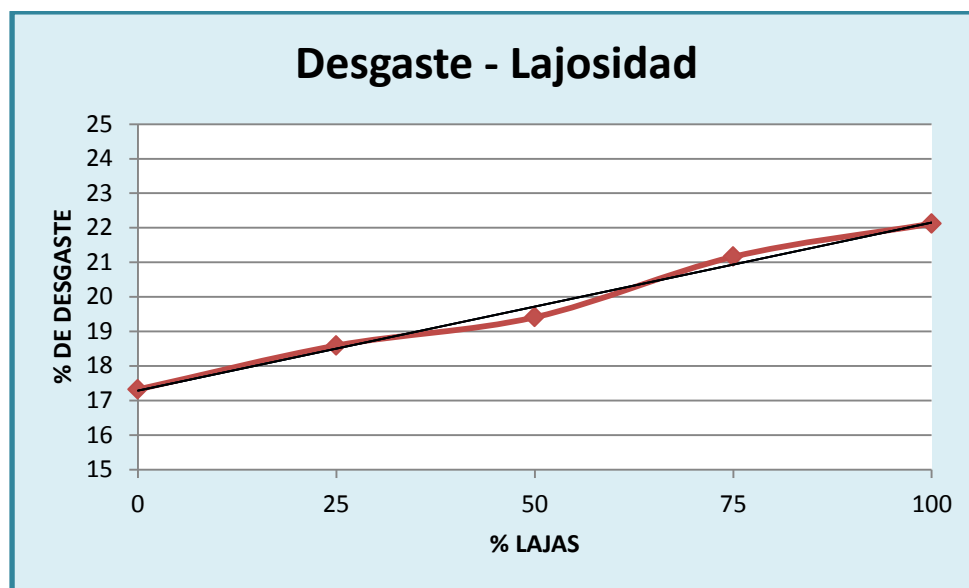


FIGURA 3.57. Relación material Combinado Carusla

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

$$Y = 0,0487x + 17,286$$

$$R^2 = 0,9896$$

En la gráfica (Figura 3.57) se puede observar una relación positiva ascendente, la relación entre el desgaste y la lajosidad tiene una tendencia lineal observando un desgaste con un valor máximo de 22.12% y un valor mínimo de 17.32%, con un incremento en el desgaste del 27.71%.

○ **RELACIÓN ENTRE BANCOS.-**

En esta parte de la investigación realizamos la correlación de los materiales de los bancos estudiados por su tamaño buscando un coeficiente de determinación aceptable, para ello tuvimos que eliminar puntos alejados, estas correlaciones se muestran a continuación:

- **Correlación entre bancos de Material Grueso 3/4".**

En el primer grafico mostramos la variación de los resultados obtenidos por medio de los ensayos mostrados en la Tabla 3.5, esta grafica nos ayuda a tener una referencia para la realización de la correlación.

BANCO	ERIKA	SEDECA	ALCALDÍA	CALAMA	CARUSLA
% LAJAS	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE
0	20,33	21,74	36,2	21,63	17,59
50	26,32	25,78	39,4	26,34	19,54
100	29,68	29,72	45,3	32,5	22,65

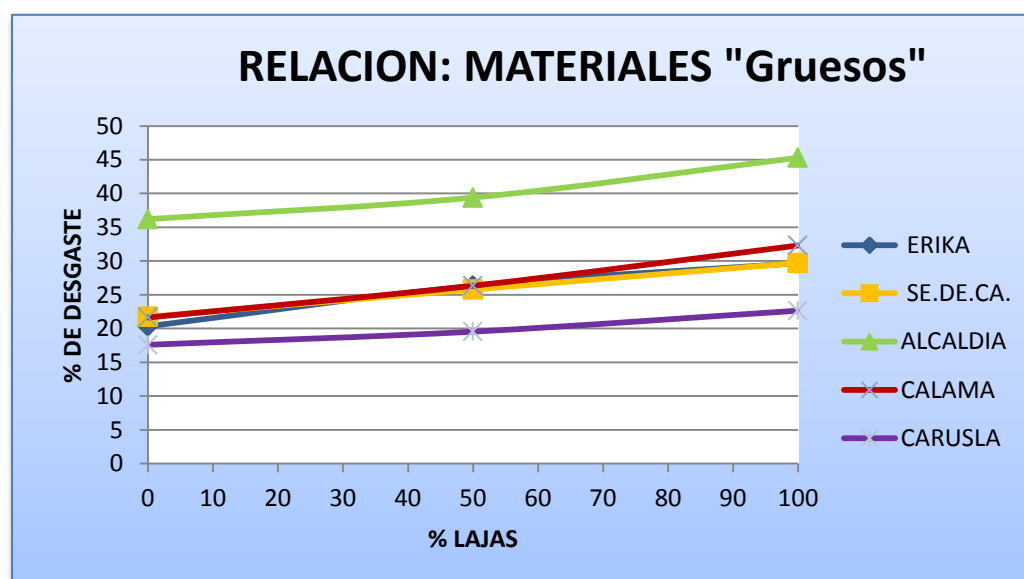


FIGURA 3.58. Relación de Materiales Gruesos

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Como se puede observar en la anterior grafica (Figura 3.58) los puntos del banco de la pintada Alcaldía y los puntos del banco de Carusla, se encuentran alejados de la mayoría de los puntos obtenidos, esto influye en la obtención de una correlación para un coeficiente de determinación aceptable, por este motivo tuvimos que eliminar dichos puntos (Marcados con rojo) como se muestra en la siguiente gráfica:

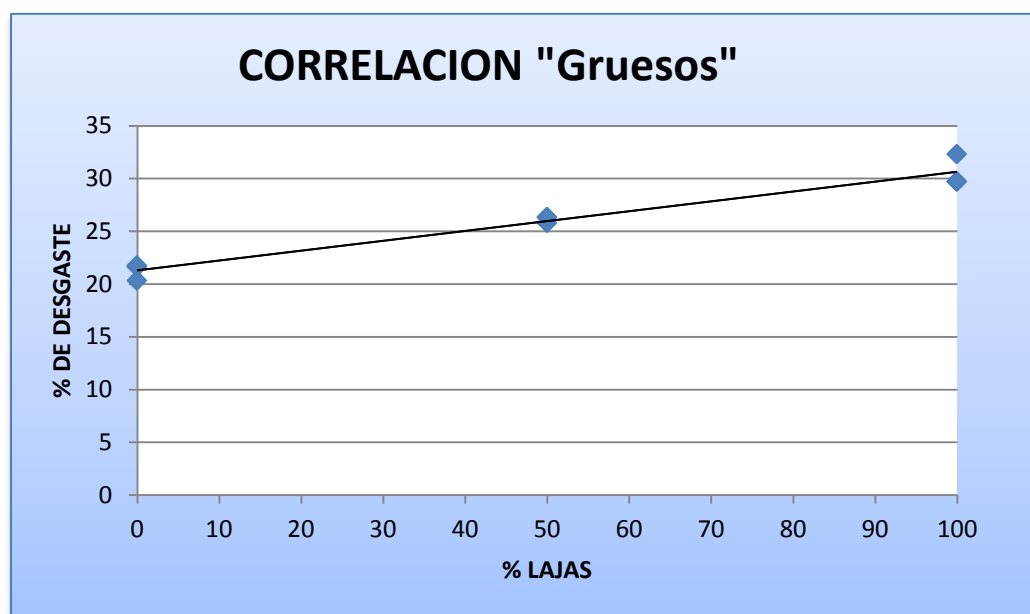


FIGURA 3.59. Correlación de materiales Gruesos

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

En la gráfica de correlación de materiales gruesos (Figura 3.59) se puede observar que se tiene una tendencia lineal positiva la cual tiene un coeficiente de correlación R igual a 0.9754 y un coeficiente de determinación R^2 igual a 0.9515 lo que significa que la correlación es buena y que brindara datos confiables.

La ecuación obtenida en la correlación es la siguiente:

$$Y = 0,094x + 21,304$$

$$R^2 = 0,9515$$

- **Correlación entre bancos de Material Intermedio 3/8".**

En el primer grafico mostramos la variación de los resultados obtenidos por medio de los ensayos mostrados en la Tabla 3.6, esta grafica nos ayuda a tener una referencia para la realización de la correlación.

BANCO	ERIKA	SEDECA	ALCALDÍA	CALAMA	CARUSLA
% LAJAS	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE

0	20,12	21,95	35,91	20,95	16,58
50	25,12	24,17	38,32	25,16	18,98
100	26,74	25,31	42,3	31,44	20,45

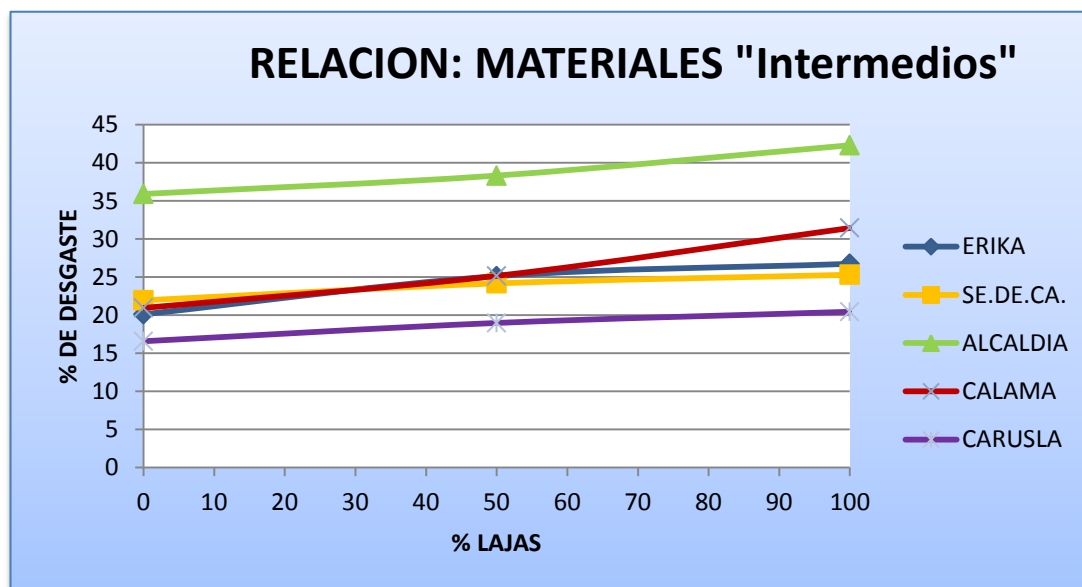


FIGURA 3.60. Relación de materiales Intermedios

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Se puede observar en la anterior grafica (Figura 3.60) que al igual que en los materiales gruesos los puntos del banco de la pintada Alcaaldía y los puntos del banco de Carusla, se encuentran alejados de la mayoría de los puntos obtenidos, esto influye en la obtención de una correlación para un coeficiente de determinación aceptable, por este motivo tuvimos que eliminar dichos puntos (Marcados con rojo) como se muestra en la siguiente gráfica:

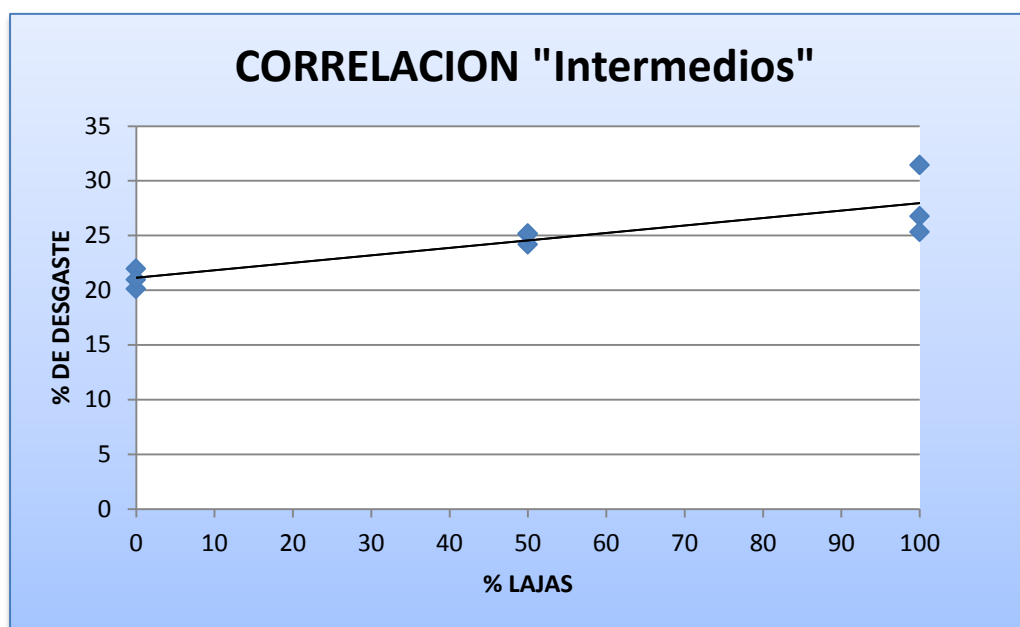


FIGURA 3.61. Correlación de materiales Intermedios

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

En la gráfica de correlación de materiales Intermedios (Figura 3.61) se puede observar que se tiene una tendencia lineal positiva la cual tiene un coeficiente de correlación R igual a 0.8664 y un coeficiente de determinación R^2 igual a 0.7507 lo que significa que la correlación es buena y que brindara datos confiables.

La ecuación obtenida en la correlación es la siguiente:

$$Y = 0,0682x + 21,139$$

$$R^2 = 0,7507$$

- **Correlación entre bancos de Material Combinado.**

En el primer grafico mostramos la variación de los resultados obtenidos por medio de los ensayos mostrados en la Tabla 3.6, esta grafica nos ayuda a tener una referencia para la realización de la correlación.

BANCO	ERIKA	SEDECA	ALCALDÍA	CALAMA	CARUSLA
% LAJAS	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE
0	20,25	21,78	36,16	21,59	17,32
25	23,5	22,33	37,8	24,12	18,59
50	25,86	24,46	39,1	25,28	19,41
75	26,87	27,52	41,2	29,33	21,16
100	28,73	29,17	43,8	32,11	22,12

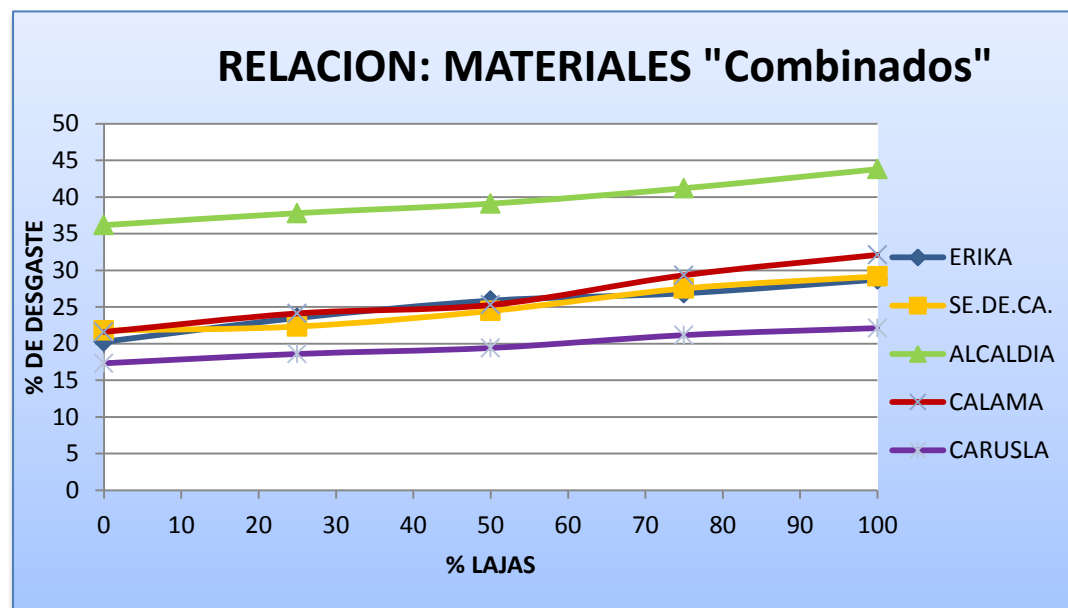


FIGURA 3.62. Relación de materiales Combinados

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Se puede observar en la anterior grafica (Figura 3.62) que al igual que los resultados de los anteriores materiales los puntos del banco de la pintada Alcaldía y los puntos del banco de Carusla, se encuentran alejados de la mayoría de los puntos obtenidos, esto influye en la obtención de una correlación para un coeficiente de determinación

aceptable, por este motivo tuvimos que eliminar dichos puntos (Marcados con rojo) como se muestra en la siguiente gráfica:

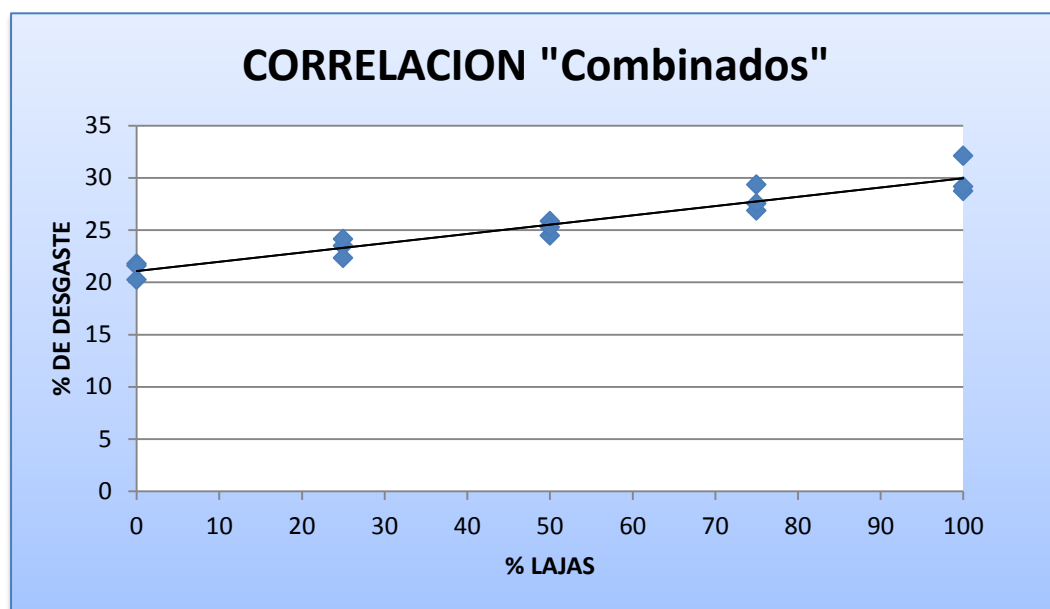


FIGURA 3.63. Correlación de materiales Combinados

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

En la gráfica de correlación de materiales Combinados (Figura 3.63) se puede observar que se tiene una tendencia lineal positiva la cual tiene un coeficiente de correlación R igual a 0.9543 y un coeficiente de determinación R^2 igual a 0.9107 lo que significa que la correlación es buena y que brindara datos confiables.

La ecuación obtenida en la correlación es la siguiente:

$$Y = 0,0887x + 21,09$$

$$R^2 = 0,9107$$

❖ **Correlación General.**

Para esta correlación utilizamos todos los resultados obtenidos en la investigación, es decir, los resultados de los materiales denominados gruesos

3/4” , Intermedios 3/8” y Combinados (Tablas 3.5, 3.6 y 3.7) para así poder obtener una correlación representativa para todos los cortes estudiados.

RESULTADOS GRUESOS 3/4”

BANCO	ERIKA	SEDECA	CALAMA
% LAJAS	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE
0	20,33	21,74	21,63
50	26,32	25,78	26,34
100	29,68	29,72	32,3

RESULTADOS INTERMEDIOS 3/8”

BANCO	ERIKA	SEDECA	CALAMA
% LAJAS	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE
0	20,12	21,95	20,95
50	25,12	24,17	25,16
100	26,74	25,31	31,44

RESULTADOS COMBINADOS

BANCO	ERIKA	SEDECA	CALAMA
% LAJAS	% DESGASTE	% DESGASTE	% DESGASTE
0	20,25	21,78	21,59
25	23,5	22,33	24,12
50	25,86	24,46	25,28
75	26,87	27,52	29,33
100	28,73	29,17	32,11

Para obtener la correlación general tuvimos que eliminar los resultados de los bancos de la Pintada Alcaldía y los de Carusla O.A.S. como lo hicimos anteriormente.

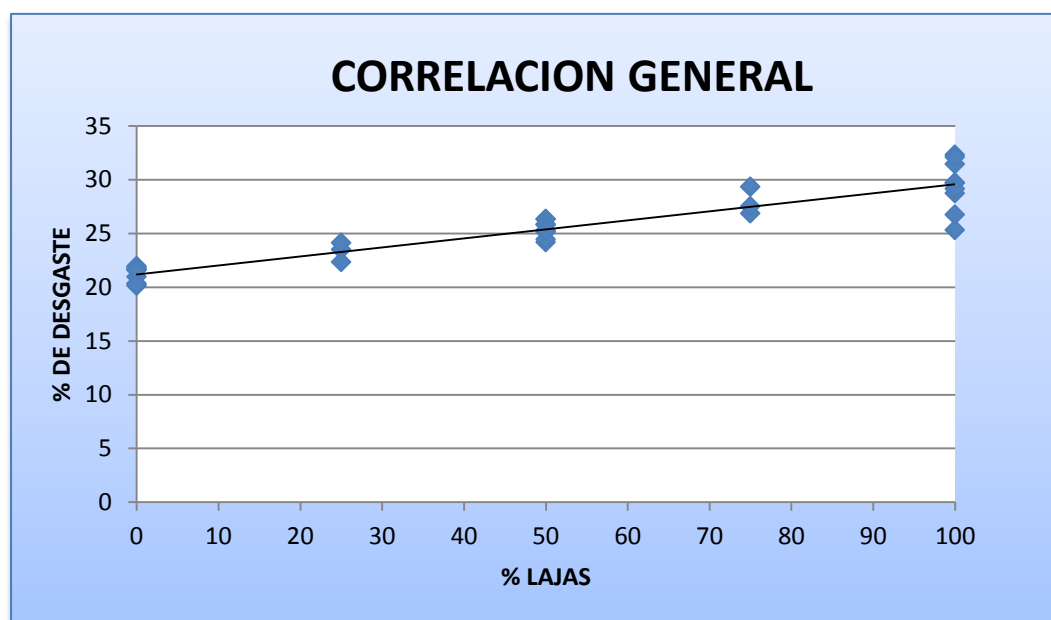


FIGURA 3.64. Correlación General de Materiales

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

En la gráfica de correlación General (Figura 3.64) se puede observar que al igual que las anteriores correlaciones se tiene una tendencia lineal positiva la cual tiene un coeficiente de correlación R igual a 0.9227 y un coeficiente de determinación R^2 igual a 0.8514 lo que significa que la correlación es buena y que brindara datos confiables.

La ecuación obtenida en la Correlación General es la siguiente:

$$Y = 0,084x + 21,189$$

$$R^2 = 0,8514$$

3.8. Análisis de Resultados.-

- **Análisis de los resultados de las muestras en su estado Natural.**

- Se puede observar que en los Histogramas obtenidos con los resultados de los ensayos de Lajosidad y Desgaste de los Ángeles realizados a las muestras de los bancos en su estado natural no se distingue una relación o correlación entre ellos, vale decir que cada uno obedece a un porcentaje de Lajosidad y Desgaste independientemente del otro, esto se puede evidenciar viendo que el mayor porcentaje de Desgaste en los tres Histogramas realizados (Figura 3.37 ; Figura 3.39 ; Figura 3.41) no lo tiene el banco con mayor porcentaje de Lajosidad.
 - En los Histogramas de Lajosidad y Desgaste en los materiales Gruesos 3/4" (Figura 3.37 y Figura 3.38) se puede observar que el desgaste máximo en el banco de la Pintada Alcaldía con un valor de 38.30% y una lajosidad máxima en el banco de Calama de 38.63%, y el el desgaste mínimo en el banco de Carusla de O.A.S. con 19.25% y la lajosidad mínima en el banco de Carusla de O.A.S. con 21.35%.
 - En los histogramas para el material Intermedio (Figura 3.39 y Figura 3.40) se puede apreciar que el banco de la Alcaldía es el que tiene mayor desgaste con un valor de 36.64% y el banco de Calama O.A.S. tiene el mayor índice de Lajosidad con un valor de 39.27%, para los valores mínimos tenemos al banco de Carusla O.A.S. con un valor de desgaste de 18.24% y al banco de Carusla O.A.S. con un valor de 19.35%.
 - De la misma forma en los Histogramas para el material Combinado (Figura 3.41 y Figura 3.42), se puede observar que el banco de la Alcaldía es el que tiene mayor desgaste con un valor de 37.10% y el banco de Calama O.A.S. tiene el mayor índice de Lajosidad con un valor de 38.87%, para los valores mínimos tenemos al banco de Carusla O.A.S. con un valor de desgaste de 19.58% y al banco de Carusla O.A.S. con un valor de 22.15%.

➤ **Análisis de los resultados obtenidos en la investigación.**

- En las gráficas obtenidas con los resultados de los materiales de tamaño grueso 3/4", Intermedio 3/8" y Combinado que se estudiaron por banco (Figura 3.43 a la Figura 3.57) se destaca lo siguiente:

Se puede observar que en todos los casos la relación entre el desgaste y la lajosidad es de forma lineal la cual tiene una tendencia positiva ascendente lo que significa que a medida que se aumenta el porcentaje de Lajas aumenta el desgaste.

- En las gráficas de los tamaños Gruesos 3/4" (Figuras: 3.43; 3.46; 3.49; 3.52; 3.55), se puede observar los incrementos en el desgaste con el aumento de los índices o porcentajes de Lajas, los cuales varían desde un 25.14% como mínimo y hasta 50.25% como máximo.
- De la misma manera en las gráficas de los tamaños Intermedio 3/8" (Figuras: 3.44; 3.47; 3.50; 3.53; 3.56), se puede observar los incrementos en el desgaste con el aumento de los índices o porcentajes de Lajas, los cuales varían desde un 15.31% como mínimo y hasta 50.07% como máximo.
- En las gráficas de los materiales Combinados (Figuras: 3.45; 3.48; 3.51; 3.54; 3.57), se puede observar los incrementos en el desgaste con el aumento de los índices o porcentajes de Lajas, los cuales varían desde un 21.13% como mínimo y hasta 48.73% como máximo.
- Para las Correlaciones que se hicieron entre los diferentes bancos (Figura 3.58 a la Figura 3.64) se destaca lo siguiente:
 - En la correlación hecha a los materiales Gruesos 3/4" (Figura 3.59) se consiguió los siguientes resultados:

La ecuación estimada para la relación Desgaste-Lajosidad es la siguiente:

$$Y = 0,094x + 21,304$$

Esta relación tiene un coeficiente de correlación expresado en porcentaje de 97.54% el cual indica una fuerte relación positiva y un coeficiente de

Determinación de 0.9515 que significa que se explica el 95.15% de la variación total.

- En la correlación hecha a los materiales Intermedios 3/8" (Figura 3.61) se consiguió los siguientes resultados:

La ecuación estimada para la relación Desgaste-Lajosidad es la siguiente:

$$Y = 0,0682x + 21,139$$

Esta relación tiene un coeficiente de correlación expresado en porcentaje de 86.64% el cual indica una fuerte relación positiva y un coeficiente de Determinación de 0.7507 que significa que se explica el 75.07% de la variación total.

- En la correlación hecha a los materiales Combinados (Figura 3.63) se pudo consiguió los siguientes resultados:

La ecuación estimada para la relación Desgaste-Lajosidad es la siguiente:

$$Y = 0,0887x + 21,09$$

Esta relación tiene un coeficiente de correlación expresado en porcentaje de 95.43% el cual indica una fuerte relación positiva y un coeficiente de Determinación de 0.9107 que significa que se explica el 91.07% de la variación total.

- En la Correlación General de Lajosidad y Desgaste (Figura 3.64) se pudo consiguió los siguientes resultados:

La ecuación estimada para la relación Desgaste-Lajosidad es la siguiente:

$$Y = 0,084x + 21,189$$

Esta relación tiene un coeficiente de correlación expresado en porcentaje de 92.27% el cual indica al igual que en los anteriores casos una fuerte relación positiva, en esta relación se cuenta con un coeficiente de Determinación de 0.8514 que significa que se explica el 85.14% de la variación total.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.-

- Los materiales utilizados para la investigación provienen de 5 bancos de préstamo que son los más utilizados en la provisión de materiales para su utilización en obras viales.
- En los ensayos preliminares realizados a las muestras estudiadas se concluye que tienen un distinto origen y por lo tanto su comportamiento ante la abrasión es diferente y no existe ninguna relación entre materiales sobre su similitud de comportamiento.
- Los porcentajes de lajosidad de un agregado aumentan con el tamaño de las partículas en su mayoría, es decir, que las fracciones que son de mayor tamaño presentaron un porcentaje de partículas lajosas mayor que las de menor tamaño, esto se pudo observar al realizar el ensayo de lajosidad en el cual se tienen que sacar porcentajes parciales por fracciones para así poder realizar una ponderación para obtener el índice final de todo el agregado.
- Se concluye que no existe una correlación entre los indicadores de desgaste por abrasión y lajosidad entre materiales, es decir, no existe una relación directa entre el desgaste por abrasión y la lajosidad para distintos materiales, pero si existe una relación para un mismo material con diferentes porcentajes de lajosidad, esto se puede apreciar claramente en las Figuras 3.58 ; 3.60 ; 3.62.
- En la investigación se pudo observar que la influencia de la lajosidad en el Desgaste de los Ángeles es marcada ya que el índice de desgaste de los Ángeles aumenta con el aumento del porcentaje de lajosidad en todas las muestras de los diferentes bancos de préstamos estudiados en esta investigación.
- La relación entre el porcentaje de lajosidad y el índice de Desgaste de los Ángeles en todos los casos es en forma lineal la cual tiene una tendencia positiva ascendente

lo que significa que a medida que se aumenta el porcentaje de Lajas en el material aumenta su desgaste, los incrementos en el desgaste obtenidos en la investigación varían desde un 15.31% hasta un 50.25%.

- Cada muestra tiene una resistencia definida, ya sea por su formación o por su naturaleza petrológica, de la cual varia su resistencia de acuerdo a la forma que tiene o que se le dio, en la investigación se identificó que las partículas en forma de Laja afecta la resistencia natural de la roca, esto se puede evidenciar en las Figuras 3.58 ; 3.60 ; 3.62.
- Se obtuvieron las ecuaciones y Graficas que representan a la relación Desgaste-Lajosidad para cada banco de préstamo estudiado en esta investigación las cuales servirán de mucho para apreciar el comportamiento de los materiales ante la presencia de partículas lajosas en cada uno de ellos y al mismo tiempo poder predecir valores en base al índice de Lajosidad o Viceversa.
- Se realizaron correlaciones entre bancos para los diferentes tipos de materiales estudiados en cada muestra (Grueso 3/4", Intermedio 3/8" y Combinado), de las cuales se obtuvo ecuaciones y graficas representativas para la mayoría de las muestras estudiadas las cuales brindaran datos muy aproximados y confiables.
- Se obtuvo una correlación general de todos los materiales de la mayoría de los bancos estudiados en la investigación la cual se convierte en una herramienta muy útil cuando se necesite encontrar los valores de desgaste en base a los valores de Lajosidad o viceversa, esta correlación brindara datos muy aproximados y confiables ya que los coeficientes de relación tiene valores buenos.

4.2. RECOMENDACIONES.

- Por todo lo visto en el trabajo y por los estudios que se realizaron a las partículas en forma de lascas es importante tener en cuenta los porcentajes de las mismas que pueden contener los agregados ya que un alto valor de estos puede disminuir su resistencia ocasionando problemas en el futuro de las obras de pavimentación.
- Se recomienda tener especial cuidado en los procesos de trituración ya que ahí es donde se producen este tipo de partículas, eso significa tratar de emplear equipos de trituración adecuados para el tipo de material que se tienen en el banco que se va a explotar para así minimizar la producción de partículas lascas.
- Es importante tener en cuenta lo que puede significar el cuidado y monitoreo de los procesos de trituración de los agregados, un ejemplo es el caso en que el desgaste de los Ángeles para un banco que quiera ser usado en una obra de pavimentación este próximo a los límites permitidos, este valor se puede corregir mejorando los procesos de trituración para que mejore la forma de las partículas lo que mejorara su resistencia al desgaste.
- Por todo lo expuesto anteriormente y por los resultados obtenidos recomendamos que los responsables de los procesos de trituración de una planta o encargados del control de la calidad de la roca, inspectores o supervisores, ya sean privados o de entes oficiales, deben tener en cuenta dicha influencia en los resultados de los ensayos ya que se pueden producir mayor cantidad de lascas por los procesos de reducción de la roca.