CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades.

Fijada una sub-rasante, estudiadas sus características promedio, su humedad, sus límites de consistencia, su granulometría – clasificación y principalmente su capacidad de soporte y ligados los esfuerzos de las cargas que han de circular por una vía, se procese a diseñar la estructura de la vía. Esta estará compuesta por diversas capas de materiales diferentes, que resistan y tengan el espesor conveniente para absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a una profundidad determinada. Como todo proceso de construcción va relacionado con un costo económico, se seleccionan materiales vírgenes, semi procesados o procesados para conformar cada capa; así se obtendrá una estructura resistente de arriba hacia abajo con materiales de mayor especificación hacia mayor calidad y menor costo que podrá en algunos casos estar conformada por un suelo mejorado o de préstamo, una sub-base, una base y una carpeta de rodadura, en orden a los esfuerzos crecientes que deben soportar cada capa.

La capa base está constituida de material seleccionado y gradado que se coloca ya sea en una sub-rasante de muy alta especificación o sobre una capa de sub-base y tienen la función de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante.

Las propiedades estructurales de la capa base dependen primordialmente de los agregados empleados, estos deben ser caracterizados para llegar a una mezcla de piedra triturada y material de relleno o gravas con arena y suelo en estado natural. La curva granulométrica del material, la forma de las partículas, su tamaño, densidad,

cohesión y fricción interna son parámetros que determinan directamente la estabilidad y propiedades mecánicas del pavimento.

Algunas especificaciones técnicas solicitan el cumplimiento de valores con respecto a un porcentaje específico de partículas con caras fracturadas para mejorar la fricción de estas entre sí, la cohesión con los demás componentes y la estabilidad misma del pavimento.

En la construcción de carreteras, es primordial que los agregados a utilizar sean partículas angulosas y con una superficie tal que ofrezcan un enlace y mayor fricción para aumentar la resistencia del pavimento.

Si las caras fracturadas de un agregado aumentan la fricción entre partículas esto afecta a su vez en la manejabilidad del material, y la forma en la que deberá ser tratado.

1.2. Justificación.

Muchas de las especificaciones técnicas exigen un determinado porcentaje de partículas con caras fracturadas asumiendo que para todo tipo de material el valor del índice CBR cumplirá únicamente con determinado porcentaje, pero se cree que éste es un valor muy específico para cada banco de material, y tomando en cuenta que en nuestro medio se cuenta con materiales resistentes que en algunos casos cumplen con las especificaciones sin ser triturados, será de gran aporte analizar el comportamiento de la capacidad soporte del material estudiado en función al porcentaje de caras fracturadas.

Al encontrar un punto óptimo con el cual se logre cumplir con las especificaciones requeridas se podrá comprobar si es o no necesario triturar el material.

El aporte académico muestra el análisis de los resultados de los ensayos mostrando la variación de la capacidad soporte en función al porcentaje de caras fracturadas del material que constituye la capa granular base del proyecto "ENTRE RÍOS-CANALETAS", a su vez se muestra en que consiste el funcionamiento de una trituradora y el proceso de trituración.

Con esta investigación se pretende analizar el comportamiento de la capacidad soporte de la capa granular base a diferentes porcentajes de material con caras fracturadas, para optimizar los materiales disponibles en los bancos de agregados y de esta manera poder reducir costos.

Los resultados obtenidos de este trabajo, como ser la caracterización del material utilizado en el proyecto de aplicación, el análisis a sus propiedades mecánicas, etc., podrán ser una referencia para algún uso similar en el futuro.

Se pretende demostrar la incidencia del porcentaje de partículas con caras fracturadas, que componen la capa granular base del proyecto ya mencionado, de manera que se pueda valorar los indicadores mecánicos del material sujeto a diferentes porcentajes de partículas con caras fracturadas.

1.3. Problema.

¿Cuál es la metodología utilizada para requerir y exigir un determinado porcentaje de caras fracturadas en todo tipo de agregados como especificación técnica para garantizar la capacidad soporte de la capa base?

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

- Determinar la incidencia del porcentaje de partículas con caras fracturadas en la capacidad soporte, encontrando un porcentaje óptimo de estas, mediante el ensayo CBR aplicado al proyecto: "ENTRE RÍOS- CANALETAS"

1.4.2. Objetivos específicos.

- Investigar y profundizar conceptos sobre caras fracturadas, capacidad soporte y capa base.
- Analizar las características requeridas para la capa base de acuerdo a normas vigentes.
- Investigar metodologías normalizadas respecto al porcentaje de partículas con caras fracturadas, para luego realizar la compactación y el ensayo CBR.
- Identificar la fuente del material y caracterizarlo para ensayos posteriores.
- Realizar un análisis de viabilidad del proyecto realizando un ensayo CBR al 0% de partículas con caras fracturadas *(canto rodado)*.
- Aplicar metodologías investigadas para preparar el material en diferentes porcentajes de partículas con caras fracturadas.
- Realizar ensayos de compactación Proctor Modificado T-180, para distintas condiciones de porcentaje de partículas con caras fracturadas.
- Determinar CBR bajo distintas condiciones de porcentaje de partículas con caras fracturadas.
- Identificar trituradoras en el medio e investigar sus características principales como ser el tipo de trituradora, clase de material producido, etc.
- Procesar y analizar los datos de los ensayos en gabinete para obtener resultados que generen una curva Capacidad soporte Vs. % Partículas con Caras fracturadas e identificar el % óptimo en función a las especificaciones del proyecto.

- Establecer conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

1.5. Alcance.

La investigación teórica y práctica llevada a cabo en el periodo 2012-2013, primeramente define los términos a usarse en la investigación, los diferentes métodos de trituración de material para pavimentos, los requerimientos para capas base, capacidad soporte y metodologías del ensayo de caras fracturadas.

La investigación es aplicada al tramo "Entre Ríos-Canaletas", por lo que el material con el que son realizados los ensayos pertenece a la capa base de tal proyecto.

Se lleva a cabo la caracterización del material mencionado realizando ensayos a todas sus características principales. Luego, mediante el ensayo de caras fracturadas, se prepara el material en diferentes porcentajes de éstas, para luego realizar los posteriores ensayos como ser la compactación y el ensayo de capacidad soporte CBR.

Los ensayos CBR son realizados en el laboratorio de la U.A.J.M.S. a diferentes porcentajes de partículas con caras fracturadas, obteniendo así el comportamiento de la capacidad soporte en función de estos porcentajes, luego de haber realizado la compactación del material en las mismas condiciones de porcentajes de partículas con caras fracturadas y la realización del ensayo del desgaste de Los Ángeles en los laboratorios del SEDECA (servicio departamental de caminos).

Ya teniendo tabulados los datos obtenidos en laboratorio, se analiza y genera conclusiones al respecto, mostrando gráficas de resultados, tablas, etc.

Con esta investigación se pretende obtener una curva que muestre la variación o no, de la capacidad soporte de la capa base en función a la variación del porcentaje de caras fracturadas en las partículas que la constituyen, y para esto se visita el lugar de aplicación, el proyecto "Entre Ríos-Canaletas", tanto para la extracción de las muestras como para la familiarización con la investigación, para luego utilizar tales muestras para los ensayos ya mencionados. De estos ensayos tiene la variación de la capacidad soporte en función del porcentaje de caras fracturadas.

Se presenta los objetivos de la investigación y el por qué y cómo se generó la idea de realizarla, los conceptos básicos de los puntos a tocar en la investigación, como ser: caras fracturadas en el agregado para pavimentos, capacidad soporte y características de la capa base y por supuesto la relación entre estos y la metodología de los ensayos que permiten obtener los valores para la investigación.

Los ensayos realizados a las diferentes propiedades del material muestran una secuencia, primeramente la caracterización de material tomando en cuenta la granulometría, límites de consistencia, desgaste de los Ángeles, el ensayo de caras fracturadas a la muestra original, para luego generar muestras con variaciones al porcentajes de partículas con caras fracturadas que permiten la realización del ensayo de compactación y el ensayo de capacidad soporte CBR, siendo éste último el que permite la obtención de los valores para emitir los criterios buscados.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones resumen los resultados de investigación de manera puntual.

CAPÍTULO II CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA BASE

2.1. CAPA BASE.

La capa base es la capa del firme flexible situada debajo del pavimento con la función eminente de absorber la mayor parte de los esfuerzos verticales y su resistencia a la deformación bajo las solicitaciones repetidas del tráfico, suele corresponder a la intensidad del tráfico pesado.

En general se puede decir que por lo mencionado, para tráficos medianos y livianos se utilizan bases granulares y para tráficos pesados se emplean materiales granulares tratados más un ligante o conglomerante, no obstante las capas bases pueden ser compuestas por materiales granulares triturados, granulares no triturados, estabilizados con cemento, estabilizados con asfalto, et.

CORTE LONGITUDINAL DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

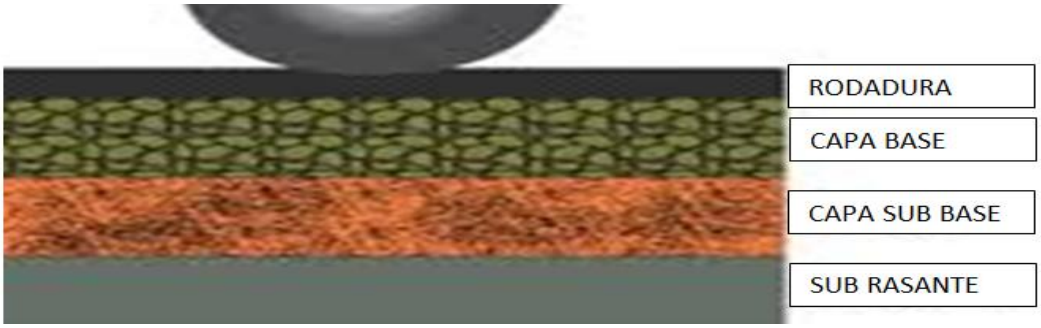


FIGURA Nro. 1(Elaboración propia)

2.1.1. Función.

La función principal de la capa base es recibir las cargas de tránsito que actúan sobre la rodadura y transmitirlas a las sub base y luego al terreno de fundación.

Mientras se construye el paquete estructural, la capa base tiene la función, también, de ser la capa de rodadura.

Tanto la base como la sub base tiene la función de disminuir el espesor de la capa de rodadura.

Otra de las funciones que podría tener una capa granular es ser permeable *(coeficientes de permeabilidad superiores a (10 ^ (-3) cm/s), para esto se requiere que la porción de áridos con un tamaño inferior a 1mm sea menor al 10%.

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE



FIGURA Nro.2 (Elaboración propia)

2.1.2. Capa granular base.

Las capas granulares están constituidas únicamente por áridos y entre las capas granulares se pueden distinguir varios tipos de estructuras.

Se dice que una capa granular base debe cumplir con diferentes especificaciones, como ser de carácter obligatorio la utilización de un agregado que contenga un determinado porcentaje de material producto de trituración mecánica, sean provenientes de la trituración de rocas o gravas, siempre material clasificado y seleccionado por su alta calidad, y éstas especificaciones estarán en base a los parámetros de diseño de la respectiva carretera o vía.

2.1.3. Tipos de capa base granular.

Una capa granular está constituida únicamente por áridos procedentes de yacimientos granulares, canteras, subproductos industriales, etc. Dentro de esto se pueden distinguir diferentes tipos de estructuras como ser:

2.1.3.1. Macadam.

Estas capas están constituidas por áridos gruesos (de 50 a 100 mm) resultado de trituración con una granulometría uniforme. Para lograr un encaje entre las partículas

es necesaria una compactación enérgica. Debido al tamaño de estas partículas se genera un esqueleto con vacíos, los cuales son rellenados con arena limpia denominada Recebo, luego de un proceso de humectación.

MACADAM



FIGURA Nro. 3

Para un correcto comportamiento de la capa es necesario que los áridos sean lo suficientemente duros y capaces de resistir las cargas actuantes.

Tomando en cuenta los componentes de la capa, el árido grueso y la arena de recebo, genera una granulometría discontinua, dejando de lado bastante material producido por medio de trituración.

Este tipo de capas presentan dificultades en el proceso de compactación y no es fácil conseguir un alto rozamiento interno que es el objetivo para que sea capaz de resistir los diferentes esfuerzos.

2.1.3.2. <u>De granulometría continua (zahorras).</u>

Estas capas no presentan algunos problemas comunes que presentan las capas de macadam. El árido está constituido por partículas de todos los tamaños lo que permite alcanzar altas compacidades, aumentar los puntos de contacto entre partículas y disminuir el riesgo de atrición. Lo mencionado da lugar a la utilización de material procedente de graveras y la puesta en obra de esta capa es fácilmente mecanizable, lo que disminuye el costo.

Las zahorras pueden ser naturales o artificiales.

En estas el árido está constituido por partículas de todos los tamaños, lo que hace posible obtener una compactación elevada, permitiendo, en teoría, emplear áridos rodados de graveras.

Sin embargo, si se quiere disponer de una capa con alta calidad de soporte es preciso lograr un elevado rozamiento interno, que es menor si las partículas son rodadas.

Existen las llamadas zahorras naturales que son a base de áridos rodados utilizados para la elaboración de subbases, y las zahorras artificiales compuestas por áridos de canteras sometidos a trituración y son utilizados en bases y sub bases de 20-30 cm.

ZAHORRAS



FIGURA Nro. 4

2.1.3.2.1. <u>Zahorras naturales.</u>

Son utilizadas en algunos casos para sub bases y para bases, en el caso de carreteras con muy baja intensidad de tráfico.

Su característica principal es que son utilizadas tal cual ha sido el material extraído de los yacimientos con una pequeña reconstitución granulométrica que consiste en la eliminación de parte de las partículas más gruesas o parte de las partículas más finas.

2.1.3.2.2. Zahorras artificiales.

Si lo que se quiere es disponer de una capa con alta capacidad de soporte y un alto rozamiento interno las zahorras artificiales son el material que generará el tipo de capa deseada.

Es importante destacar los requerimientos para lograr un material de este tipo:

- Elevado porcentaje de partículas con caras fracturadas, necesariamente conseguidas por trituración.
- Granulometría estricta. Buscando siempre la máxima compacidad.
- Dureza para evitar la rotura de aristas que generen el redondeo del árido y esto genere menos rozamiento interno entre las partículas y una producción de material fino que altere la granulometría inicial.
- Materiales no plásticos para evitar que los finos en presencia de agua, actúen como lubricantes de las partículas más gruesas. Esto originaría la disminución del rozamiento entre partículas y la aparición de deformaciones permanentes.

La zahorra artificial genera una capa granular de alta calidad con exigencias similares a las de los áridos para capas tratadas.

2.1.3. El árido.

Se llaman áridos a los elementos de naturaleza pétrea denominados también agregado.

2.1.3.1. Tamaño.

Se recomienda que para evitar segregaciones durante la ejecución de las obras, el tamaño máximo de agregado oscile entre 20-25 mm para la capa base.

2.1.3.2. Granulometría.

Las curvas granulométricas se deben inscribir en husos continuos buscando las mayores compacidades.

2.1.3.3. Forma.

La resistencia a la deformación de una capa granular o su estabilidad ante el paso de las cargas se basa en su rozamiento interno.

La forma (angulosidad) de los áridos actúa de manera decisiva en este valor, en los materiales triturados se presenta con mayor porcentaje, precisamente por haber pasado por este proceso, la manera de determinarlo es realizando un ensayo del porcentaje de caras fracturadas.

2.1.3.4. Dureza o resistencia a la fragmentación.

Este valor puede ser obtenido a partir de realizar el ensayo de Desgate de los Ángeles, obteniendo el coeficiente de Los ángeles, éste ensayo tiende a simular de manera más sencilla pero a su vez más severa, las condiciones que tendrán que soportar los áridos en servicio.

El ensayo del desgaste de los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero con sus extremos cerrados que gira sobre su eje en posición horizontal. El cilindro tiene una abertura para introducir la muestra con la que sebe hacer el ensayo. La carga abrasiva se introduce junto con la muestra y se hace girar el cilindro a una velocidad constante y durante un determinado número de vueltas. El resultado es la diferencia entre la masa original de la muestra y la final expresada en porcentaje. A este valor se llama coeficiente de Los Ángeles.

2.1.4. Requerimientos para una capa granular base según normas vigentes.

En este punto se mostrará los requerimientos de una capa base granular según normas vigentes mediante una tabla comparativa de tales valores, mostrando también las especificaciones del proyecto con respecto al ítem Capa Base.

Se puede observar en la Tabla Nro. 1 que los valores especificados son similares pero no iguales, esto se debe a que las estas normas son de diferentes países y por esto poseen condiciones diferentes a las cuales estarán sometidas sus respectivas vías.

El ítem Capa base está adjuntado en los anexos del presente proyecto.

2.1.4.1. Normas generales internacionales.

AASHTO M-147-65

Esta especificación cubre el grado y calidad de todo el paquete estructural y las diferentes combinaciones que se pueden hacer para los materiales que conforman el firme. Todos los materiales deben estar libres de residuos vegetales o aglomerados de alquitrán, debiendo cumplir con los requisitos de la siguiente tabla:

AASHTO M-146-65

Tamiz	**Porcentajes por peso del material que pasa**					
(Malla cuadrada AASHTO M-147-65)	**Tipo de gradación**					
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
2"	100	100	-			
1"	-	75 - 95	100	100	100	100
3/8"	30 - 65	40 -75	50 - 85	60-100		
Nº 4	25 -55	30 - 60	35 - 65	50-85	55-100	70-100
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40-70	40-100	55-100
Nº 40	ago-20	15 - 30	15 - 30	25-45	20-50	30-70
Nº 200	2 – 8	5--20	5--15	3--20	6--20	3--25

TABLA Nro. 1 (elaboración propia)

Los materiales para capa base deberán cumplir con los requisitos generales para las granulometrías A, B, C, D, E o F. Según el instituto asfáltico de los E.E.U.U. los siguientes valores deben ser cumplidos:

REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA CAPA BASE SEGÚN LA NORMA AASHTO

ENSAYO	**TRANSITO REDUCIDO**	**TRANSITO REGULAR E INTENSO**
CBR, mínimo.	80	100
Límite líquido.	25	25
Indice de plasticidad, máximo.	6	3

TABLA Nro. 2 (elaboración propia)

IN-VÍAS

Los agregados para la construcción de la base granular deberán satisfacer los requisitos indicados en el aparte 300.2 del Artículo 300 para dichos materiales.

Además, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas:

GRANULOMETRÍAS PARA CAPA BASE SEGÚN IN- VÍAS

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
Normal	Alterno	BG-1	BG-2
37.5 mm	1 1/2"	100	-
25.0 mm	1	70-100	100
19.0 mm	3/4"	60-90	70-100
9.5 mm	3/8"	45-75	50-80
4.75 mm	No.4	30-60	35-65
2.0 mm	No.10	20-45	20-45
425 mm	No.40	10--30	10--30
75 mm	No.200	5--15	5--15

TABLA Nro. 3 (elaboración propia)

REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA CAPA BASE SEGÚN IN VÍAS

ESPECIFICACIONES INV-1996			
CAPA	**PARTÍCULAS FRACTURADAS MECÁNICAMENTE**	**CBR**	**I.P.**
NORMA INV	E-227	E-148	E-125 y E-126
AFIRMADO			4 a 9
SUB BASE GRANULAR		20, 30 o 40% Mínimo	<=6
BASE GRANULAR	50% Mínimo	80% Mínimo	<=3

1 Al 95% de compactación referido al ensayo de compactación proctor modificado (INV-142). El valor mínimo de resistencia por aplicar, se indicará en los documentos del proyecto.
2 Al 100% de compactación referido al ensayo de compactación (INV-142).

TABLA Nro. 4 (elaboración propia)

2.1.4.2. Normas nacionales.

Por otro lado la Administradora Boliviana de Carreteras ABC en su manual de Diseño indica los procedimientos para la realización de los diferentes ensayos necesarios como control de calidad de una capa granular base tomando en cuenta la **AASHTO M-147-65**, además de en el Manual de Carreteras V4C-ABC ("SO102 Recomendaciones generales para suelos y sus aplicaciones como materiales de construcción-Materiales para base Granular") indica los siguientes valores:

REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA CAPA BASE SEGÚN MANUAL DE CARRETERAS V4C-ABC

REQUERIMIENTOS PARA LA CONFORMACIÓN DE UNA CAPA BASE GRANULAR Manual de Carreteras V4C-ABC				
	% PARTICULAS CON CARAS FRACTURADAS	DESGASTE DE LOS ÁNGELES (%)	C.B.R. (%)	I.P. (%)
ABC	>50	<35	≥80	<6

TABLA Nro. 5 ("SO102 Recomendaciones generales para suelos y sus aplicaciones como materiales de construcción-Materiales para base Granular")

2.1.4.3. Especificaciones técnicas proyecto Entre Ríos- Canaletas.

En las tablas Nro. 8 y 9 se muestran los requerimientos o especificaciones referidas al material para conformar la capa base granular del proyecto: "Entre Ríos - Canaletas".

En la tabla Nro. 8 se muestra los Husos dentro de los cuales la granulometría del material debe encajar adentro.

ESPECIFICACIÓN GRANULOMETRÍADE LA CAPA BASE PROYECTO "ENTRE RÍOS - CANALETAS"

Tamiz	Porcentajes por peso del material que pasa		
(Malla cuadrada AASHTO M-147-65)	Tipo de gradación		
	A	B	C
2"	100	100	-
1"	-	75 - 95	100
3/8"	30 - 65	40 -75	50 - 85
Nº 4	25 -55	30 - 60	35 - 65
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50
Nº 40	8--20	15 - 30	15 - 30
Nº 200	2 – 8	5--20	5--15

TABLA Nro. 6 (elaboración propia DATOS ETRAIDOS DEL ITEM CAPA BASE PROYECTO"ENTRE RÍOS CANALETAS")

ESPECIFICACIÓN TIPO DE MATERIAL PARA LA CAPA BASE PROYECTO "ENTRE RÍOS - CANALETAS"

LÍMITE LÍQUIDO	< 25%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	≤6 PERMITEIDO HASTA 8 (%)
CBR	≥ 80
EXPANSIÓN	<0,5%
DESGAASTE DE LOS ÁNGELES	< 50 %
% PARTÍCULAS CON CARAS FRACTURADAS	> 50%

TABLA Nro. 7 (elaboración propia, DATOS ETRAIDOS DEL ITEM CAPA BASE PROYECTO"ENTRE RÍOS CANALETAS")

TABLA RESUMEN DE REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE

REQUERIMIENTOS PARA LA CONFORMACIÓN DE UNA CAPA BASE GRANULAR					
SEGÚN	% PARTICULAS CON CARAS FRACTURADAS	DESGASTE DE LOS ÁNGELES(%)	C.B.R. (%)	I.P. (%)	L.L. (%)
Especificaciones del proyecto	≥50	< 50	≥80	≤ 6 y como máximo hasta 8	<25
ABC	≥50	<35	≥80	<6	<25
IN VÍAS	≥50	< 40	≥80	≤3	< 25
AASHTO	≥50	<40	>100	(2-4) máx.	<25

TABLA NRO. 8 (elaboración propia, DATOS EXTRAÍDOS DE LAS DIFERENTES NORMAS MENCIONADAS)

2.2. CAPACIDAD SOPORTE.

Se conoce como capacidad soporte a la resistencia a la deformación de los suelos que constituyen los firmes, bajo cargas de del tráfico, por lo que este parámetro es de vital importancia en el buen funcionamiento de las diferentes capas del paquete estructural, en especial de la capa base. Existen diferentes factores que influyen en ésta, de los cuales los principales son:

- La resistencia al esfuerzo cortante de los materiales que constituyen el paquete, que a su vez dependen de la densidad y humedad alcanzada de puesta en obra.

- La humedad existente en cada momento. Los suelos saturados tienen menor capacidad de soporte que los suelos no saturados.

La evaluación de esta capacidad en laboratorio es hecha por medio del ensayo CBR (California Bearing Ratio).

2.2.1. Ensayo de compactación Proctor Modificado T-180.

Para la realización del ensayo CBR es necesario primero la realización del ensayo de compactación para las situaciones o condiciones que se desea analizar, para así obtener una humedad óptima a la cual obtener los máximos valores de la densidad y con esto los valores máximos de la prueba de CBR.

Este método describe el procedimiento para la determinación del contenido de humedad óptima y la densidad máxima de los suelos compactados en un molde.

El ensayo Proctor modificado T-180 se realiza con un procedimiento muy similar al Proctor normal, pero con un molde más grande y una energía de compactación mayor por unidad de volumen. Se llena el molde en 5 capas, con 56 golpes por cada capa de una masa de 4,54 Kg y 457 mm de altura de caída. La energía de compactación por unidad de volumen en este ensayo es 4,5 la del ensayo normal.

2.2.1.1. Procedimiento del ensayo.

Pesar el molde de compactación, sin incluir la base ni el collar.

Medir las dimensiones internas del molde de compactación para determinar su volumen.

Compactar el suelo en 5 capas aplicando 56 golpes sobre cada una, se debe procurar que la última capa quede por sobre la altura del molde de compactación; en caso que la superficie de la última capa quedara bajo la altura del molde, se debe repetir el ensayo; se debe evitar además que esta última capa exceda en altura el nivel del molde en más de 6 mm ya que al enrasar se estaría eliminando una parte significativa del material compactado, disminuyendo la energía de compactación por unidad de volumen.

Retirar cuidadosamente el collar de compactación, evitar girar el collar; en caso que se encuentre muy apretado, retirar con espátula el suelo que se encuentra adherido a los bordes por sobre el nivel del molde; finalmente enrasar perfectamente la superficie de suelo a nivel del plano superior del molde.

Pesar el molde con el suelo compactado y enrasado.

Extraer el suelo del molde y tomar una muestra representativa para determinar el contenido de humedad.

Desmenuzar el suelo compactado y mezclarlo con suelo aún no utilizado; agregar un 2% de agua, aproximadamente, (en relación a la cantidad necesaria de material y repetir la compactación, el enrasado, el pesaje, etc.; realizar la cantidad de ensayos tal que al pesar el molde con suelo compactado y enrasado los valores vayan incrementándose y luego bajen, estos permiten graficar la curva para determinar la humedad óptima y la densidad máxima. Sacar muestras para obtener el contenido de humedad.

Cálculos:

Luego de calcular las humedades correspondientes a cada punto se debe graficar la curva Densidad Vs. % de Humedad. El punto máximo indica el valor de la densidad máxima para la cual existe una humedad óptima.

TABLA RESUMEN DE REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE

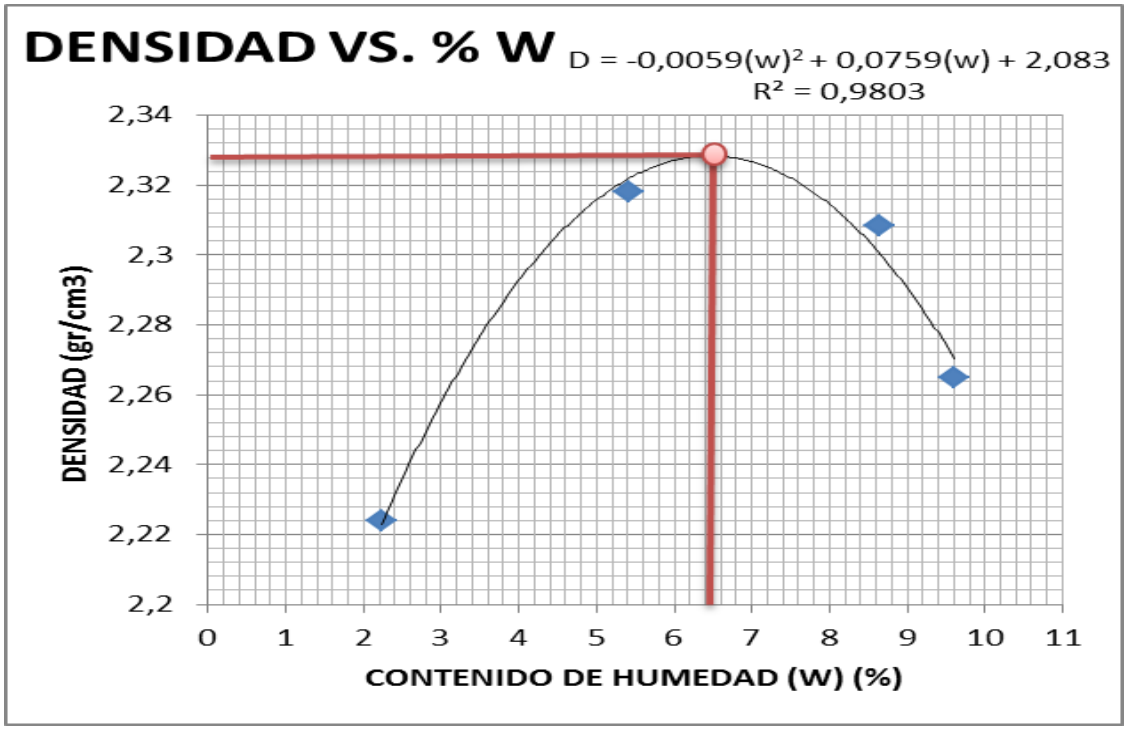


FIGURA NRO.5 (ELABORACIÓN PROPIA)

2.2.2. Ensayo de soporte California (CBR).

El Índice de CBR (Razón de Soporte de California), es la relación expresada en porcentaje entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero a una

velocidad de 1.27 mm/min, para producir deformaciones de hasta 12,27 mm (1/2 plg.) y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material chancado normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%.

2.2.2.1. Procedimiento del ensayo.

Muestras:

Obtener dos o más muestras de ensayo representativas con un tamaño de aproximadamente 4.5 Kg. En el caso de suelo fino y de 5.5 kg en el caso de suelos granulares, y mezclar homogéneamente con agua.

Preparación de las probetas:

Se debe colocar el disco espaciador sobre la placa base. Fijar el molde, con su collar de extensión, sobre dicha placa y colocar un disco de papel filtro grueso sobre el espaciador. Compactar el suelo húmedo en el molde de acuerdo al Proctor con el fin de obtener la densidad máxima.

Generalmente se utilizan como mínimo 3 muestras con 56, 25 y 12 golpes.

Retirar el collar de extensión y enrasar cuidadosamente el suelo compactado con la regla al nivel del borde del molde. Rellenar con material de tamaño menor cualquier hueco que pueda haber quedado en la superficie por la eliminación de material grueso.

Sacar la placa base perforada y el disco espaciador y pesar el molde con el suelo compactado. Restar el peso del molde determinando la masa del suelo compactado.

Determinar la densidad de la muestra antes de la inmersión, dividiendo la masa de suelo compactado por la capacidad volumétrica del molde.

Muestra en los respectivos moldes:

Colocar un disco de papel filtro grueso sobre la base perforada, invertir el molde y fijarlo a la placa base, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.

Colocar el vástago ajustable y la placa perforada sobre la probeta desuelo compactado y aplicar las cargas hasta producir una sobrecarga, redondeada en múltiplos de 2.27 kg y mayor o igual a 4.54 kg.

Si la muestra va a ser sometida a inmersión, colocar el molde con las cargas en agua, permitiendo el libre acceso del agua a la parte superior e inferior de la probeta. Tomar mediciones iniciales para la expansión o asentamiento y dejar la probeta en remojo durante 96 hrs. Mantener la muestra sumergida a un nivel de agua constante durante este periodo.

Al término del periodo de inmersión tomar las mediciones finales de la expansión y calcular la como un porcentaje de la altura inicial de la probeta.

Sacar el agua libre dejando drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante 15 min. Cuidar de no alterar la superficie de la probeta mientras se saca el agua superficial.

Retira las cargas y la placa base perforada, pesar el molde con el suelo. Restar la masa del molde determinando la masa del suelo compactado después de la inmersión.

Obtener la densidad correspondiente, dividiendo la masa de suelo compactado por la capacidad volumétrica del molde.

Penetración:

Colocar sobre la probeta, la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la ejercida por el material de base y el pavimento, redondeando a múltiplos de 2.27 kg y que en ningún caso debe ser menor que4.54 kg. Si la probeta ha sido previamente sumergida, la sobrecarga debe ser igual a la aplicada durante el periodo de inmersión.

Para evitar el solevantamiento del suelo en la cavidad de las cargas ranuradas se coloca en primer lugar la carga anular sobre la superficie del suelo, antes de apoyar el pistón de penetración, y después se colocan las cargas restantes.

Apoyar el pistón de penetración con la carga más pequeña posible, la cual no debe exceder en ningún caso 45 N (4.5 Kgf). Colocar los calibres de tensión y deformación en cero.

Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón y debe considerarse como carga cero para la determinación de la relación carga-penetración.

Cálculos:

El peso unitario de la muestra:

$$1)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\gamma uh = \frac{Pmh}{Volmolde}$$

El peso unitario de la muestra seca:

$$2)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\gamma ms = \frac{\gamma uh}{1+w\%}$$

La expansión:

$$3)\ldots\ldots\ldots\ldots\%exp = \frac{Lf-Li}{h} * 100$$

Dónde:

γuh= Peso unitario de la muestra húmeda.

Pmh=Peso de la muestra húmeda

γms= Peso unitario de la muestra seca.

W%=Porcentaje de humedad

Lf= Lectura final del extensómetro (cm).

Li=Lectura inicial del extensómetro (cm).

H=Altura total del espécimen (cm).

Para la determinación del CBR se realizan los cálculos para las penetraciones de 0.1" y 0.2", en sus correspondientes cargas estandarizadas.

Para 0.1":

$$4)\ldots\ldots CBR = \frac{Carga\ (kg./cm\,2)}{70.31\,(kg./cm\,2)} * 100$$

Para 0.2"

$$5)\ldots \text{CBR} = \frac{\text{Carga } (\text{kg./cm } 2)}{105.4(\text{kg./cm } 2)} * 100$$

2.2.2.2. Valores relacionados al tipo de estructura.

TABLA RESUMEN TIPO DE SUELO-CAPACIDAD DE SOPORTE CBR-USO

			SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
CBR	CLASIFICACIÓN	USOS	UNIFICADO	AASHTO
0--3	muy pobre	subrasante	OH-CH-MH-OL	A-5,A-6,A-7
3--7	pobre a regular	subrasante	OH-CH-MH-OL	A-4,A-5,A-6,A-7
7--20	regular	sub-base	OL-CL-ML-SC-SM-SP	A-2,A-4,A-6,A-7
20--50	bueno	base-sub base	GM-GW,SM,SP,GP	A-1-b,A-2-5, A3,A-2-6
>50	excelente	base	GW-GW	A-1-a,A-1-b,A-3

TABLA NRO. 9 (elaboración propia)

CAPÍTULO III CARAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO.

1.1. Caras fracturadas.

1.1.1. Definición.

Se considera partícula fracturada, cuando está presenta una fractura que equivalga mínimamente al 25% del total de la superficie, como se muestra en la figura nro.1, la fractura debe ser consecuencia de acciones mecánicas únicamente. Si la partícula posee fracturas que no alcanzan el valor mencionado, no serán tomadas en cuenta.

ESQUEMA DE UNA PARTÍCULA FRACTURADA CON UNA CARA FRACTURADA

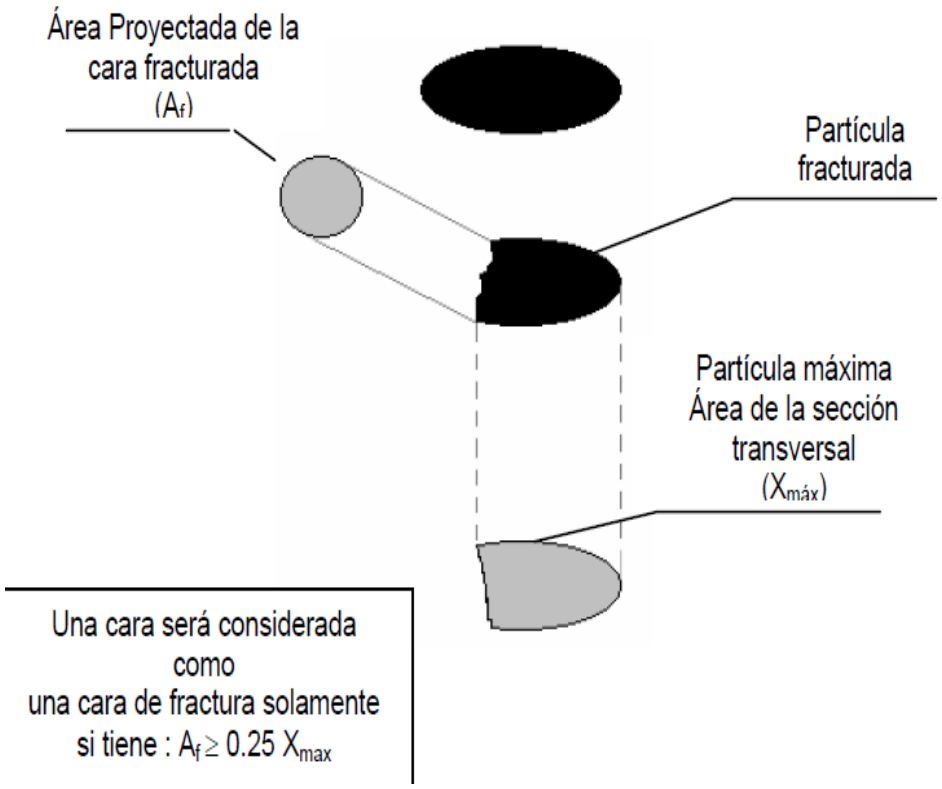


FIGURA NRO 6 Extraída del manual de ensayos para pavimentos de ing. Silene Minaya

1.1.2. Descripción del ensayo de reconocimiento del porcentaje en peso del material con una o más caras fracturadas en el agregado ASTM D 5821.

Muestra:

La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Hágase el análisis granulométrico de la muestra cuarteada.

Se separa por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37.5 mm y 9.5 mm (1½" y 3/8"). Descártese el resto.

El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así:

TABLA DE PESOS MÍNIMOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO POR TAMIZ

Tamaño del agregado		Peso en g
37.5 a 25.0 mm	(1½" a 1")	2000
25.4 a 19.0 mm	(1" a $^3/_4$")	1500
19.0 a 12.5 mm	($^3/_4$" a ½")	1200
12.5 a 9.5 mm	(½" a $^3/_8$")	300

TABLA NRO. 10 (Elaboración propia)

Procedimiento:

Se esparce la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario lávese el agregado sucio. Esto facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.

Sepárense con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas. Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada". Una partícula se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada.

Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.

Pésense las partículas fracturadas y anótese este valor.

Cálculos:

TABLA MODELO PARA LA REALIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DEL ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS

TAMAÑO DEL AGREGADO		A (gr)	B (gr)	C (B*100/A)	D (%)	E (C*D)
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ					
2 1/2"	2"					
2"	1 1 /2"					
1 1 /2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
3/8"	Nº4					
TOTAL						
porcentaje de caras fracturadas=						

TABLA NRO. 11 (Elaboración propia)

Anótese en la columna A el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo, comprendidas entre los tamaños especificados, y teniendo en cuenta el numeral.

En la columna B anótese el peso del material con caras fracturadas para cada tamaño.

La columna C representa el porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño:

$C = (B/A) \times 100.$

Regístrese en la columna D los valores correspondientes del análisis granulométrico de la muestra original.

Después de calcular la columna E = C x D y sumar los valores de cada columna, el porcentaje de caras fracturadas se calcula así, expresándolo con aproximación del 1%:

$$6)\text{…….\% de caras fracturadas} = \frac{\text{ponderados según gradación original}}{\text{muestra de ensayo como \% del materialoriginal}} = \frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$$

1.2. TIPOS Y PROCESOS DE TRITURACIÓN DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS.

La extracción de los materiales para pavimentos, ya sea de bancos de préstamo, canteras, ríos, playas, etc., en su mayoría no cumplen con las especificaciones requeridas, por esto se procede a la utilización de medios artificiales como ser la trituración mecánica de los agregados. Este medio artificial nos permite modificar el material de tal forma que se obtenga la granulometría requerida y un determinado porcentaje de caras fracturadas, pudiendo, estos valores, acercarse a los requeridos.

1.2.1. Principios de la trituración de rocas.

La trituración de rocas se basa en las siguientes acciones: desgaste, presión o compresión, impacto y corte. La utilización de una o varias de estas acciones permite la obtención de partículas de roca o piedra más pequeñas, que se adecuen a las necesidades y requerimientos de las diferentes especificaciones.

1.2.2. Trituradoras para la producción de agregado.

La producción de agregado puede realizarse por medio de los diferentes tipos de trituradoras o seleccionadoras, para esto se hace una diferenciación de estas y pueden ser las llamadas trituradoras primarias o de reducción y las trituradoras secundarias o gravilladoras.

Las trituradoras primarias o de reducción pueden ser de mandíbula, giratorias, de impacto o de un solo rodillo y lo que hacen es tomar la materia prima original y triturarla y son capaces de admitir agregado de 1m como máximo y reducirlo hasta una centésima del tamaño original, y si bien las trituradoras no son ajustables para obtener un determinado tamaño, mediante el proceso de trituración se llega a dicho tamaño.

Las trituradoras secundarias o gravilladoras son utilizadas para tamaños menores que ya han sido pasados por las trituradoras primarias o tomados de los bancos de grava que requieren afinamiento de tamaño. Mayormente se utilizan trituradoras de dos o tres rodillos, trituradoras de cono o molinos de martillo para estos fines.

1.2.3. Tipos de trituradoras.

1.2.3.1. Trituradora de mandíbula.

Este tipo de trituradora tiene una gran abertura rectangular en la parte superior entre las quijadas (placas de trituración) y las paredes laterales. Se caracterizan por su abertura superior en pulgadas, por ejemplo una trituradora de 18 x 36, tiene quijadas o mordazas de 36 pulgadas de largo.

Las quijadas convergen hacia el fondo, dejando una abertura larga y angosta. Este tipo de trituradora tiene dos mandíbulas una fija que es casi vertical y no se mueve, y otra denominada oscilante que tiene un movimiento alternativo en un plano horizontal que forma un ángulo de 20 a 30° con la mandíbula fija.

Está accionada por una excéntrica, de modo que aplica una gran fuerza de compresión sobre los trozos atrapados entre las mandíbulas. Los trozos grandes, atrapados en la parte superior, se rompen y caen en el espacio inferior más estrecho, donde se vuelven a triturar al cerrarse las mandíbulas. Cuando alcanzan la reducción necesaria, las partículas caen por el fondo del aparto. Las mandíbulas se abren y se cierran de 250 a 400 veces por minuto.

TRITURADORA DE MANDÍBULA

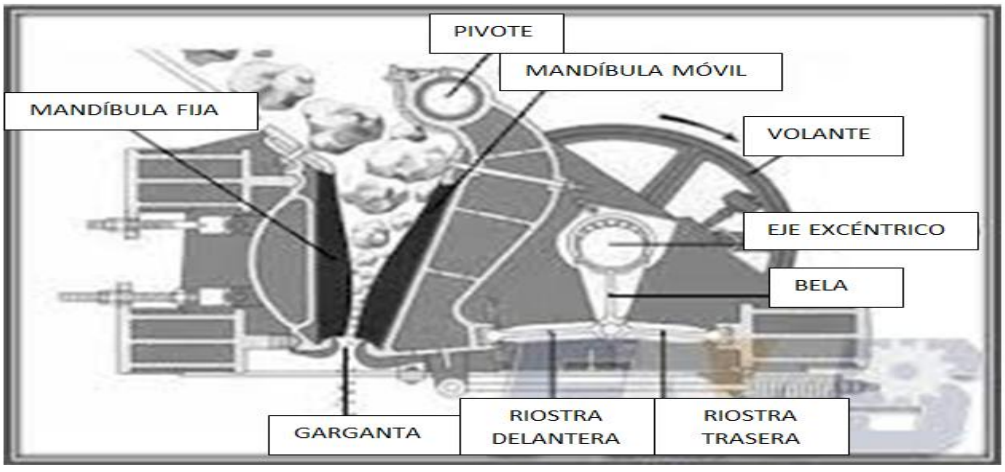


FIG. NRO 7

1.2.3.2. Trituradora giratoria y de cono.

En este tipo de trituradora, el elemento móvil es una pieza cónica instalada en un eje esencialmente vertical que gira.

El eje giratorio funciona sobre un apoyo excéntrico que le da una acción giratoria. Las placas trituradoras fijas son cóncavas en el sentido vertical y circulares en el sentido horizontal, formando un casco o dentro del cual gira la cabeza.

Las trituradoras giratorias y de cono tienen funcionamiento similar pero son utilizadas de manera diferente, son primarias y secundarias, respectivamente.

Cabe recalcar que la trituradora que utilizan en el proyecto: "Entre ríos- Canaletas" es una trituradora de cono.

TRITURADORA DE CONO GIRATORIA

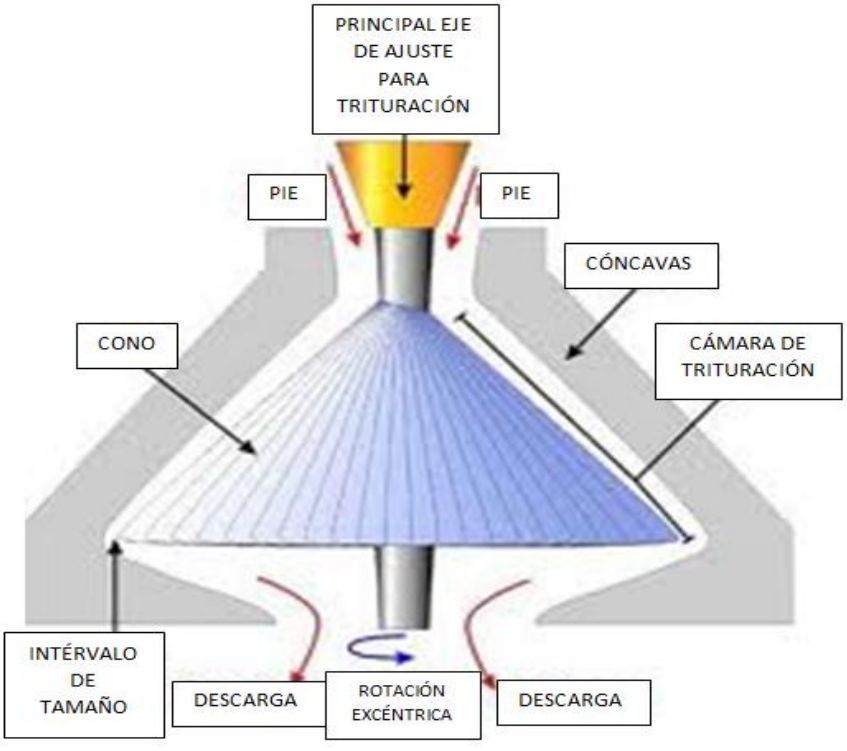


FIGURA NRO 8

PROCESO DE TRITURACIÓN MEDIANTE TRITURADORA DE

CONO GIRATORIA

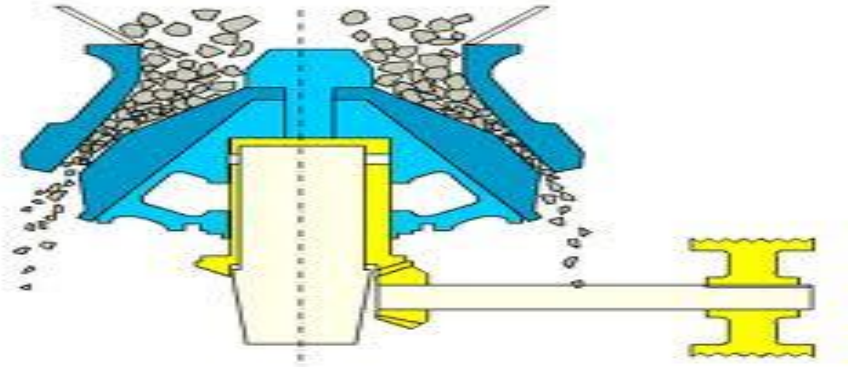


FIGURA NRO 9

1.2.3.3. Trituradora de rodillo.

Las trituradoras de rodillo pueden ser de uno, dos o tres rodillos. Estas aprovechan la fuerza de compresión que toma el material triturable atrapado en un cilindro giratorio (rodillo) y la superficie al lado de éste. Se dice que se machuca o tritura el material con los rodillos como machuca la ropa el exprimidor de una lavadora.

La trituradora de un rodillo es, mayormente una máquina para usos especiales y se identifica por el diámetro del rodillo.

Se adecua para triturar material pegajoso o blando que pudiese que pudiera tapar otro tipo de trituradoras. Produce partículas cúbicas sin un exceso de material fino. Se utiliza como trituradora primaria y raras veces se ajusta para aberturas inferiores a 2 ½".

Por otro lado las trituradoras de dos y tres rodillos, son utilizadas como secundarias o gravilladoras. Para esto son diseñadas con un alto rango de ajuste. Pueden usarse para la mayor parte de los agregados para construcción, inclusive tamaños inferiores a ¼".

TRITURADORA DE DOS RODILLOS

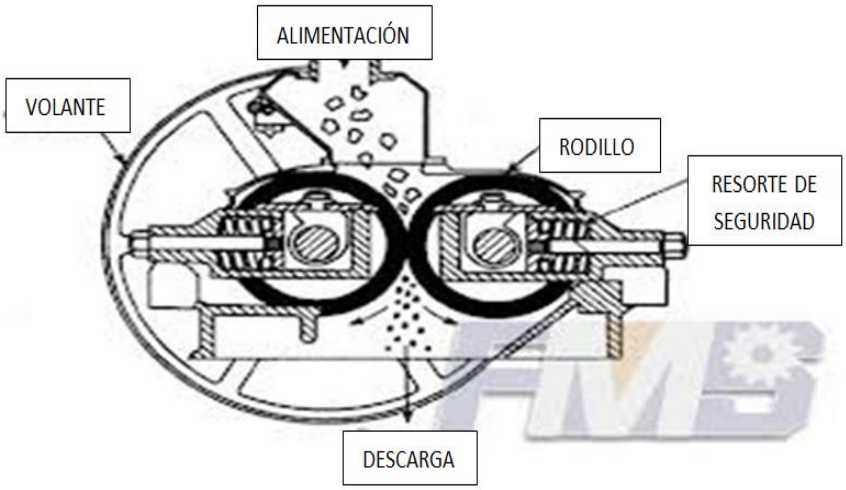


FIGURA NRO. 10

TABLA RESUMEN

	PRIMARIAS O DE REDUCCIÓN	SECUNDARIAS O GRAVILLADORAS
CARÁCTERÍSTICAS	Trituran el material en un proceso primario y pueden llegar a reducir el material a una centésima del tamaño inicial y mas o menos admiten un tamañomáximo de 1 m.	Previa trituración primaria para afinamiento de tamaño.
TIPO DE TRITURADORAS	Mandíbula	Dos o tres rodillos
	Giratoria	Cono
	Un rodillo	Molinos de Martillo

TABLA NRO.12 (Elaboración propia)

1.2.4. El proceso de trituración.

El proceso de trituración es un conjunto de diferentes acciones por medio de equipos mostrados a continuación:

El acopio y obtención de los materiales que serán triturados:

Se requiere un almacenamiento del material a procesar, o un constante transporte de éste hacia las instalaciones donde se encuentra la planta trituradora, y en función a los requerimientos se selecciona el banco de material o los bancos de material si fuese necesario. Todo proceso es realizado para cumplir con especificaciones requeridas.

Alimentación vibratoria:

El proceso de funcionamiento en que el alimentador de vibración traslada materiales en pedazos o granos hacia dentro de la trituradora de forma uniforme, periódica y continua desde el búnker de almacenamiento y al mismo tiempo, realiza un análisis de filtro inicial para los materiales.

PLANTA TRITURADORA VAFECOM TOLOMOSA



FIGURA Nro. 11

Selección del material:

En el medio (ciudad de Tarija), se utiliza la llamada Zaranda Vibratoria para seleccionar el material, y consiste en operaciones como: filtrar después de triturar los materiales, para llegar a las granulometrías especificadas, este proceso también se realiza para seleccionar material rodado, con el mismo fin, obtener una granulometría específica.

ZARANDA VIBRATORIA VAFECOM TOLOMOSA



FIGURA Nro.12

ZARANDA VIBRATORIA CONSTRUCTORA ERIKA "EL RANCHO"



FIGURA Nro.13

Transporte y depósito por correa:

El transportador con correa se usa principalmente para transportar materiales sueltos u objetos en miembro. O sea, varios transportadores pueden trabajar juntos formando así un sistema de transporte horizontal o inclinado

CORREAS DE TRANSPORTE



FIGURA Nro.14

1.2.5. Trituradoras en el medio.

Las plantas trituradoras o chancadoras en la ciudad de Tarija, se dedican a la producción de material para hormigones, a pesar de esto, se realizó visitas a éstas plantas y se pudo observar el proceso y el funcionamiento de las diferentes partes que conforman una planta de trituración.

Cabe recalcar que para la producción de capa base el procedimiento de producción es diferente pero basado en el mismo principio, empezando por que el material no es lavado, la salida de éste es una mezcla de grava y arena y no así de un tamaño único por cinta y en algunos casos es necesario mezclar material de diferentes bancos de préstamo para alcanzar las especificaciones requeridas.

De las visitas a las diferentes plantas trituradoras se pudo hacer un resumen de las características principales y fueron resumidas en el siguiente cuadro.

TABLA RESUMEN CARACTERÍSTICAS DE LAS TRITURADORAS EN LA CIUDAD DE TARIJA

NOMBRE	UBICACIÓN	TIPO	TAMAÑO MÁXIMO(plg)	ALIMENTACIÓN (m3/hr)	RENDIMIENTO (m3/hr)	RENDIMIENTO (%)	%CARAS FRACTURADAS ALCANZADO
VAFECOM	TOLOMOSA	MANDÍBULA Y CONO	Depende de la malla utilizada	20-25	17-19	80-85	70-75
PIARBOL	TOLOMOSA	MANDÍBULA Y CONO	Depende de la malla utilizada	NO BRINDARON INFORMACIÓN			
CONSTRUCTORA ERIKA	EL RANCHO	DE CONO	Depende de la malla utilizada	12–15	8–10	80-85	55-75
TRITURADORA DEL PROYECTO	ENTRE RÍOS	MANDÍBULA Y CONO	Depende de la malla utilizada	45-48	40	80-85	60-75

TABLA NRO.13 (Elaboración propia RECOLECCIÓN DE ENTREVISTAS A LAS EMPRESAS MENCIONADA

CAPÍTULO IV INVESTIGACIÓN

4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio está ubicada en el tramo "Entre Ríos – Canaletas", en la provincia O´Connor del departamento de Tarija,inicia en el río Tambo y se desarrolla de manera paralela a éste por su margen derecha que luego cambia al nombre de RíoMoreta llegando al pueblo de Entre Ríos.

Coordenadas Entre Ríos: Latitud:-21.5237°, Longitud: -64.1806°
(375731.76 m. E, 7619431.69 m. S.)
Coordenadas Canaletas: Latitud:-21.4561°, Longitud: -64.332°
(361976.22 m. E, 7626790.98 m. S.)

TRAMO ENTRE RÍOS CANALETAS



FIGURA Nro.15

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Entre Ríos es una zona que está Localizada a 1230 m.s.n.m. bordeada por una sierra montañosa y emplazada en un valle con forma de triángulo alargado de 10 Km de longitud.

La temperatura en Entre Ríos es de 20.9° como promedio y las precipitaciones anuales rondan los 1300mm, concentrándose fundamentalmente en verano, de Enero a Marzo. Presenta vegetación abundante y bastante humedad.

El Proyecto Entre Ríos- Canaletas hace uso del árido del río Tambo-Moreta para la conformación del paquete estructural de tal tramo.

Es bueno mencionar la variedad de paisajes que se pueden apreciar en este tramo de carretera, tanto la diversidad de colores y tipos de rocas como la variedad de vegetación y climas.

Vegetación al borde del Camino



FIGURA Nro. 16

Campos de preparación y acopio de los materiales



FIGURA Nro.17

BANCO DE PRÉSTAMO DE MATERIAL



FIGURA Nro.18

4.3. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS.

El material fue obtenido del proyecto "Entre Ríos-Canaletas", que a su vez fue extraído del río que está ubicado a la margen del camino en construcción, como se mencionó anteriormente, tal es producido en la planta trituradora situada en el área del proyecto, esta planta consta de una trituradora primaria y secundaria de tipo mandíbula y con, respectivamente, para producir el material para la capa base según las especificaciones indicadas.

El material se recogió de los almacenes o acopios ubicados cerca de la planta trituradora, que luego son llevados al tramo específico, para realizar el tendido y compactación de la capa.

RECOLECCIÓN DE LA CAPA BASE

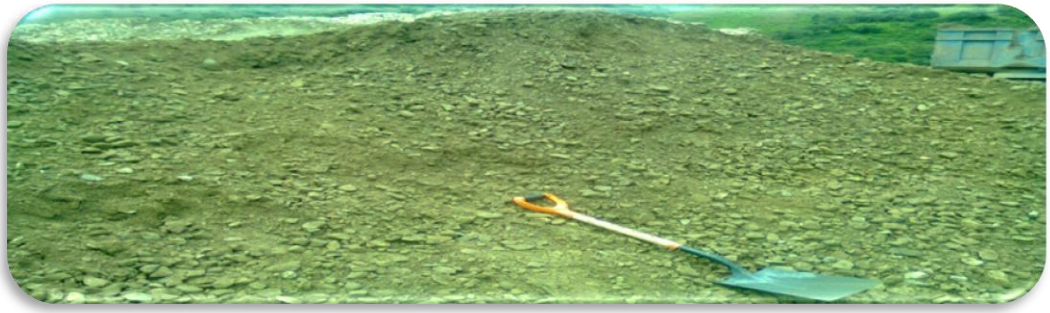


FIGURA Nro.19

MATERIALES ACOPIADOS (CAPA BASE, CHIP)



FIGURA Nro.20

PLANTA TRITURADORA PROYECTO "ENTRE RÍOS-CANALETAS"



FIGURA Nro.21

4.3.1. Preparación del material para la investigación.

4.3.1.1. Viabilidad del proyecto.

Primeramente se analizó el material del río en su forma natural ***(como canto rodado)***, realizando el ensayo de capacidad soporte, para verificar si solamente utilizando canto rodado el material hubiese cumplido con los valores mínimos que las especificaciones técnicas requieren. A continuación se muestra la tabla resumen de este ensayo.

TABLA RESUMEN CRB CON CANTO RODADO

%w	D.M.	CBR	P.U.	CBR 100% D.M
6,5	2,33	13,41501	1,535387	54,82888
		26,71795	1,837687	
		47,47054	2,179596	

TABLA Nro.14

Se puede observar en la tabla de resultados que el valor de CBR al 100% de la densidad máxima corresponde a un valor de 54.83% lo cual es insuficiente ante los requerimientos y especificaciones de la obra.

Por otro lado se realizó también la optimización de las curvas granulométricas pertenecientes a las especificaciones técnicas del Proyecto según la AASHTO M-147-65, ***tomando en cuenta solamente material rodado*** se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA RESUMEN CBR CANTO RODADO CON GRANULOMETRÍA TIPO A (GRANULOMETRÍA OPTIMIZADA 1)

%w	D.M.	CBR	P.U.	CBR 100% D.M
6,5	2,33	32,17216	2,243727	66,41667
		51,06233	2,306117	
		65,49602	2,3231	

TABLA NRro.15

TABLA RESUMEN CBR CANTO RODADO CON GRANULOMETRÍA TIPO B (GRANULOMETRÍA OPTIMIZADA 2)

%w	D.M.	CBR	P.U.	CBR 100% D.M
6,5	2,33	14,2797	2,061924	67,11628
		39,95438	2,283118	
		73,61882	2,324696	

TABLA Nro.16

TABLA RESUMEN CBR CANTO RODADO CON GRANULOMETRÍA TIPO C (GRANULOMETRÍA OPTIMIZADA 3)

%w	D.M.	CBR	P.U.	CBR 100% D.M
6,5	2,33	13,27533	2,185244	67,64183
		43,47966	2,259715	
		70,28508	2,323653	

TABLA Nro.17

Luego de la obtención de los resultados se observa que ningún valor alcanza a las especificaciones técnicas, por lo que se procedió con el estudio.

4.3.1.2. Caracterización del material.

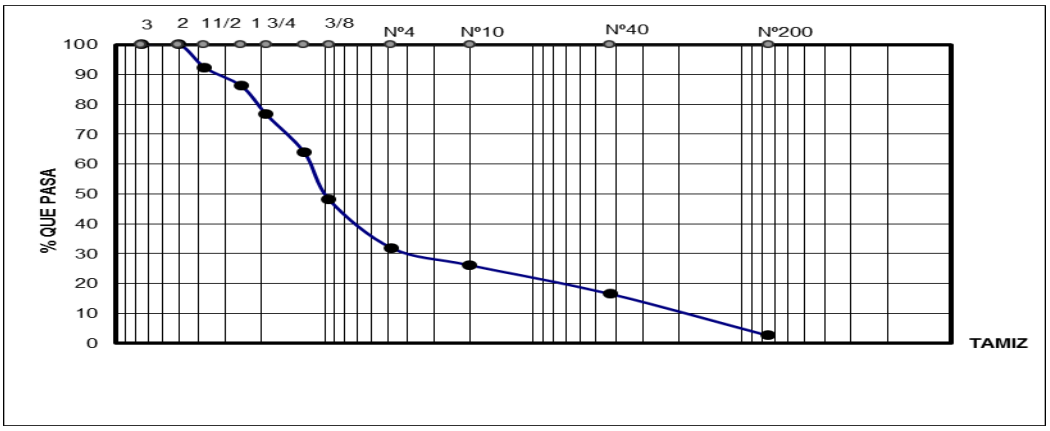
Luego de haber ensayado con el material virgen extraído del río Moreta y teniendo como resultado que la investigación es viable, se procedió al estudio del material producido para la conformación de la capa base del Proyecto. Después de realizados los estudios para la caracterización del material, como ser: granulometría, límites, se llegó a los siguientes resultados.

GRANULOMETRÍA:

Peso Total (gr.)			12500		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total
2 1/2"	75	0,00	0,00	0,00	**100,00**
2"	50	0	0,00	0,00	**100,00**
1 1 /2"	37,50	972	972,00	7,78	**92,22**
1"	25,00	773	1745,00	13,96	**86,04**
3/4"	19,00	1190	2935,00	23,48	**76,52**
1/2"	12,50	1591	4526,00	36,21	**63,79**
3/8"	9,50	1974	6500,00	52,00	**48,00**
Nº4	4,75	2020	8520,00	68,16	**31,84**
Nº10	2,00	717,50	9237,50	73,90	**26,10**
Nº40	0,425	1200,00	10437,50	83,50	**16,50**
Nº200	0,075	1737,50	12175,00	97,40	**2,60**

TABLA Nro.18

CURVA GRANULOMÉTRICA



CUADRO NRO.1

Las especificaciones del proyecto indican que el material puede estar dentro de los siguientes husos granulométricos.

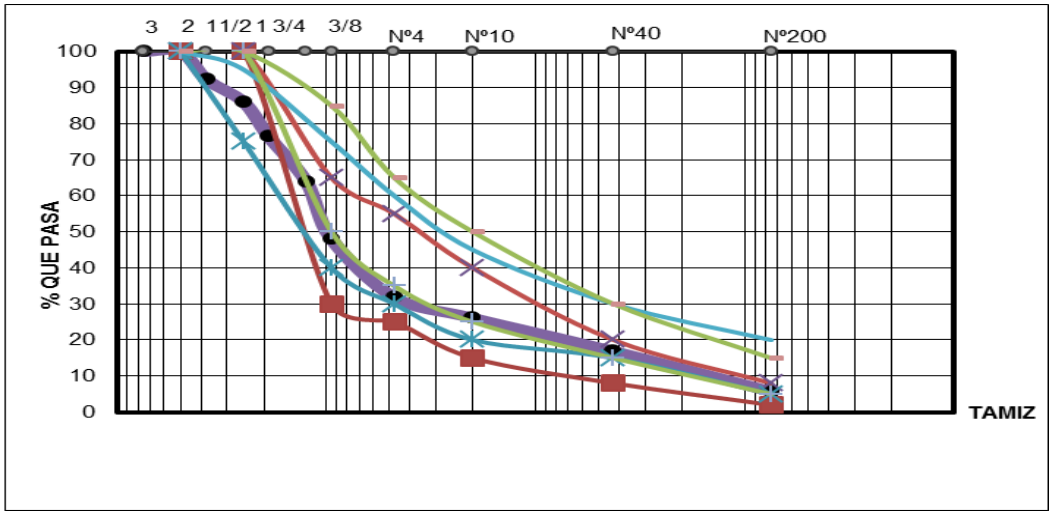
HUSOS SEGÚN LA AASHTO M-147-65

Tamiz (Malla cuadrada AASHTO M-147-65)	Porcentajes por peso del material que pasa		
	Tipo de gradación		
	A	B	C
2"	100	100	-
1"	-	75 - 95	100
3/8"	30 - 65	40 -75	50 - 85
Nº 4	25 -55	30 - 60	35 - 65
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50
Nº 40	8--20	15 - 30	15 - 30
Nº 200	2 – 8	5--20	5--15

TABLA NRO. 19 EXTRAÍDA DE LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

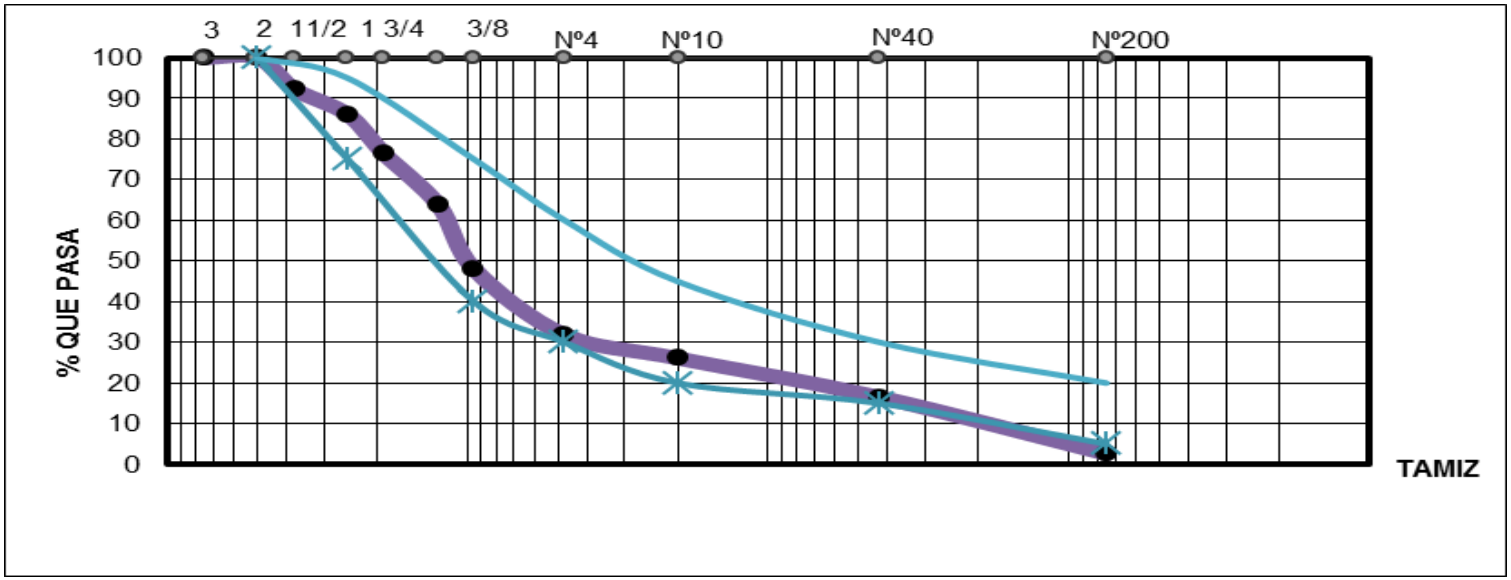
Mostrando los valores de los husos A, B y C y graficando también la curva granulométrica se puede observar que entra dentro la clasificación B.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS HUSOS ESPECIFICADOS Y LA CURVA GRANULOMÉTRICA



CUADRO Nro.2

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS HUSO B ESPECIFICADO, Y LA CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA



Cuadro Nro.3

Curva granulométrica del material

Huso tipo A

Huso tipo B

Huso tipo C

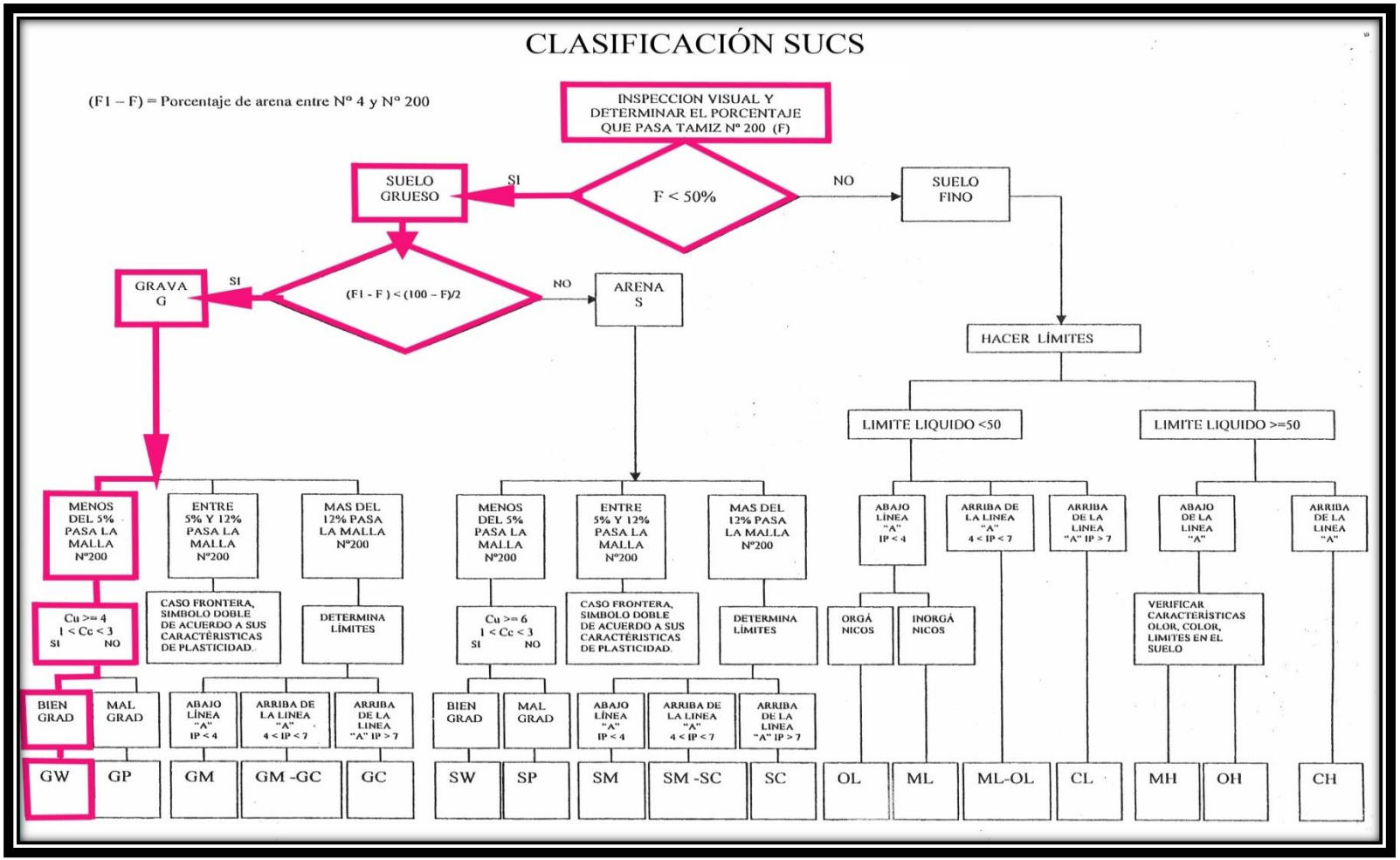


FIGURA Nro.22

CLASIFICACIÓN AASHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (igual o menor al 35 % pasa el tamiz nro. 200)							MATERIALES LIMO- ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz nro. 200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
% pasa el tamiz											
N° 10	50 máx										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características del material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx	41 min.	40 máx	41 min.	40 máx	41 min.	40 máx	41 min.
Índice de Plasticidad	6 máx	6 máx		10 máx	10 máx	11 min.	11 min.	10 máx	10 máx	11 min.	11 min.
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx.	12 máx.	16 max.	20 máx.
Tipos de material	Fragentos de grava y area		Arena Fina	Grava, arena limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de fundación	Excelente a Bueno					Regular a Deficiente					

FIGURA Nro.23

4.3.2. Ensayo del porcentaje de caras fracturadas ASTM-D 5821.

TABLA DE CÁLCULOS Y RESULTADOS ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS

TAMAÑO DEL AGREGADO		A (gr)	B (gr)	C (B*100/A)	D (%)	E (C*D)
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ					
2 1/2"	2"	-	-	-	-	-
2"	1 1 /2"	-	-	-	-	-
1 1 /2"	1"	2988	2478,76	83	7,776	645,408
1"	3/4"	1519	987,81	65	6,184	401,96
3/4"	1/2"	540	364,2533	67	9,52	637,84
1/2"	3/8"	161	100,3933	62,333333	12,728	793,37867
3/8"	Nº4	92	60,06667	65	15,792	1026,48
TOTAL			3991,283	342,33333	52	3505,0667
porcentaje de caras fracturadas=			67,41	%		

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS = $\frac{TOTAL\ E}{TOTAL\ D}$

A= PESO DE LA MUESTRA (gr.)

B= PESO DEL MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (gr)

C= PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS

D= PORCENTAJE RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL

E= PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS

TABLA Nro.20 (elaboración propia)

El ensayo de caras fracturadas realizado aplicado a la muestra original del material de la capa base del proyecto "Entre Ríos- Canaletas", muestra un 67.41 de partículas con caras fracturadas, este dato es obtenido de un promedio aplicado a los tres ensayos de porcentaje de caras fracturadas adjuntados en anexos, indicando el rendimiento de la Planta Ttrituradora del Proyecto.

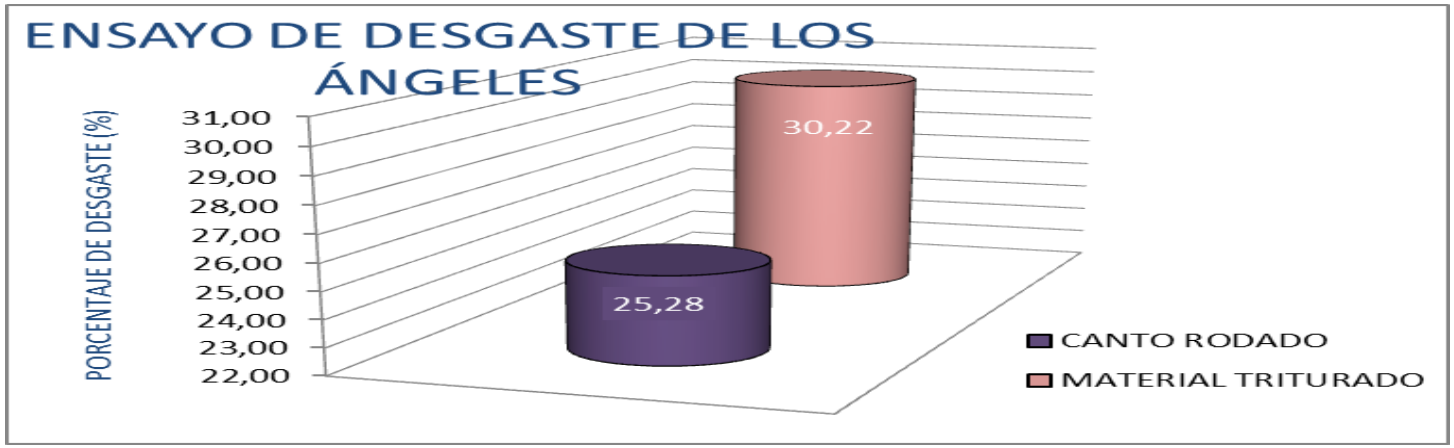
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MATERIAL

CASIFICASIÓN AASHTO	A-1-a
CALSIFICACIÓN SUCS	G-W
LÍMITE LÍQUIDO	NO PLÁSTICO
LÍMITE PLÁSTICO	
DESGATE DE LOS ÁNGELES PARTÍCULAS RODADAS	23,37
DESGATE DE LOS ÁNGELES PARTÍCULAS FRACTURADAS	24,08
% DE PARTÍCULAS CON CARAS FRACTURADAS	67,41

TABLA Nro. 21 (elaboración propia)

4.3.3. Desgaste de Los Ángeles.

CANTOS RODADOS			MATERIAL TRITURADO		
PESO INICIAL	5000	gr.	PESO INICIAL	5000	gr.
PESO FINAL	3736	gr.	PESO FINAL	3489,00	gr.
DESGATE	25,28	%	DESGATE	30,22	%

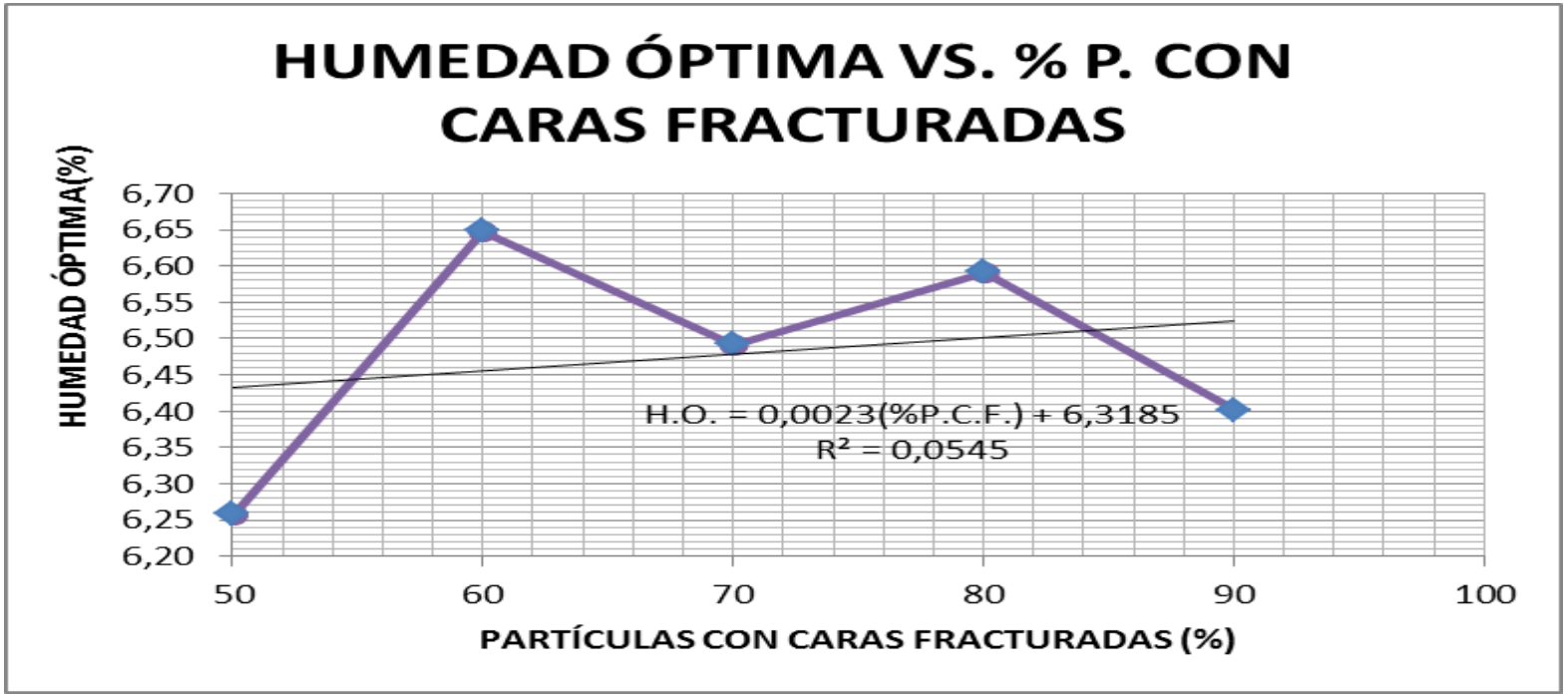


CUADRO NRO. 4

Se puede observar en el cuadro Nro. 4 queel desgaste del mismo material se incrementó al someterlo a un proceso de trituración, en este caso el incremento es del ***4.94%,*** tomando en cuenta los requerimientos y especificaciones para La Capa Base ambos porcentajes cumplen con los valores solicitados.

Ante esta variación se podría decir que el material pierde su característica de resistencia al pasar por un proceso de trituración, pero no de manera muy significativa.

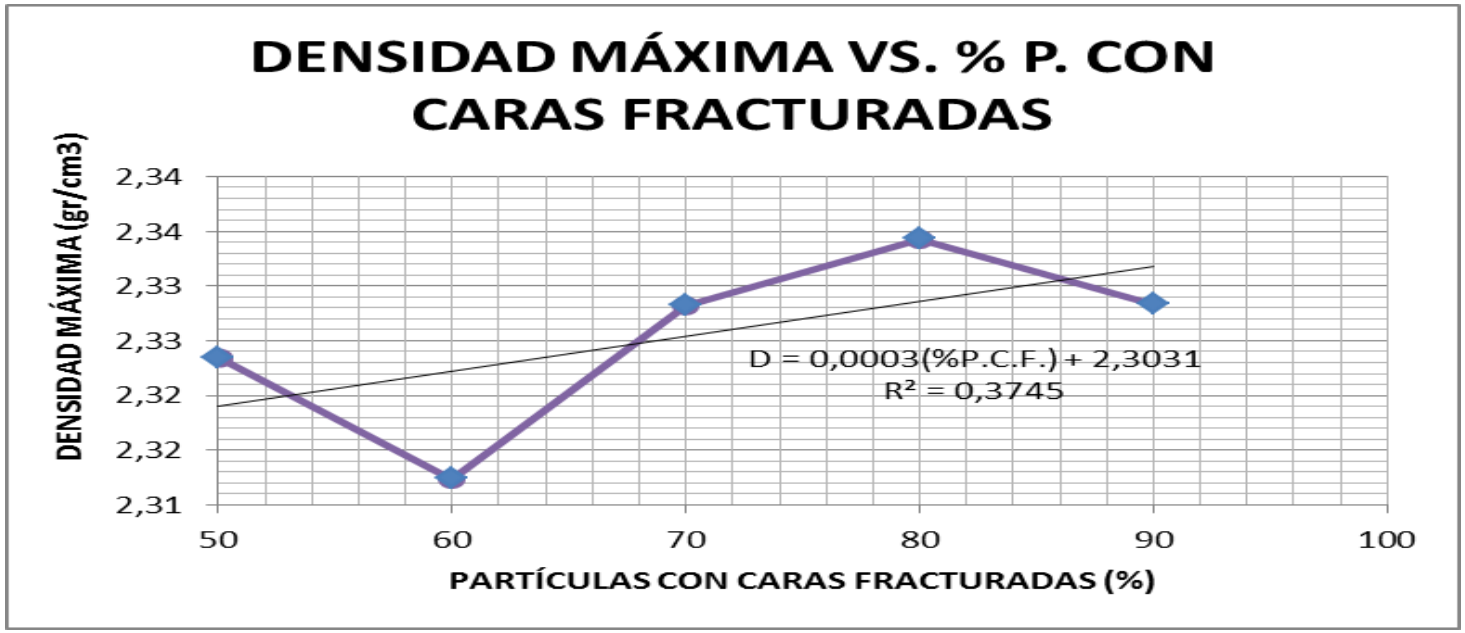
4.4. Curva Humedad VS. % de caras fracturadas.



CUADRO NRO. 5

En el cuadro número se puede observar que la humedad es más o menos constante al incremento del % de partículas con caras fracturadas, y la variación que se observa es mínima la cual puede deberse a errores de medición, calibración de balanzas, etc., con una ligera tendencia a aumentar al aumentar el porcentaje de partículas con caras fracturadas y los valores oscilan entre 6,25 y 6,65 %, por lo que se tomó un valor de 6,5 % como humedad óptima.

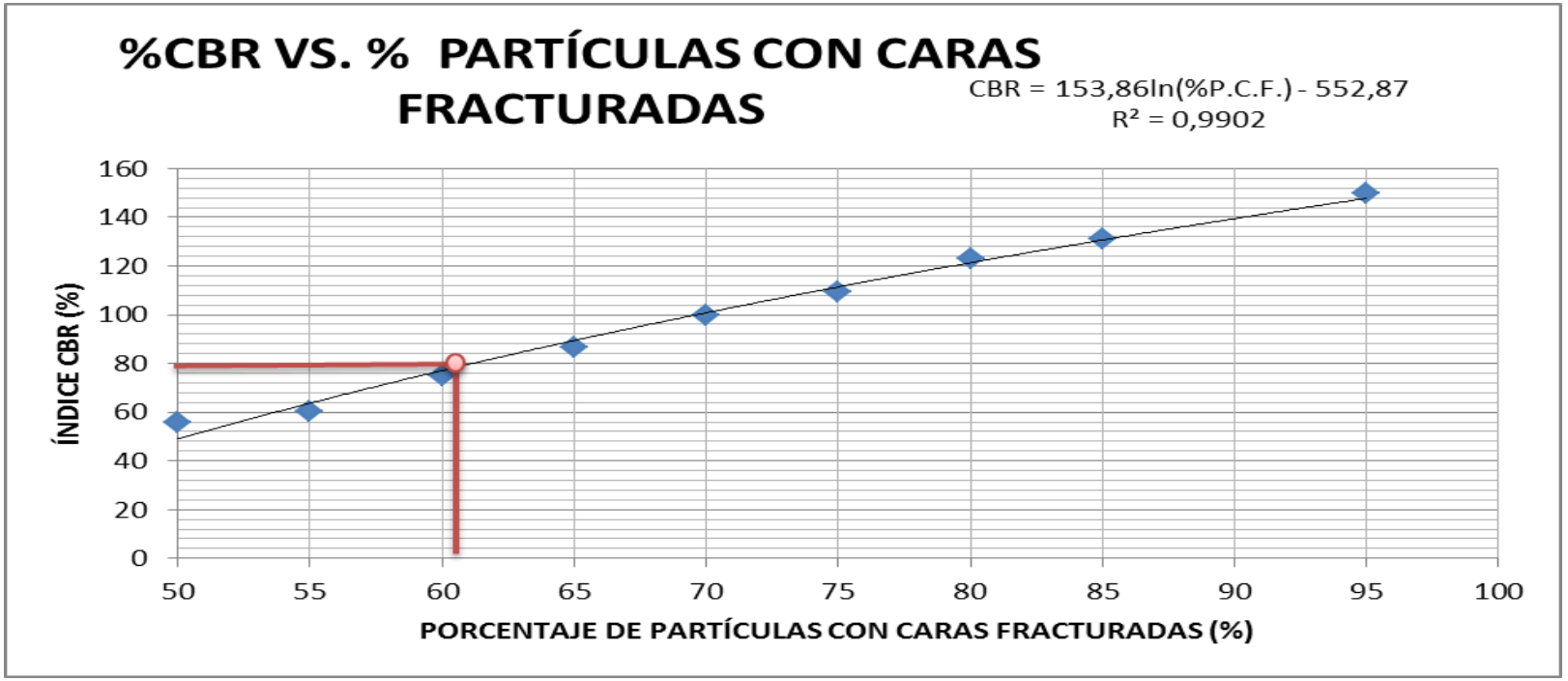
4.5. Curva Densidad VS. % de caras fracturadas.



CUADRO NRO. 6

Al igual que la humedad óptima, la densidad máxima del material se mantiene más o menos constante al incremento de partículas con caras fracturadas, este comportamiento del suelo puede ser debido a que la relación de vacíos en el material no cambia con respecto al porcentaje de partículas con caras fracturadas, en cambio se mantiene, y si bien las partículas están más ligadas entre sí, conservan sus vacíos. Por otro lado, agregando una línea de tendencia se podría decir que la densidad aumenta mínimamente al incremento de partículas con caras fracturadas.

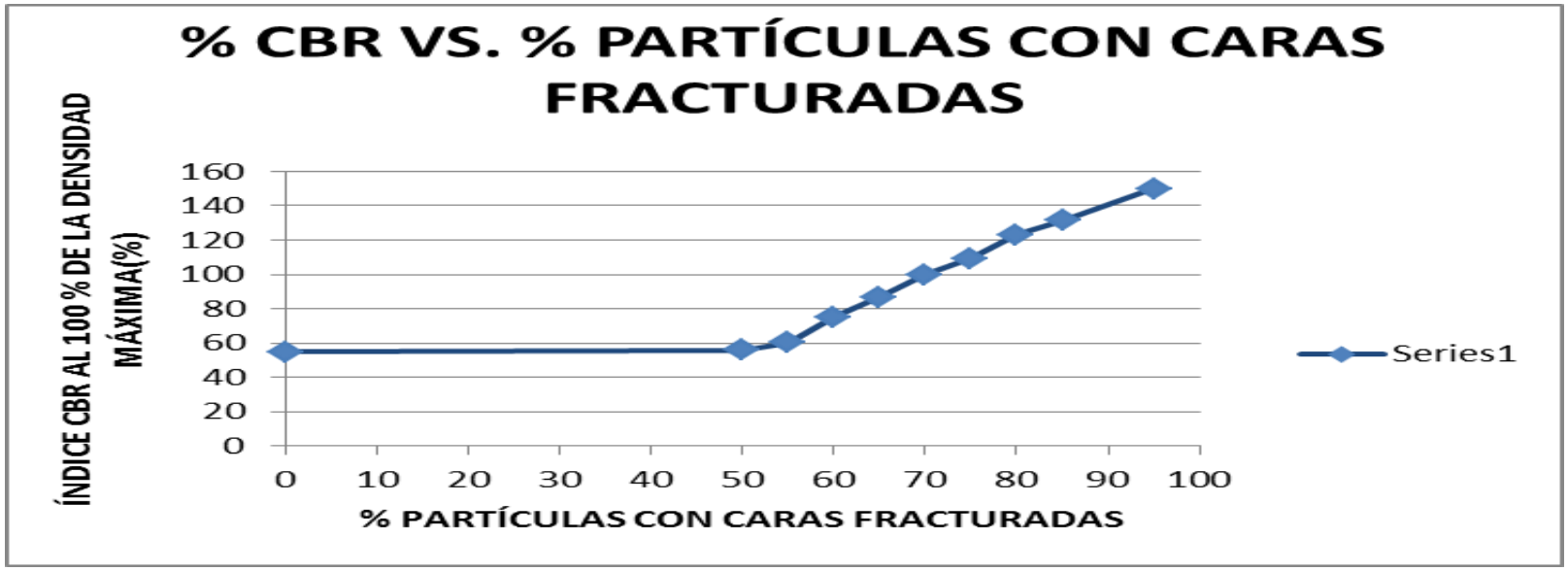
4.6. Curva CBR VS. % de caras fracturadas al 100% de la Densidad Máxima.



CUADRO NRO. 7

Reemplazando en la ecuación encontrada, que fue construida luego de una selección de datos, donde se eliminó el punto correspondiente al 90% de partículas con caras fracturadas debido a que los resultados de estos son irracionales y también se anularon diferentes datos que estaban alejados de dos similares, luego de esto se puede decir que calibrando la ecuación de tiene que para un valor de CBR de 80, el porcentaje óptimo es ***61.15%*** de partículas con caras fracturadas.

4.7. Curva CBR VS. % de caras fracturadas al 100% de la Densidad Máxima.



CUADRO NRO. 8

Además de graficar los valores obtenidos a diferentes porcentajes de partículas con caras fracturadas también se graficó éstos junto al ensayo con 0% de partículas fracturadas *(canto rodado)*, y de esta gráfica se puede apreciar que el comportamiento del suelo ante las variaciones de % de partículas fracturadas a partir del 55 % para abajo, se mantiene un valor del índice CBR mas o más o menos constante.

TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN GABINETE

VALOR CBR	MUESTRA NRO	MEDIA	% P. CON CARAS FRACTURADAS
54,83	única	54,83	0 (canto rodado)
42,89361702	1	anulado	50
54,40384615	2	55,68942	
56,975	3		
VALOR CBR	MUESTRA NRO	MEDIA	% P. CON CARAS FRACTURADAS
61	1	60,22222	55
59,44444444	2		
48,27184466	3	anulado	
VALOR CBR	MUESTRA NRO	MEDIA	% P. CON CARAS FRACTURADAS
74,23076923	1	75,15051	60
76,02777778	2		
75,19298246	3		
VALOR CBR	MUESTRA NRO	MEDIA	% P. CON CARAS FRACTURADAS
86,28571429	1	86,78298	65
87,89655172	2		
86,16666667	3		
VALOR CBR	MUESTRA NRO	MEDIA	% P. CON CARAS FRACTURADAS
97,54166667	1	99,65241	70
101,7631579	2		
81,77777778	3	anulado	
VALOR CBR	MUESTRA NRO	MEDIA	% P. CON CARAS FRACTURADAS
107,3939394	1	109,1544	75
110,9148936	2		
95,71153846	3	anulado	
VALOR CBR	MUESTRA NRO	MEDIA	% P. CON CARAS FRACTURADAS
107	1	anulado	80
120,4615385	2	123,134	
125,8064516	3		
VALOR CBR	MUESTRA NRO	MEDIA	% P. CON CARAS FRACTURADAS
132,28125	1	131,3258	85
130,3703704	2		
121,1388889	3	anulado	
VALOR CBR	MUESTRA NRO	MEDIA	% P. CON CARAS FRACTURADAS
148,72	1	150,085	95
151,45	2		
83,54761905	3	anulado	

TABLA Nro.22 (Elaboración propia)

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES:

Cumpliendo con los objetivos se tiene que:

- Se logró investigar y profundizar conceptos referidos a la Capa base, capacidad de soporte y las caras fracturadas en el agregado y la relación entre estos parámetros.
- Se investigaron las metodologías para determinar el porcentaje partículas con caras fracturadas en el agregado, realizando el ensayo normalizado: "Ensayo del porcentaje de caras fracturadas según la ASTM D 5821".
- Se visitó el lugar del proyecto *(tramo Entre Ríos- Canaletas),* pudiendo observar y tomar fotografías tanto de los acopios del material, los equipos, siendo lo más importante de las diferentes visitas la familiarización con el proyecto, la obtención y traslado de las muestras para los ensayos posteriores a la ciudad de Tarija.
- Se caracterizó el material de manera que se obtuvo datos importantes como ser su granulometría, límites de consistencia, desgaste de Los Ángeles, dejando claros estos parámetros para ser una referencia en el futuro.
- Se realizaron los ensayos de compactación y de capacidad soporte exitosamente, tomando en cuenta variaciones del porcentaje de partículas con caras fracturadas, por lo que la obtención de los datos fue también exitosa.
- Se identificaron las plantas trituradoras en la ciudad de Tarija haciendo un resumen de sus características principales y el procedimiento de trituración.

En cuanto a los resultados de la investigación se concluye que:

- La capacidad soporte si varía en función al porcentaje de partículas con caras fracturadas, y se alcanzó el objetivo principal determinando el porcentaje óptimo de partículas con caras fracturadas para el proyecto "ENTRE RÍOS CANALETAS",

obteniendo un valor de 61.15 % para una compactación del 100% y un valor del CBR de 80%, según especificaciones del proyecto.

- El porcentaje óptimo obtenido mediante todos los ensayos realizados, es un valor específicamente para el material estudiado, pudiendo ser de referencia para materiales de características similares.

- El material extraído del proyecto "Entre Ríos- Canaletas" debe ser triturado necesariamente, debido a que con un porcentaje inferior a 61.15%, ya no se logra el valor mínimo de CBR requerido.

- Los ensayos aplicados a la muestra no triturada (canto rodado), no alcanzaron los valores mínimos requeridos, por lo que se concluye que la capacidad de soporte es una característica que depende de la naturaleza del árido, haciendo referencia al Proyecto de Grado de *Cristián Camacho "Evaluación geotécnica de bancos de préstamo de materiales aluviales aptos para la conformación de capa sub base",* se corrobora lo dicho, ya que en su tabla de resultados se puede observar que algunos bancos de material alcanzan los valores requeridos y otros no.

- Se puede observar que la densidad máxima del material no varía sustancialmente, pero si tiende a incrementarse en función al porcentaje de partículas con caras fracturadas, aunque con un valor muy pequeño de diferencia.

- Al igual que la densidad máxima del material, la humedad óptima de éste no presenta cambios bruscos, al contrario se mantiene más o menos constante, variando entre un rango muy insignificante, por lo que se adoptó un valor medio de 6.6 %.

- El ensayo del desgaste De Los Ángeles aplicado al mismo material extraído del Proyecto "Entre Ríos- Canaletas", con la diferencia de haber sido separado en: material triturado y rodado, muestra que el material al ser sometido a un proceso de trituración, su desgaste incrementa un 0.71%, aun así ambos valores cumplen con las especificaciones indicadas y requeridas en las especificaciones del proyecto.

- La trituración de áridos en la ciudad de Tarija se dedica a la producción de agregados para hormigones constantemente y no así a agregados para capa base,

argumentando que es un proceso totalmente diferente de producción en el cual tanto la estructura interna como externa de la planta, deben modificarse.

- Según el rendimiento de las plantas trituradoras en cuanto al porcentaje de partículas con caras fracturadas se obtiene un valor del índice CBR mayor al mínimo requerido.

- La ***estimación*** de la comparación del costo entre material rodado y material producido en una planta trituradora es aproximadamente 33%, variando únicamente en el alquiler de la trituradora primaria y secundaria.

- El costo de % fracturación es el costo del material triturado, debido a que el porcentaje de caras fracturadas depende del rendimiento de la trituradora únicamente, que oscila entre 60% y 75%. La muestra del proyecto, en otras palabras el rendimiento en cuanto al porcentaje de partículas con caras fracturadas de la planta trituradora del proyecto "Entre Ríos- Canaletas" es de 67.41%(mostrado en la página49 Tabla Nro. 20 del presente Proyecto).

5.2. RECOMENDACIONES:

En función a los ensayos realizados, visitas, y conceptos adquiridos puede recomendar que:

- En cuanto a los ensayos es importante siempre utilizar el mismo equipo para obtener mayor precisión en los datos y así mejores resultados, sobre todo con respecto a las balanzas.
- Siempre realizar un ensayo del contenido de humedad para realizar los ensayos posteriores de manera adecuada.
- Para el ensayo del reconocimiento del porcentaje de caras fracturadas el material debe estar lavado para una mejor identificación de las fracturas.
- Luego de haber determinado un porcentaje óptimo de partículas con caras fracturadas se podría recomendar hacer un previo estudio de la capacidad soporte en función a este parámetro para verificar si es o no necesario procesar el material.

- Si bien la trituración mejor notablemente la capacidad soporte del material es recomendable realizar un estudio de ésta propiedad para saber si el material cumple o no antes de realizar la especificación técnica, porque esta propiedad varía en función a la naturaleza del árido.