

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La forma y textura de los áridos, son propiedades físicas de las partículas que al ser evaluadas en cuanto a resistencia, pueden definir sus propiedades individuales en el comportamiento y estabilidad mecánica del esqueleto mineral de una mezcla asfáltica; sus características químicas pueden variar dependiendo de su procedencia y tipo de formación rocosa, mientras que sus características físicas dependen tanto de la mineralogía como del triturado, el cual puede garantizar o no, la resistencia y durabilidad de las mismas.

Estudios en Chile sobre las técnicas empleadas para la evaluación de agregados en sus características físicas, han demostrado la incidencia de los mismos en el comportamiento de las mezclas, pudiendo identificar los agregados más valorables que existen y gracias a sus resultados establecer cada uno de ellos para ser adaptados en diferentes partes del país, dependiendo de factor de transividad y temperaturas climáticas.

En la presente investigación se muestra la caracterización de 6 agregados de aportación diferentes, los mismos que son extraídos de las canteras más usuales de la ciudad de Tarija; con la finalidad de someterlos a evaluación para verificar el efecto que causa la forma y textura de los áridos en la propiedad de resistencia en mezclas asfálticas, mediante el ensayo Marshall, pudiendo así llegar a un análisis comparativo de las características físicas de los ya mencionados agregados, y así contar con los resultados para los bancos de referencia que ofrezcan mejor calidad en cuanto a sus agregados.

Para esta investigación se hará uso de las teorías de Krumbein, Zingg, Índice de la partícula, y Coeficiente de la resistencia al deslizamiento, para evaluar las características físicas de los áridos, dichas teorías son aplicables en el diseño y construcción de mezclas asfálticas.

En tal sentido que la presente investigación sobre el estudio de los agregados para las mezclas asfálticas cooperará para la construcciones de carreteras a construirse no sólo en nuestra ciudad, sino en todo el país; de esa manera fortalecer y mejorar la calidad de vida principalmente de las comunidades de nuestros respectivos municipios, vale recalcar, que las carreteras al ser una fuente principal de conexión hace más fácil el acceso a las ciudades facilitando así las oportunidades de libre comercio.

1.2. ANTECEDENTES

Actualmente los estudios sobre los agregados para mezclas asfálticas en países como Brasil, Perú y Chile, que son los países que llevan el liderazgo, con la implementación de ensayos para la caracterización física de los agregados en cuanto forma y textura se refiere, han demostrado que con las nuevas implementaciones y avances de nuevos métodos para el empleo de mezclas asfálticas, se puede estimar y alargar la duración de sus vías.

En Chile existen muchos trabajos de investigación que reflejan las técnicas usualmente empleadas para la evaluación de agregados en sus características físicas, los cuales han demostrado la incidencia de los mismos en el comportamiento de las mezclas, pudiendo identificar los agregados de mejores características en cuanto a sus propiedades y gracias a sus resultados establecen cada uno de ellos para ser adaptados en diferentes partes del país, dependiendo de factor como transividad y temperaturas climáticas.

En la actualidad en Bolivia, el uso de agregados principalmente triturados, ha aumentado significativamente, debido, a que siendo un país en vías de desarrollo, la actividad vial ha tenido una evolución marcada principalmente por la presión que ejerce el mercado, con una demanda creciente en construcción, reparación y mantenimiento de carreteras, es por ellos que se requieren de nuevos estudios aplicables para las mezclas asfálticas más usuales en el país.

1.3. JUSTIFICACIÓN:

Justificación académica: El estudio de los agregados para la aplicación en mezclas asfálticas, puede presentar un gran potencial en nuestra región, puesto que contamos con un número considerable de canteras con áridos disponibles para la construcción, para ello se encuentran las teorías de la ingeniería civil denominadas “Método de Krumbein, Método de Zingg, Índice de la Partícula, Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento”, que son métodos de cálculo aplicables al diseño de mezclas asfálticas para verificar la resistencia mediante el ensayo Marshall.

Justificación social: Se justifica puesto que con esta investigación se podrán implementar nuevas técnicas en la construcción de los pavimentos partiendo de la adaptación precisa de los agregados, es decir, el agregado adecuado, con cemento asfáltico adecuado, para un lugar adecuado, con características propias y adecuadas, pudiendo así optimizar nuestros recursos naturales, en tanto así, brindar calidad y durabilidad de las carreteras.

Justificación económica: La buena administración de los agregados podría ser efectivo para reducir costos en obras, puesto que el contar con carreteras más durables pueden reducirse los mantenimientos y así reducir un gasto económico.

1.4. DISEÑO TEÓRICO

1.4.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico y de la meteorología, estos dos factores, junto con los agentes naturales de los materiales, hacen que la carpeta asfáltica sufra un rápido proceso de deterioro, lo cual conlleva a una disminución paulatina de los niveles de seguridad y confort del tráfico, que sobrepasan ciertos valores y hacen necesaria la conservación de las vías.

El problema que actualmente existe en las vías construidas con mezclas asfálticas en caliente es caracterizado por la poca importancia que se le da al control de los agregados

(áridos) al momento de la construcción; y los pocos estudios que existen sobre los efectos causados por las características físicas de los mismos áridos especificados por normas para el diseño de mezclas asfálticas.

Si bien en la actualidad se realiza la caracterización de los agregados para las mezclas asfálticas usadas en nuestras carreteras, no se cumplen con las evaluaciones necesarias para un mejor resultado a largo plazo, careciéndose de una evaluación del comportamiento mecánico de los agregados dentro de las mezclas asfálticas en las condiciones propias de nuestro territorio; puesto que existen métodos no comúnmente usados en nuestro medio para un análisis más exacto de los áridos en cuanto a sus características físicas (forma y textura) y no se conoce con exactitud los resultados y aplicaciones de cada uno de ellos para un control más exacto de los mismos.

1.4.1.1. PROBLEMA

¿Cuál es la incidencia que tiene las características de forma y textura de los áridos, en las mezclas asfálticas?

1.4.2. OBJETIVOS

1.4.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto que causa la forma y textura de los áridos sobre la resistencia en mezclas asfálticas de tal manera que se observe su comportamiento con el ensayo Marshall.

1.4.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilación de información teórica sobre los métodos y parámetros aplicables a la investigación.
- Determinación de criterios y puntos de recolección de agregados de aportación.
- Caracterización de cemento asfáltico (85/100) y agregados de aportación.

- Aplicación de métodos específicos para evaluar las propiedades físicas de forma y textura de los agregados.
- Elaboración de briquetas de la mezcla bituminosa con agregados normales (Agregado Estándar) y seleccionado en base a forma y textura (Agregado Experimental).
- Correlacionar y comparar propiedades de la mezcla versus las características de textura y forma del agregado.

1.4.3. HIPÓTESIS

Si se realiza una evaluación de áridos, respecto a la forma y textura, entonces se puede determinar la incidencia en la estabilidad Marshall, para lo cual tendrá que ser analizado; cual es el efecto en esas propiedades de la mezcla, a través de los ensayos de laboratorio.

1.4.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

1.4.4.1. Variable Independiente

- Forma de los agregados (X1)
- textura de los agregados. (X2)

1.4.4.2. Variable Dependiente

- Resistencia Marshall. (Y1)

1.4.4.3. Conceptualización y Operacionalización de Variables

Tabla 1.1: Conceptualización y Operacionalización de Variables¹

VARIABLE NOMINAL	CONCEPTUALIZACIÓN	OPERACIONALIZACIÓN		
		DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR-ACCIÓN TÉCNICAS
forma del agregado	la forma del agregado es una característica física de los mismos, que es evaluada para cumplir con los parámetros establecidos por las normas de carreteras.	relacion de longitud y planitud	Geometría del agregado	separación visual
				mediciones mediante micrómetro
textura del agregado	la textura de los agregados es una característica física de los mismos, que es visible y palpable al tacto; es evaluada para cumplir con los parámetros establecidos por las normas de carreteras.	Cantidad de rugosidad, aspereza	Microtextura (Rugosidad, Aspereza)	ensayo de péndulo para CRD
				índice de partícula (IP)
Resistencia	La resistencia es una de las propiedades de las mezclas asfálticas que puede o no garantizar la durabilidad en el transcurso de tiempo.	Mezcla Bituminosa para agregado de la serie (A y B)	% Betún óptimo en base a la Forma y Textura del Agregado	Ensayo Método Marshall

Fuente: elaboración propia

1.5. DISEÑO METODOLÓGICO

1.5.1. COMPONENTES

1.5.1.1. Unidades de Estudio y Decisión Muestral

1.5.1.1.1. Unidad de Estudio

- Mezclas asfálticas.

1.5.1.1.2. Población

- Diferentes tipos de agregados de las mezclas asfálticas en forma, textura.

¹ Elaboración propia; estudiante Raquel Carla Fernández Yurquina.

1.5.1.1.3. Muestra

- Agregados naturales y triturados de la región de Tarija, para mezclas asfálticas.

1.5.1.1.4. Muestreo

- Materiales de yacimientos (Naturales); materiales de planta (triturados).
 - Los materiales naturales o de yacimientos a ser usados serán de:
 - ✓ Erquis
 - ✓ Guadalquivir.
 - ✓ La Ventolera.
 - Los materiales de planta o triturados a ser usados son:
 - ✓ San Mateo (Planta de ALCALDIA)
 - ✓ Guadalquivir (Planta de ERICKA)
 - ✓ Charaja (Planta de SEDECA)

1.5.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.5.2.1. Selección de Método

Método inductivo, puesto que pretendemos obtener conclusiones generales a partir de las premisas particulares. Siendo el método científico más usual, en el que podremos distinguir cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y estudio de estos hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y la contrastación.

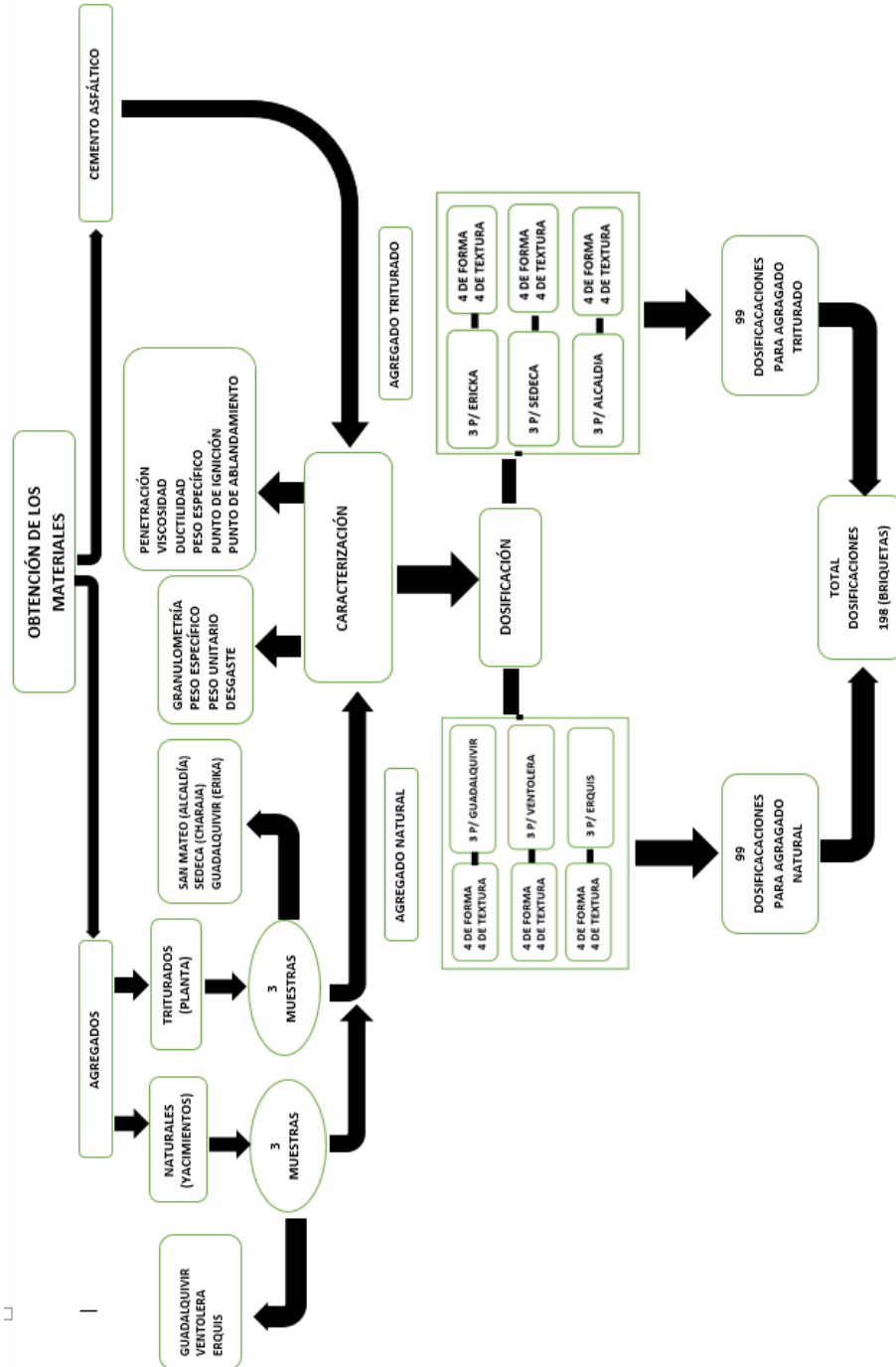
1.5.2.2. Técnicas para el Método

Dentro de las técnicas inductivas se incluye:

- Ensayos de laboratorio.
- Comparaciones.

1.5.2.3. Metodología

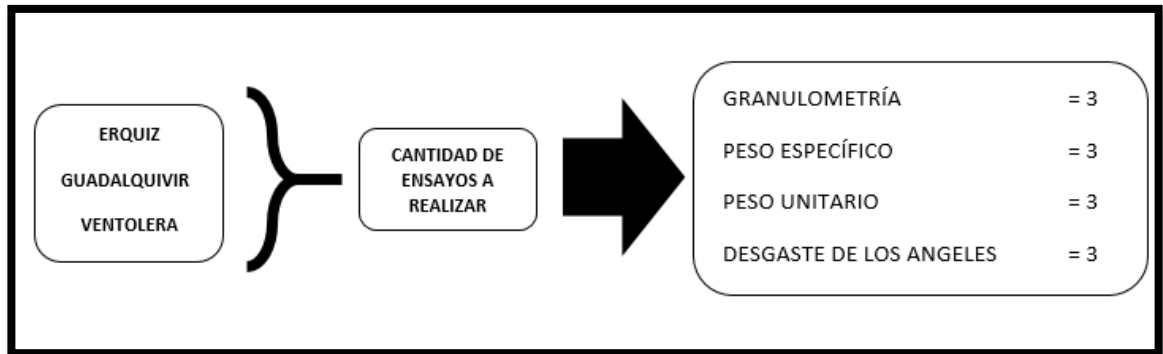
Esquema 1.1: Esquema general²



Fuente: elaboración propia

² Elaboración propia; estudiante Raquel Carla Fernandez Yurquina.

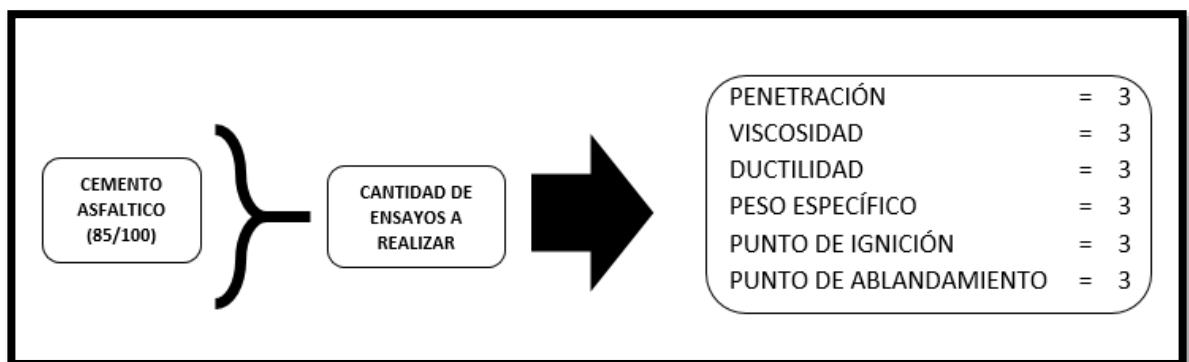
Esquema 1.2: Esquema de agregado natural (Yacimientos)³



Esquema 1.3: Esquema de agregado triturado (de planta)⁴



Esquema 1.4: Esquema de cemento asfáltico 85/100⁵



Fuente: elaboración propia.

³ Elaboración propia; estudiante Raquel Carla Fernandez Yurquina.

⁴ Elaboración propia; estudiante Raquel Carla Fernandez Yurquina.

⁵ Elaboración propia; estudiante Raquel Carla Fernandez Yurquina.

1.5.2.4. Descripción de Equipos e Instrumentos

A. Para la caracterización de los agregados

Tanto para los agregados a reciclar como para los agregados de aportación:

- a. Horno Eléctrico.-El horno eléctrico es utilizado para el secado de los agregados de aportación, y debe contar con una temperatura constante de 100 a 110 °C.
- b. Balanza.- La balanza es usada para obtener los distintos pesos que se requiera, con una sensibilidad de 0.1 gr.
- c. Juego de Tamices.- El juego de tamices debe seguir la norma ASTM E-11, lo cual contiene los tamices 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200, tapa y fondo.

B. Para la caracterización del betún

Tanto para el betún a reciclar como para el betún de aportación:

- a. Penetrómetro de Asfalto.- Que sirve para determinar la penetración del betún en estudio.
- b. Viscosímetro del Asphalt Institute y el baño de viscosímetro Saybolt.- Con los cuales se determina la viscosidad del betún en estudio.
- c. Aparato para la determinación del punto de inflamación Cleveland de copa abierta.- Con el cual se determina el punto de Ignición o punto de llama del betún en estudio.
- d. Ductilímetro.- Con el cual se determina la ductilidad del betún, a una temperatura estándar de 25 °C.
- e. Peso Específico.- Que sirve para determinar la densidad del cemento asfáltico.

C. Para la dosificación y diseño de briquetas

- a. Moldes de compactación para asfaltos.- En estos moldes se vaciará la mezcla bituminosa reciclada, creando briquetas con distintos porcentajes de betún.
- b. Compactador para moldes para asfaltos.- Este compactador sirve para compactar las briquetas según especificaciones técnicas.

D. Para los ensayos de resistencia técnica

- a. Marco de carga multiplex Marshall.- Este marco sirve para disponer en él los distintos cabezales, según las pruebas que se requiera.
- b. Cabezal de Rotura Marshall.- Este cabezal junto con el marco multiplex, permite realizarlos ensayos de estabilidad y fluencia para las briquetas en análisis.

1.5.2.5. Procedimiento de Aplicación

a. Extracción de las muestras (Agregados y Betún)

- Para el agregado Natural se procede a visitar el lugar para realizar una previa inspección y ubicar los puntos de donde se obtendrán las muestras.
- Una vez determinado los puntos exactos de donde se van a extraer las muestras, se hace uso de la pala y picota para sacar las muestras en bloques o trozos.
- Para el agregado triturado se proceda a visitar las plantas ya indicadas para la obtención de los mismos.
- Para el Betún se procedió a visitar las instalaciones de la alcaldía para poder tener la obtención del mismo.
- Después de obtener todas muestras, las mismas serán llevadas al laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

b. Caracterización de los agregados

Para caracterizar los agregados ya sea a reciclar o de aporte, se deben someter al horno el secado y luego someterlo a la serie de tamices, con trillado constante en el RopTap por unos quince minutos aproximadamente, luego de este tiempo proceder al pesaje del material que contiene cada tamiz.

Con estos valores obtener las curvas granulométricas tanto para los agregados a reciclar como para los agregados de aporte.

Analizar ambas curvas granulométricas y compensar los porcentajes, de tal manera que se obtenga una nueva curva granulométrica, optimizando el agregado a reciclar. Esta nueva curva granulométrica debe cumplir con las normas que proporcionan rangos máximos y mínimos para cada tamiz.

c. Selección de agregados según Forma y Textura.

Para proceder a seleccionar a los agregados se hará uso de los siguientes métodos:

- FORMA: Método de Zingg, Método de Krumbein.
- TEXTURA: Índice de partícula, Coeficiente de resistencia al deslizamiento mediante el péndulo británico.

Para la codificación de los agregados se usará la siguiente serie:

- **Agregados Triturados:**
 - San Mateo (Alcaldía) = A-A
 - Guadalquivir (Erika) = A-G
 - Charaja (SEDECA) = A-S
- **Agregados Naturales**
 - Erquis = B-E
 - Guadalquivir = B-G
 - Ventolera = B-V

d. Caracterización del betún

En este proyecto la caracterización del betún a reciclar como del betún de aporte, se basa en la determinación de la Viscosidad, Penetración y Punto de Inflamación, ya que se considera que son los tres parámetros más importantes para el presente estudio. Estos parámetros deben cumplir con los rangos especificados por normas, caso contrario no sería viable para realizar mezclas asfálticas y se buscaría otra procedencia del betún.

e. Dosificación y diseño de briquetas

Para la dosificación de las briquetas, se debe considerar que la granulometría del agregado será constante, como se determinó anteriormente. A este agregado se le incluirá el ligante, que consta de verter todo el betún envejecido e incluir el betún de aporte, siendo este último variable en su porcentaje. De tal manera se obtendrán briquetas con cinco porcentajes de betún adicional, para luego someterlos a las pruebas de resistencia técnica.

Es necesario resaltar que para el diseño de las briquetas se seguirá el Método Marshall.

f. Ensayos de resistencia técnica

Para los ensayos de resistencia técnica, se deben tener listas las briquetas, con su respectiva enumeración, para luego someterlas a las pruebas de Densidad, Estabilidad y Fluencia según el Método Marshall.

1.5.2.6. Preparación Previa

Dentro de la preparación previa a los ensayos, es necesario contar con tablas que permitan la tabulación de datos, donde especifique el lugar de obtención, el tipo de muestra, el ensayo a realizar, la numeración respectiva y los datos que se van a necesitar para cada tipo de ensayo.

Junto con lo anterior debe ir un cronograma de actividades para que permita el fácil desarrollo de las actividades o acciones a realizar.

1.5.2.6.1. Medios.

- Manuales de diseño de pavimentos.
- Manuales de laboratorio de suelos.
- Material de escritorio.
- Calculadora científica.
- Cámara fotográfica Computadora para documentar datos obtenidos y procesar.
- Programas de computación (Google Earth, Excel, Word).

1.5.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización y de las pruebas de resistencia técnica, se procede al tabulado y si es necesario corregir los resultados obtenidos de cada ensayado.

Con los ensayos de caracterización determinamos el cumplimiento de requisitos mínimos según normas, que deben tener tanto del ligante que es el betún y de los agregados.

Con los ensayos de pruebas de resistencia técnica determinamos las siguientes curvas:

Para cálculo de Betún Óptimo:

- 1) % de Betún Óptimo vs. Densidad
- 2) % de Betún Óptimo vs. Estabilidad
- 3) % de Betún Óptimo vs. Fluencia
- 4) % de Betún Óptimo vs. % de Vacíos de la Mezcla
- 5) % de Betún Óptimo vs. Relación Betún Vacíos
- 6) % de Betún Óptimo vs. Vacíos de Agregado Mineral

Trabajando con el % óptimo de Betún y Serie de los Agregados.

- 7) Serie de los Agregados (A y B) vs. Densidad
- 8) Serie de los Agregados (A y B) vs. Estabilidad
- 9) Serie de los Agregados (A y B) vs. Fluencia
- 10) Serie de los Agregados (A y B) vs. % de Vacíos de la Mezcla
- 11) Serie de los Agregados (A y B) vs. Relación Betún Vacíos
- 12) Serie de los Agregados (A y B) vs. Vacíos de Agregado Mineral

De cada curva se selecciona el valor del porcentaje de betún más adecuado (Betún óptimo) con el que trabajará para análisis comparativo. Con el porcentaje de Betún óptimo se procede a dosificar las briquetas para el análisis comparativo posterior; las mismas que cuentan con características de forma y textura de agregados diferentes.

Con los resultados obtenidos se procede a trazar las gráficas que nos proporcionaran los resultados más favorables para poder identificar el agregado que proporcionará mayor resistencia en base a sus características físicas de los mismos (forma y textura).

1.6. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Para el capítulo I, el proyecto presentará toda la información previa del proyecto de investigación, como ser la introducción de la investigación, que habla de los conceptos y propósitos del mismo; la justificación que nos describe la necesidad del poner en marcha el proyecto; el planteamiento del problema que tratará la situación problemática y problema por el cual se realiza el proyecto, los objetivos general y específicos, los mismos que se

pretenden cumplir con el proyecto y la hipótesis de la investigación, con sus variables dependientes e independientes bien conceptualizadas.

El diseño metodológico nos denota la identificación de la unidad, la población, muestra, muestreo; así también, los medios y técnicas a ser usados, pudiendo así esquematizar el procedimiento para los ensayos de laboratorio.

Para el capítulo II, constará de todos los temas importantes que se puedan obtener de la bibliografía para el conocimiento necesario, que es prioridad para llevar a cabo de manera correcta el proyecto, entre los más importantes está el empleo de las mezclas asfálticas en la construcción de firmes, pudiendo a su vez conocer más de acerca de su funcionalidad, las propiedades de las mezclas dentro de la capa de rodadura, para así llegar a lo que es la clasificación de dichas mezclas; la caracterización de los agregados, que será según el sistema AASHTO y ASTM, analizando el tamaño de las partículas mediante la granulometría y sus respectivos coeficientes, tanto de uniformidad y curvatura y lo más importante se medirá la resistencia Marshall, que es el objeto de investigación, analizando su comportamiento de las dosificaciones que serán realizadas.

El capítulo III, se desarrolla la aplicación práctica, la misma que partirá desde la ubicación de la zona donde extraerán las muestras para el estudio, así también, vale recalcar que los agregados serán: de procedencia natural (Yacimientos); éstos serán de Erquis, Guadalquivir, la Ventolera; además, material de planta (triturado); éstos serán de la planta Erika, SEDECA (Charaja), Alcaldía (Portillo); también se deberán considerar los criterios de caracterización; tener información sobre las normas y procedimientos a seguir para cada tipo de ensayo que se realice y el grado de exactitud que presentan dichos ensayos; los laboratorios a utilizar, si se encuentran normalizados; y por último los resultados o datos obtenidos mediante los ensayos de caracterización del material granular.

De la misma forma que para el agregado, se deberá obtener el cemento asfáltico y posteriormente realizar los ensayos de caracterización del mismo; los ensayos de laboratorio

a realizar son: penetración, viscosidad, ductilidad, peso específico, punto de ignición y punto de ablandamiento. Para la dosificación Marshall, se tendrá un total de 198 briquetas.

Para el análisis de resultados, los datos obtenidos de la caracterización de los agregados y del asfalto, otorgarán una tabla comparativa entre los diferentes resultados; pudiendo ver así los resultados más favorables, con los cuales se presentará una propuesta final de valores para cada tipo de agregado, tanto agregado natural, como el agregado triturado; el análisis de comportamiento de dichas muestras dentro de las mezclas asfálticas, nos darán una respuesta al problema propuesto.

Por último se señalarán las conclusiones y recomendaciones de los objetivos planteados; en base al análisis de los resultados obtenidos, se medirá las proporciones del cumplimiento de los objetivos, tanto generales como específicos; las recomendaciones se darán sobre los requisitos que se necesitan cumplir para tomar en cuenta la propuesta final.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.MARCO TEÓRICO

2.1.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS.-

2.1.1.1. Definición de Mezcla Asfáltica.

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004).

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráficos pesados intensos.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

2.1.1.2. Clasificación de las Mezclas Asfálticas.

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

2.1.1.3. Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

2.1.1.4. Por la Temperatura de puesta en obra.

- Mezclas asfálticas en Caliente
- Mezclas asfálticas en Frío

2.1.1.5. Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

2.1.1.6. Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10mm.
- Mezclas Finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

2.1.1.7. Por la Estructura del agregado pétreo.

- Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.

- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

2.1.1.8. Por la Granulometría.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

2.1.1.9. Empleo de las mezclas asfálticas en la construcción de firmes.

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta.

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un firme:

1. La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.

2. La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores se le denomina pavimento.

Las tipologías de los firmes de acuerdo a su comportamiento y respuesta se pueden dividir en los siguientes tipos:

a) Firmes Flexibles. (Base Granular).

Constituidos por capas de sub-base y base de material granular, y por un tratamiento superficial o por una capa de mezcla asfáltica de espesores muy delgados que pueden ir hasta los 10 cm. regularmente, las capas granulares resisten fundamentalmente la acción del tráfico, la capa de rodadura sirve para impermeabilizar el firme, resistir los efectos abrasivos del tráfico y proporcionar una rodadura cómoda y segura.

b) Firmes Flexibles. (Base Asfáltica).

Compuesto por una base y un pavimento asfáltico y el cual está constituido por una capa intermedia y otra de rodadura, la sub-base puede ser granular o bien tratada con un ligante hidráulico o hidrocarbonado.

c) Firmes Semi-rígidos . (Base tratada con ligantes hidráulicos).

Constituido por una capa de base tratada con ligantes hidráulicos, o de concreto, la sub-base suele ser de material granular, pudiendo ser estabilizada, el pavimento está formado por una o dos capas de mezcla asfáltica (rodadura e intermedia).

d) Firmes Rígidos. (Pavimentos de hormigón). Están formados por una losa de hormigón colocada directamente sobre la explanada, o sobre una capa de base granular o estabilizada o un hormigón pobre, la losa de hormigón actúa como capa de rodadura.

2.1.1.10. Funcionalidad de las mezclas asfálticas en los firmes.

Las mezclas asfálticas como ya hemos visto anteriormente sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes.

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo transversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación. Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la geología del material.

Las cualidades funcionales del firme residen fundamentalmente en su superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

1. La adherencia del neumático al firme.
2. Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
3. El desgaste de los neumáticos.
4. El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
5. La comodidad y estabilidad en marcha.
6. Las cargas dinámicas del tráfico.
7. La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
8. El envejecimiento de los vehículos.
9. Las propiedades ópticas.

Estos aspectos funcionales del firme están principalmente asociados con la textura y la regularidad superficial del pavimento.

Actualmente la reología de las mezclas está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento. Por ejemplo, son fácilmente asequibles estos ajustes, según la región climática o las condiciones de velocidad de los vehículos, en los métodos de diseño de pavimentos.

Como resumen, se puede decir que en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las propiedades siguientes:

- Estabilidad.
- Durabilidad.
- Resistencia a la fatiga.

Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las propiedades siguientes:

- Resistencia al deslizamiento.
- Regularidad.
- Permeabilidad adecuada.
- Sonoridad.
- Color, entre otras.

2.1.1.11. Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura.

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario. Por ejemplo, en los países fríos, en particular en el centro de Europa, se han desarrollado mezclas muy impermeables y ricas en mortero. Si estas mezclas no proporcionan la textura adecuada, se recurre a procedimientos ajenos a la propia mezcla como son la incrustación en la superficie de gravillas o al abujardado en caliente.

En las capas de rodadura el uso de agregados de alta calidad y de aditivos se justifica por las solicitaciones a que están sometidas. Actualmente la modificación de ligantes se ha generalizado para carreteras importantes persiguiéndose la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla. Por la misma razón, la calidad de los agregados es absolutamente imprescindible, aunque todo ello suponga un costo mayor para el pavimento.

2.1.1.12. Propiedades de las mezclas asfálticas para capas inferiores.

Las capas de espesor apreciable de un firme tienen una misión estructural fundamental para absorber la mayor parte de las solicitaciones del tráfico, de forma que éstas lleguen convenientemente disminuidas a las capas inferiores, explanada o cimiento de la carretera.

Existen tendencias y países que llegan a utilizar paquetes asfálticos de gran espesor que forman la losa estructural fundamental del firme. En otros casos la función resistente radica en la colaboración con otras capas de materiales granulares o hidráulicos.

Tabla 2.1: propiedades de las mezclas asfálticas⁶

Seguridad Resistencia al deslizamiento Regularidad transversal Visibilidad (marcas viales)
Comodidad Regularidad longitudinal Regularidad transversal Visibilidad Ruido
Durabilidad Capacidad soporte Resistencia a la desintegración superficial
Medio ambiente Ruido Capacidad de ser reciclado
Trabajabilidad

⁶ ALEJANDRO PADILLA R. 2004; *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas de la normativa Mexicana mediante el ensayo de pisa*. Tesis; Ing. Pedro Jiménez, Félix Edmundo. Univ. Politécnica de Cataluña. Barcelona-España. Fac. Cien. Cap. III, (39-61) p.

Tabla 2.2: Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas⁷

Textura superficial
Conductividad hidráulica
Absorción de ruido
Propiedades mecánicas (en relación con el tráfico)
Resistencia a la fisuración por fatiga
Resistencia a las deformaciones plásticas permanentes
Módulo de rigidez
Resistencia a la pérdida de partículas
Durabilidad (en relación con el clima)
Resistencia al lavado por el agua
Resistencia a la fisuración térmica
Resistencia a la fisuración por reflexión
Resistencia al envejecimiento
Trabajabilidad
Compactabilidad
Resistencia a la segregación agregado grueso/fino
Resistencia a la segregación agregado/ligante

2.3: Propiedades de mezclas asfálticas significativas para cada capa.⁸

Propiedades técnicas	Significativa para			
	Rodadura	Intermedia	Base	Subbase
A. Resistencia al deslizamiento				
A.1. Macrotextura	X	/	/	/
A.2. Microtextura	X	/	/	/
B. Propiedades mecánicas (relacionadas con el tráfico)				
B.1. Resistencia a fatiga/iniciación de grietas	X	X	X	/
B.2. Resistencia a la propagación de grietas	X	X	X	/
B.3. Resistencia a la deformación plástica permanente	X	X	X	/
B.4. Módulo de rigidez	X	X	X	X
B.5. Resistencia a la pérdida de partículas/general	1)	/	/	/
B.6. Resistencia a la pérdida de partículas/neumáticos con clavos	2)	/	/	/
C. Propiedades de durabilidad (relacionadas con el clima)				
C.1. Resistencia al lavado por el agua	X	X	X	X
C.2. Resistencia al envejecimiento	X	/	/	/
C.3. Resistencia a la fisuración térmica	X	/	/	/
D. Propiedades relativas a la trabajabilidad				
D.1. Compactabilidad	X	X	X	X
D.2. Sensibilidad a la segregación/agregado grueso/fino	X	X	X	X
D.3. Sensibilidad a la segregación/escurrecimiento de ligante	X	/	/	/
E. Otras propiedades				
E.1. Conductividad hidráulica	1)	/	/	/
E.2. Absorción de ruido	1)	/	/	/

1) Sólo en mezclas drenantes

2) Sólo en zonas en las que se permitan neumáticos con clavos

^{5,6} ALEJANDRO PADILLA R. 2004; *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas de la normativa Mexicana mediante el ensayo de pisa*. Tesis; Ing. Pedro Jiménez, Félix Edmundo. Univ. Politécnica de Cataluña. Barcelona-España. Fac. Cien. Cap. III, (39-61) p.

Tabla 2.4: Clasificaciones de las mezclas asfálticas⁹.

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frio
	En Caliente
Huecos en la mezcla (h)	Cerradas (h < 6%)
	Semicerradas (6% < h < 12%)
	Abiertas (h > 12%)
	Porosas (h > 20%)
Tamaño máximo del agregado (t máx)	Gruesas (t máx > 10 mm)
	Finas (t máx < 10 mm)
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

2.1.2. AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1.2.1. Procedencia de los agregados (tipos de piedras)



⁹ALEJANDRO PADILLA R. 2004; *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas de la normativa Mexicana mediante el ensayo de pisa*. Tesis; Ing. Pedro Jiménez, Félix Edmundo. Univ. Politécnica de Cataluña. Barcelona-España. Fac. Cien. Cap. III, (39-61) p.

Las rocas ígneas

Se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica. Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie se forman rocas con cristales grandes denominadas rocas plutónicas o intrusivas, mientras que si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, por ejemplo, tras una erupción volcánica, se forman rocas con cristales invisibles conocidas como rocas volcánicas o extrusivas. La mayor parte de los 700 tipos de rocas ígneas que se han descrito se han formado bajo la superficie de la corteza terrestre. Ejemplos de rocas ígneas son: la diorita, la riolita, el pórfido, el gabro, el basalto y el granito.

Las rocas sedimentarias

Son rocas que se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua, el hielo o el viento, y son sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis), que dan lugar a materiales consolidados. Las rocas sedimentarias pueden formarse a las orillas de los ríos, en el fondo de barrancos, valles, lagos, mares, y en las desembocaduras de los ríos. Se hallan dispuestas formando capas o estratos.

Las rocas metamórficas

Son las que se forman a partir de otras rocas mediante un proceso llamado metamorfismo. rocas ígneas, rocas sedimentarias u otras rocas metamórficas, cuando éstas quedan alrededor de 1.500 bar, altas temperaturas(entre 150 y 200 °C) o a un fluido activo que provoca cambios en la composición de la roca, aportando nuevas sustancias a ésta. Al precursor de una roca metamórfica se le llama protolito.

2.1.2.2. Definición de agregados pétreos.

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la

fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos¹⁰.

2.1.2.3. Tipos de agregados pétreos.

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

a) Agregados Naturales.

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

b) Agregados de Trituración.

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera 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.

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

d) Agregados Marginales.

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

¹⁰ *Smith M. R. and L. Collins, 1994.*

2.1.3. Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño:

2.1.3.1. Agregado grueso.

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

2.1.3.2. Agregado fino.

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #4 y queda retenido en el tamiz #200. Y según la normativa Europea UNE-EN 933-2, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz 2mm y queda retenido en el tamiz 0.063mm.

2.1.3.3. Polvo mineral (Fíller).

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200. Y según la normativa Europea UNE-EN 933- 2., se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz 0.063mm.

2.1.4. Propiedades y caracterización de los agregados pétreos.

La aptitud de un árido como material de construcción depende de las propiedades físicas y químicas de sus partículas, por lo que es necesario establecer procedimientos normalizados de ensayo para su determinación. Además, según sea la capa del firme a la que vaya destinado, se le exigirán ciertas propiedades y características que aseguren su correcto comportamiento.

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

2.1.4.1. Propiedades de conjunto.

Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como un todo.

La distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado.

2.1.4.2. Propiedades individuales.

Los agregados como elementos aislados tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc. Asimismo presentan unas propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.

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

Las principales características que se deben tener en:

2.1.5.1. Forma, textura y angulosidad de los agregados.

2.1.5.1.1. Agregado fino¹¹:

La forma del agregado se discutió básicamente en la diferencia entre agregados naturales (gravas) y agregados artificiales o chancados. Se encuentran en la bibliografía reportes que indican que la forma de la partícula del agregado fino es más importante que la forma del agregado grueso porque mejora la estabilidad de las mezclas HMA al incrementar su resistencia a las deformaciones permanentes.

¹¹ ING. SILENE MINAYA GONZALEZ, M.I. e ING. ABEL ORDÓÑEZ HUAMAN; SUPERPAVE y el diseño de mezclas asfálticas; Instituto de Investigación-UNI, Rimac- Lima. Perú (Mayo del 2013)

Los siguientes procedimientos de ensayo son actualmente usados en los U.S. para determinar la forma y textura superficial de los agregados finos:

ASTM D3398 : Índice de Forma y Textura del Agregado

AASHTO T304 : Contenido de Vacíos no compactados del agreg. fino.

(ASTM C1252)

Sin embargo, son amplios los estudios del efecto de la forma del agregado en la estabilidad de las mezclas HMA. Entre los investigadores que desarrollaron trabajos al respecto están: Lottman y Goetz; Shklarsky y Livneh; Griffith y Kallas; Wedding y Gaynor; Manpin; Herrin y Goetz; Moore y Welke; Foster. Son varios los métodos para evaluar la forma y textura de la partícula del agregado fino. Estos métodos se dividen generalmente en dos categorías, directos e indirectos.

Los métodos directos son aquéllos que evalúan directamente cada partícula y los métodos indirectos, miden las propiedades bulk del agregado fino por fracción o tamiz y la combinación de ellos.

a) **Métodos Directos**

- ***Método de la Corps of Engineers CRD-C120-55***

Método de Ensayo de partículas chatas y alargadas para agregados finos. La forma de la partícula se evalúa con microscopio. La muestra se separa en cinco tamices, se contabiliza las partículas que tienen relación largo a ancho de más de tres para cada grupo y se obtiene en porcentaje. Este método evalúa la forma de la partícula pero no la textura.

- ***Método Laughlin***

Este método desarrollado básicamente para agregado fino y usado en concreto de cemento Pórtland, mide las partículas retenidas en cada fracción usando fotografías ampliadas de

partículas. Se evalúa el radio de curvatura de las partículas y el radio del círculo que se puede inscribir. Este ensayo mide la redondez de la partícula y no su textura superficial.

b) Métodos Indirectos

- *ASTM D3398 Standard Test Method for Index of Aggregate Particle Shape and Texture*

La muestra se separa en fracciones individuales determinando su granulometría. El material de cada tamiz se compacta, por separado, en un molde cilíndrico con 10 y 50 golpes, usando un pisón desde una altura de 2 pulgadas. Concluido el apisonamiento el molde se llena completamente con material hasta el ras. Se pesa el material más el molde para cada energía de compactación y se calcula el porcentaje de vacíos. Se calcula el índice de partícula de cada tamiz y con la distribución granulométrica conocida, se calcula el índice de partícula promedio por peso.

National Aggregate Association, NAA

Método propuesto para calcular la forma y textura de la partícula de agregado fino usando el contenido de vacíos no compactados. Para el ensayo se vierte agregado fino de gradación conocida a través de un embudo de diámetro conocido, hasta llenar un cilindro de 100 cm³ de volumen. Se retira el exceso de material y se pesa el cilindro con el agregado.

El contenido de vacíos no compactados se calcula conociendo el peso del agregado y su gravedad específica seca bulk. Se propusieron dos variaciones a este método de ensayo, el método A usa muestra de gradación específica mientras que en el método B el contenido de vacíos se calcula usando el resultado del contenido de vacíos de tres tamaños: no. 8 a no. 16, no. 16 a no. 30 y no. 30 a no. 50.

Prácticas Actuales de Evaluación

De los ensayos resumidos, sólo el método ASTM D3398 mide la forma y textura de las partículas de agregados. Entre los años 1991 a 1992 los investigadores de la NCAT realizaron trabajos de investigación para correlacionar los resultados obtenidos con el método NAA (no estandarizada) y la ASTM D3398 (estandarizada), la razón es que este último ensayo toma mucho tiempo para su ejecución.

Una de las conclusiones de la NCAT es que según el Método ASTM D3398 las arenas naturales tienen valores menores de índice de partícula de forma y textura del agregado que las arenas chancadas. Un valor de índice de partículas de 14 puede diferenciar las arenas naturales de las chancadas, éste valor mínimo puede ser usado en las especificaciones.

Similares tendencias se observaron en los resultados de los Métodos A y B usando el método de la NAA. Se concluyó en¹²:

$$\begin{array}{ll} I_a = 1.03V_{NAA} - 31.2 & \text{Método A} \\ I_a = 1.00V_{NAA} - 33.5 & \text{Método B} \end{array}$$

Donde:

- I a índice de partícula de forma y textura del agregado
- VNAA contenido de vacíos no compactados (mide la forma y textura de la partícula) obtenidos con el método NAA

2.1.5.1.2. Agregado grueso:

Los siguientes ensayos son los más comunes en la determinación de la forma y textura superficial de los agregados gruesos:

ASTM D3398: Índice de Forma y Textura del Agregado

¹² P. Kandhal y otros, "Evaluation of Particle Shape and Texture of Mineral Aggregates and Their Blends", NCAT, May 1992.

ASTM D4791: Partículas Chatas y Alargadas en Agregados Gruesos

ASTM D5821: Determinación del Porcentaje de Caras Fracturadas en Agregados Gruesos.

Partículas Chatas y Alargadas

Las partículas chatas y alargadas son poco deseables en las mezclas asfálticas porque tienden a quebrarse durante la construcción y bajo tráfico. Este procedimiento está estandarizado por ASTM D4791, Flat or Elongated Particles in Coarse Aggregate y se realiza en agregados mayores al tamiz 4.75 mm.

2.1.5.2. Agregados para bases granulares.

El estudio del comportamiento mecánico de los agregados en base a las características físicas no es reciente. Existe una vasta literatura sobre el tema que tiene sus antecedentes en el estudio de agregados para bases granulares. Por ello, a continuación se presenta un resumen de las investigaciones realizadas y actuales sobre agregados en bases granulares.

La cuantificación de la forma, angularidad, y textura superficial de materiales de base granulares fue estudiado en los años noventa por el Dr. Janoo, para la U.S. Army Cold Regions Research & Engineering Laboratory. Las investigaciones realizadas se orientan a cuantificar las irregularidades geométricas del agregado y el efecto de las irregularidades en el comportamiento de base granulares.

Métodos Directos

- **Forma del agregado¹³**

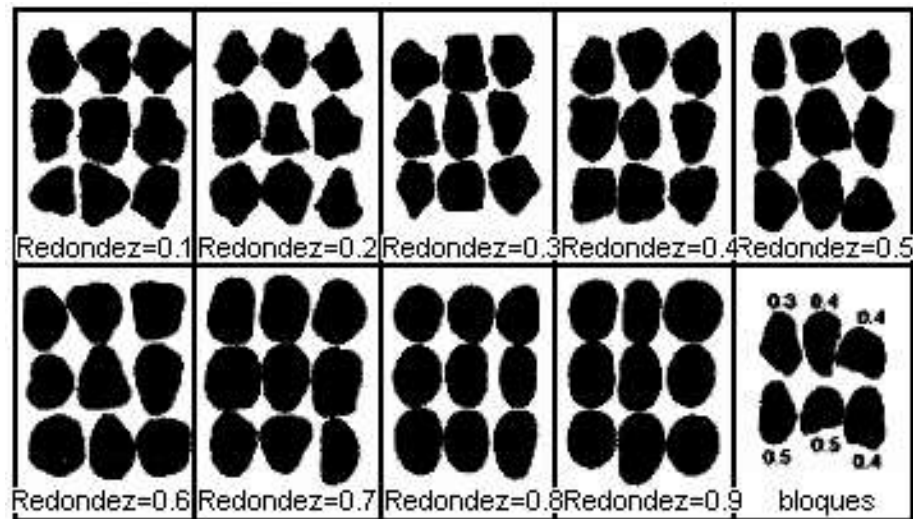
¹³ ING. SILENE MINAYA GONZALEZ, M.I. e ING. ABEL ORDÓÑEZ HUAMAN; SUPERPAVE y el diseño de mezclas asfálticas; Instituto de Investigación-UNI, Rimac- Lima. Perú (Mayo del 2013)

La norma ASTM D2488-90, Standard Practice for Descripción and Identification of Soils (procedimiento visual-manual), describe la forma del agregado como chata o alargada, o chata y alargada usando diversos criterios. Estos criterio se desarrolló para identificar los agregados como chatos y alargados y no como una herramienta general para describir la forma del agregado grueso¹⁴.

2.1.5.3. Método de Krumbein(1941):

Se prepararon cartas visuales, elaboradas por Krumbein 1941, para estimar la redondez del agregado, la fig. 2.1 muestra una carta para determinar la redondez para agregados de 16 a 32 mm. La redondez (R) varía entre 0.1 y 0.9. Un valor de R mayor que 0.6 indica alta redondez, R entre 0.4 y 0.6 indica redondez media, y R menor que 0.4 indica redondez baja.

Figura 2.1 Carta de redondez para agregados de 16 a 32 mm (Krumbein 1941)



2.1.5.4. Método de Zingg (1935).

Determinación de redondez, esfericidad y ecuanticidad.

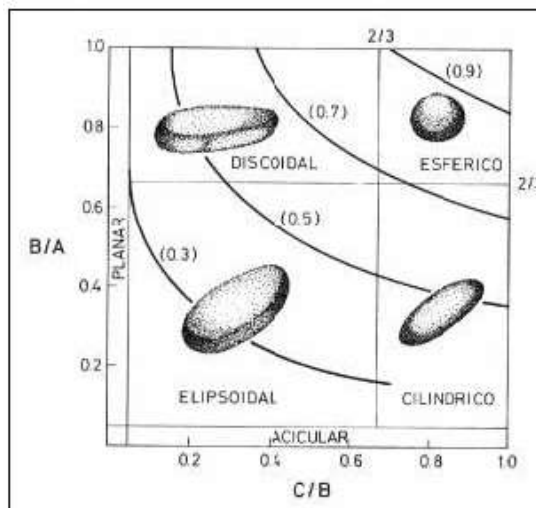
La forma de un clasto puede definirse de acuerdo a las características geométricas o la relación entre los ejes de un rodado. Mediante la aplicación del concepto de forma se puede

¹⁴ V. Janoo, "Quantification of Shape, Angularity, and Surface Texture of Base Course Materials"

distinguir entre un rodado prolado (un eje largo y dos cortos) de otro oblado (dos ejes largos y uno corto).

La forma se define por la relación entre los ejes: c/b y $a-b/a-c$, como lo propusieron Sneed y Folk (1958) en su diagrama triangular; o por medio de cuatro clases, como las propuestas por Zingg (1935), basadas en los valores c/b y b/a (Fig. 2.2.).

Fig. 2.2. Clases de forma de granos según Zingg (1935) y su relación con la esfericidad de Krumbein (1941) (en Corrales Zarauza et al, 1977)



- Métodos Indirectos

2.1.5.5. Índice de Partícula (IP)

El índice de partícula (I_a) se basa en el concepto que la forma, angularidad y textura superficial de agregados del mismo tamaño no solo afecta la relación de vacíos sino también la relación a la cual los vacíos varían cuando el agregado es compactado en un molde estandar (Huang 1962).

El ensayo del índice de partícula se desarrolló para tres tamaños de agregados: los que pasan la 19 mm y se retienen en el tamiz 12.7 mm, pasan la 12.7 mm y se retienen en el tamiz 9.5

mm, y pasan la 9.5 mm y se retienen en el tamiz no. 4 (4.75 mm). Para cada tamaño de agregado se realiza el ensayo con un pisón uniforme dando 10 golpes en tres capas iguales dentro de un molde estándar, compactada la última capa, se rellenan los vacíos superficiales con muestras de agregado. Se repite el mismo procedimiento con 50 golpes por capa. El porcentaje de vacíos en el agregado se calcula usando la siguiente ecuación:

$$V_n = \left[1 - \frac{W_n}{S \times v} \right] \times 100$$

Donde:

V_n =porcentaje de vacíos a “n” golpes por capa

W_n =peso neto del agregado en el molde a “n” golpes por capa, gr.

S =densidad bulk del agregado, gr/cm³

V =volumen del molde, cm³

El índice de partículas (I_a) se calcula usando la siguiente expresión:

$$I_a = 1.25V_{10} - 0.25V_{50} - 32.0$$

Los ensayos realizados demostraron que el método es capaz de diferenciar entre agregados lisos, redondeados, rugosos y angulares. Además, el índice distingue los diferentes niveles de gravas chancadas. El ensayo está estandarizado por ASTM D3398-93 (1996), Standard Test Method for Index of Aggregate Particle Shape and Texture, para agregados gruesos y finos. Para la fracción gruesa, el tamaño máximo se incrementa a 38 mm. Dependiendo del tamaño del agregado a ser ensayado se usan diferentes moldes.

El problema con este ensayo, respecto a agregados gruesos, es la determinación del volumen de vacíos. Inicialmente, los vacíos fueron calculados basándose en el volumen del molde. Esto implicaba que los agregados llenaran todo el molde hasta la superficie. Se concluyó que el resultado de los ensayos dependía del operador. En mezclas granulares compactadas,

las partículas angulosas tienen mejor trabazón y desarrollo de fricción interna, resultando en estructuras con mayor estabilidad mecánica.

Las mezclas con partículas redondeadas, tienen mejor trabajabilidad y requieren menor esfuerzo de compactación para obtener la densidad requerida. Esta facilidad en la compactación no es necesariamente una ventaja porque la densificación continúa se dará con el tráfico, acelerando el rutting debido a bajos vacíos y deformación plástica.

La textura superficial, así como la forma de las partículas, también influye en la trabajabilidad y resistencia de HMA. La rugosidad, tiende a incrementar la resistencia aunque requiere mayor contenido de cemento asfáltico para vencer la pérdida de trabajabilidad, comparadas con las superficies lisas encontradas en muchas gravas y arenas de río.

Agregados de textura lisa pueden ser fáciles de cubrir con una película de asfalto, pero el cemento asfáltico usualmente forma vínculos mecánicos muy resistentes con texturas rugosas de agregados.

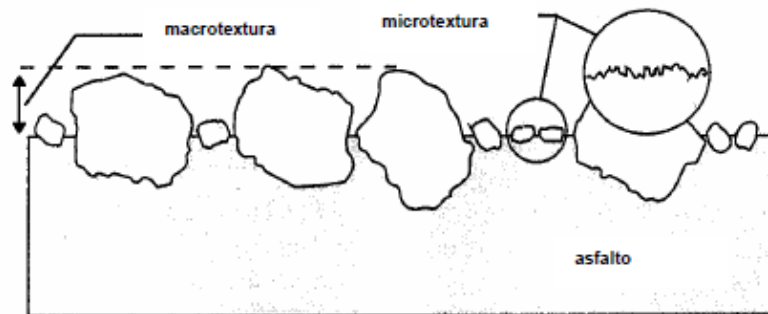
2.1.5.6. Resistencia al Deslizamiento (Patinaje)

La resistencia al deslizamiento es la capacidad que tiene la superficie del pavimento, particularmente cuando está mojado, para resistir el deslizamiento de las ruedas de los vehículos.

La resistencia al deslizamiento tiene dos componentes: adherencia e histéresis. La primera resulta del corte de la unión molecular formado cuando el neumático es comprimido en el área de contacto con las partículas de la superficie del pavimento. En cuanto a la histéresis, resulta de la disipación de energía cuando el neumático se deforma al pasar a través de las asperezas de la superficie rugosa del pavimento. Ambos componentes de resistencia al deslizamiento se relacionan con las dos propiedades claves de la superficie del pavimento asfáltico, es decir, la macrotextura y la microtextura.

(Figura 2.3). Características de la textura de la superficie de rodamiento

(Tremblay 1995)



La microtextura se refiere a las irregularidades en la superficie de las partículas de agregado (textura en escala fina) que afectan la adherencia. Estas irregularidades son las que hacen que las partículas de agregado se sientan lisas o ásperas al tacto. La magnitud de la microtextura depende de la rugosidad inicial en la superficie del agregado y de la capacidad del agregado de retener su rugosidad contra el pulimento debido a la acción del tránsito. Por tanto, la microtextura es una propiedad del agregado que puede controlarse a través de la selección de agregados con características de resistencia al pulido adecuadas. La microtextura y la adherencia contribuyen a la resistencia al deslizamiento para todas las velocidades e influyen predominantemente en velocidades menores a 50 km/h, las cuales se especifican en zonas urbanas¹⁵.

Es la textura superficial de los agregados pétreos. Una forma indirecta de medir la microtextura es mediante el coeficiente de fricción. La microtextura siempre es necesaria, hasta en una carretera seca. Es por este motivo que está directamente asociada con la resistencia al deslizamiento.

La macrotextura se refiere a irregularidades más grandes en la superficie del pavimento, que afecta la histéresis. Esta clase de irregularidades se asocian con los espacios entre las partículas de agregado. La magnitud de este componente dependerá de varios factores. La

¹⁵ Noyce David A; Bahia Hussain U; Yambó Josué, M; Guisk Kim, Incorporating Road Safety into Pavement Management: Maximizing Asphalt Pavement Surface Friction for Road Safety Improvements, Midwest Regional University Transportation Center , Traffic Operations and Safety (TOPS) Laboratory (April, 2005)

macrotextura inicial en la superficie del pavimento será determinada por el tamaño, forma y granulometría del agregado grueso usado en la construcción del pavimento, así como también de las técnicas de construcción empleadas en la colocación de la superficie de rodamiento del pavimento. La macrotextura es también esencial para proporcionar canales de salida al agua en la interacción neumático-pavimento, para de esta manera reducir el hidroplaneo. La macrotextura y la histéresis son menos importantes para velocidades bajas, pero a medida que se incrementa la velocidad se requiere una mayor macrotextura. Para velocidades mayores a 50 km/h, la resistencia al deslizamiento depende principalmente del espaciamiento proporcionado por el agregado, es decir, de la macrotextura.¹⁶

2.1.5.7. La fricción

La fricción como fenómeno físico posee la misma definición que la resistencia al deslizamiento. Sin embargo se constituye en una extensión de esta última al considerar el proceso de conducción y el efecto combinado de las aceleraciones tangencial y longitudinal a la que está sometido un automóvil al circular por una carretera. La fricción se describe a través del coeficiente de fricción, medido como la razón entre la fuerza de fricción y una fuerza normal originada por el peso.

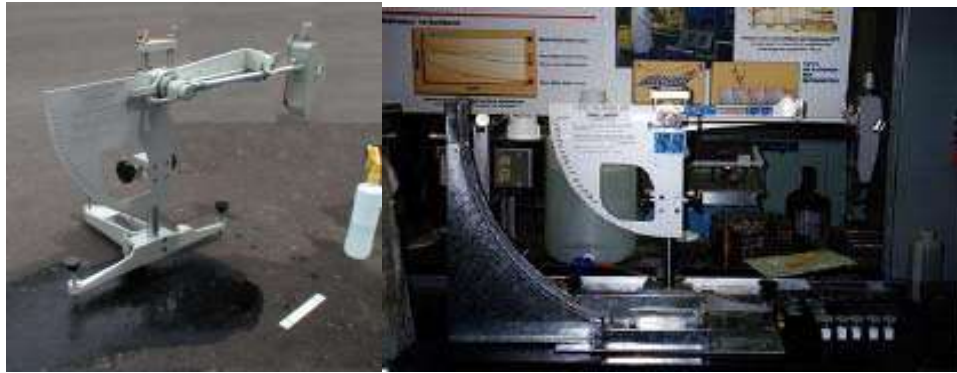
2.1.5.7.1. Medición de la fricción por medio del péndulo Británico

a) descripción

El procedimiento tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.D.R) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este ensayo no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de rozamiento hechas con otros equipos o procedimientos.

¹⁶ *Janoo Vincent C, and Coronon Charles*, Performance Testing of Hot Mix Asphalt Aggregates, Special Report 99-20, US Army Corps of Engineers (Dec, 1999)

Figura 2.4 Equipo Británico Portátil de Resistencia al Patinaje ASTM E 303 (1995)¹⁷



Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

El método de ensaye se puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas.

2.1.5.8. Resistencia al desgaste.

Un aspecto fundamental a la hora de evaluar la validez de un árido para su empleo de firmes es determinar su comportamiento, así como la degradación de sus propiedades mecánica a lo largo del tiempo, existe una serie de ensayos que si bien logran determinar las propiedades mecánicas de dicho árido de forma aislada, no consiguen caracterizar el estado tensional del árido de forma aislada, no consigue caracterizar el estado tensional del árido en el conjunto del firme. Los ensayos más empleados son el de desgaste de los Ángeles, llamado así porque en esta ciudad Californiana es donde empezó a utilizarse.

¹⁷ ING. SILENE MINAYA GONZALEZ, M.I. e ING. ABEL ORDÓÑEZ HUAMAN; SUPERPAVE y el diseño de mezclas asfálticas; Instituto de Investigación-UNI, Rimac- Lima. Perú (Mayo del 2013)

2.1.5.9. Resistencia al pulimento.

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

2.1.6. Método Marshall

Los conceptos originales para el Diseño Marshall fueron desarrollados por Bruce Marshall del Departamento de Caminos del Estado de Mississippi, y rediseñado por El Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estado Unidos en los años 40. Después se hicieron avances y el desarrollo de especificaciones de materiales por organizaciones como el Cuerpo de Ingenieros y el Instituto del Asfalto.

Como cualquier otro método de diseño de pavimentos, el punto de partida es obtener muestras de materiales representativos de aquellos que serán usados para el proyecto. Este método usa unas muestras estándar de 2 ½ pulgadas de alto y 4 pulgadas de diámetro. Estos se preparan usando un procedimiento específico para calentamiento, mezclado y compactado de las mezclas de agregado y asfalto. Las dos características principales del método de Marshall, son las de análisis de densidad y vacíos en la mezcla y los resultados de estabilidad y flujo de las muestras compactadas.

2.2. MARCO NORMATIVO

2.2.1. CRITERIOS DE DISEÑO NORMALIZADOS

Para el diseño de mezclas asfálticas, deben cumplir con la caracterización mediante ensayos establecidos por las normas AASHTO y ASTM, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 2.5: Ensayos de laboratorio Normalizados para Agregados¹⁸

Ensayo de laboratorio para AGREGADOS	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano qué clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	EL objeto es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando éstos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor de 0.5%.
Equivalente de Arena	AASHTO T 176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubicidad de Partículas	ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.
Gravedad específica y absorción del agregados gruesos y finos	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C – 127 ASTM C – 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un período largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso Unitario y Vacío	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Próctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.

¹⁸ Fuente: The Asphalt Institute.

Tabla 2.6: Ensayos de laboratorio Normalizados para Asfaltos¹⁹

Ensayo de laboratorio para ASFALTOS	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO 201. ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo. Este ensayo se usa para clasificar los Cementos Asfálticos a Viscosidad 60°. Mide la consistencia de los Cementos Asfálticos
Penetración	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en décimas de milímetros. Valores altos de penetración, indicarán consistencias suaves.
Punto de Inflamación	AASHTO T 48 ASTM D 92	Tiene por propósito, identificar la temperatura a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta Cleveland.
Ductilidad	AASHTO T 51 ASTM D 113	Provee de una medida de las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada.
Punto de reblandecimiento	AASHTO T 53 ASTM D 36	La temperatura determinada como de Reblandecimiento, representa aquella a la cual un cemento asfáltico alcanzará un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de consistencia del mismo. El punto de reblandecimiento es una prueba de resistencia a la deformación del cemento asfáltico y además es también una prueba de la viscosidad.
Ensayo de flotación	AASHTO T 50 ASTM D 139	Esta prueba caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de penetración. Este ensayo es utilizado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.
Solubilidad en Tricloroetileno	AASHTO T 44 ASTM D 2042	Este ensayo indica la porción de constituyentes cementantes activos en el asfalto ensayado es decir se utiliza para medir la pureza del asfalto. En esta prueba las sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos, se consideran impurezas.
Peso específico	AASHTO T 228 AASHTO T 85 AASHTO T 84	El peso específico de un cemento asfáltico no se indica normalmente en las especificaciones de la obra pero existen dos razones por las cuales se debe conocer su valor y son: <ul style="list-style-type: none"> • Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura – volumen. • Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado. Se determina normalmente por el método del picnómetro.
Endurecimiento y envejecimiento	AASHTO T 51 ASTM D 113	Tiene por propósito exponer una o varias muestras a condiciones similares ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente.

¹⁹ Fuente: The Asphalt Institute.

2.2.1.1. Requisitos del agregado pétreo²⁰

Tabla 2.7: Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste de los ángulos, %	35
Partículas alargadas y lajeadas, % máximo	40
Equivalente de arena, % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, % máximo	25

Tabla 2.8: Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.²¹

Malla		Tamaño				
Abertura mm	Designación	12.5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm
		(1/2 ")	(3/4 ")	(1 ")	(1 1/2 ")	(2 ")
50	2"	---	---	---	---	---
37,5	1 1/2"	---	----	---	100	90-100
25	1"	---	----	100	90-100	76-90
19	3/4"	---	100	90-100	79-92	66-83
12,5	1/2"	100	90-100	76-89	64-81	53-74
9,5	3/8"	90-100	79-92	67-82	56-75	47-68
6,3	1/4"	76-89	66-81	56-71	47-65	39-59
4,75	No.4	68-82	59-74	50-64	42-58	35-53
2	No.10	48-64	41-55	36-64	30-42	26-38
0,85	No.20	33-49	28-42	25-35	21-31	19-28
0,425	No.40	23-37	20-32	18-27	15-24	13-21
0,25	No.60	17-29	15-25	13-21	11-29	9-16
0,15	No.100	12-21	11-18	9-16	8-14	6-12
0,075	No.200	7-10	6-9	5-8	4-7	3-6

²⁰ Fuente: SCT, 2003.

²¹ Fuente: SCT, 2003.

2.2.1.2. Requisitos del ligante asfáltico

Tabla 2.9: Requisitos de calidad para cemento asfáltico, clasificado por viscosidad dinámica a 60°C.²²

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento original				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa.s(P ^[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s =1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad,%, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento,°C	37-43	45-52	48-56	50-58
Del residuo de la prueba de la película delgada				
Pérdida por calentamiento,% máximo	1	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa.s(P ^[1]), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cmm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25°C; %, mínimo	46	50	54	58

²² Fuente: SCT, 2005.

2.3. MARCO REFERENCIAL

La durabilidad es una propiedad asociada a la sustentabilidad del mismo, debido a que a mayor durabilidad se disminuirá la utilización de recursos materiales y energéticos para su reemplazo, el principal objetivo del diseño y construcción de mezclas asfálticas consiste en lograr pavimentos más durables.

Según los ensayos realizados en la Universidad de la frontera, Temuco, Chile; Una mezcla asfáltica es esencia es una mezcla de agregados pétreos aglomerados por un ligante asfáltico. Ambos componentes, tanto individuales como en su interacción, juegan un rol importante en las propiedades de desempeño de las mezclas.

En la investigación *“Evaluación de la durabilidad de mezclas asfálticas en función de las propiedades físicas de los áridos²³”* se evalúan mezclas asfálticas compuestas por tres tipos de áridos: dos fluviales y uno de cantera, los cuales difieren en cuanto a su forma mineralógica. La caracterización de los áridos se realiza siguiendo el protocolo propuesto por Zingg, que clasifica los áridos según su forma y de acuerdo al índice de partícula (IP) según el protocolo ASTM-D3398 parámetros que han sido correlacionados con el desempeño del árido en las mezclas.

El objetivo de dicho estudio corresponde a evaluar cómo afectan las propiedades físicas de los áridos en la durabilidad de las mezclas asfálticas en función a la resistencia al agrietamiento, para mezclas sometidas a tratamientos de envejecimiento; donde en conclusión nos demuestra que el rol de lo áridos en el desempeño y durabilidad de una mezcla asfáltica es fundamental, la misma que parte de los métodos morfológicos de Zingg y de los valores de (IP).

²³ Alejandra Calabi-Floody, Gonzalo Valdés Vidal, Elsa Sánchez Alonso; Evaluación de la durabilidad de mezclas asfálticas en función de las propiedades físicas de los áridos; Univ. Temuco, Chile, CILA 2015.

2.4. MARCO CONCEPTUAL.

Betún: El betún o bitumen es una mezcla de sustancias orgánicas altamente viscosa, negra, de alta densidad completamente soluble en disulfuro de carbono y compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos policíclicos. Usado como ligante de áridos para formar mezclas asfálticas.

Áridos: Material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción, principalmente. (*Piedras usadas en estado natural o trituradas*)

Forma: Geometría física de los agregados medidos en escala métrica.

Textura: El término textura refiere a la sensación que produce al tacto el roce con una determinada materia y en el cual el sentido del tacto es el principal decodificador de la misma, ya que es el vehículo o encargado de producir la sensación que ostente la textura en cuestión: suavidad, dureza, rugosidad, entre otras

Resistencia al deslizamiento: capacidad que tiene una superficie particularmente cuando está mojado, para resistir el deslizamiento de objetos.

2.5. ANTECEDENTES HISTORICOS:

Siendo hoy en día las carreteras de gran necesidad, vale recordar las primeras formas de pavimentación en épocas pasadas analizando así las formas de pavimentación de la calzada romana, que fue el primer modelo de camino usado por Roma para comunicar y expandir su Imperio. Construida con varias capas de material pétreo, esta gran obra de ingeniería logró que muchos tramos hayan resistido durante siglos, hasta la actualidad.

Por consiguiente fue gracias a esta gran obra de ingeniería que los romanos deben el forjamiento de su gran imperio, ya que lograron la conquista de varios territorios, pudieron movilizarse como nunca antes se había visto y pudieron agilizar el transporte de mercancías, logrando así una mejor economía. Fue también gracias a esto que pudieron extender su cultura por todo su imperio. El sistema de urbanización y de comunicaciones más perfecto de la Edad Antigua corresponde al Imperio Romano por sus grandes detalles técnicos y funcionalidad de sus vías.

Por ejemplo las vías urbanas de más categoría, se construían con un gran firme. En primer lugar se efectuaba una excavación de tierras hasta encontrar una capa dura de cimentación, sobre la que se preparaba un lecho formado por arcillas y bolos o gravas de gran tamaño; sobre esta capa se extendía otra de hormigón de cal y en otros casos piedra machacada con materiales sueltos de grano fino, para sobre ésta, colocar como pavimento losas o lajas de piedra colocadas con el máximo cuidado formando un extraordinario pavimento continuo, donde las juntas se cuidaban mucho.

Por otro lado a las vías principales interurbanas estaban construidas sobre cimientos de piedra de gran espesor, terminados superficialmente con piedra caliza de menor tamaño. El ancho de estas vías era de 5 a 6 m., 4,50 de calzada central para que pudieran cruzarse dos vehículos y el resto para dos paseos laterales.

Actualmente la mayoría de los caminos del mundo están pavimentados con asfalto y gracias a los mecanismos de fácil aplicación hacen que el uso de asfalto sea el más recomendado, aunque este a su vez con un mal manejo o calculo estructural puede no tener mucho tiempo de vida y uso vehicular, para cual se hace de gran necesidad varios estudios para su aplicación, entre los más importantes sobre los componentes de áridos, ya que los mismos juegan un rol muy importante pues debido a sus características mineralógicas y físicas representan la resistencia y durabilidad de las vías.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN Y MÉTODOS APLICABLES A LA INVESTIGACIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto.

La forma, textura superficial y graduación del árido grueso otorga la fricción interna y capacidad de las mezclas asfálticas para soportar las solicitaciones causadas por la carga del tráfico, influyendo así, en el fenómeno de ahuellamiento, resistencia a la fisuración por fatiga, la estabilidad y otras propiedades de las mezclas asfálticas.

3.2. CRITERIOS DE MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS A UTILIZAR

Grafico 3.1: Resumen de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.3. OBTENCIÓN Y SELECCIÓN DE ARIDOS Y BETÚN

3.3.1. Obtención de Áridos

Básicamente los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones que mencionamos anteriormente. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes; Además de tener una disponibilidad.

Vale recalcar que la procedencia u origen de estos agregados son de tipo de roca “Sedimentaria”²⁴

El material pétreo utilizado fueron 3 Materiales de yacimientos (Naturales) y 3 materiales de planta:

- PARA LOS MATERIALES DE YACIMIENTOS NATURALES SE USARON:
 - a) Erquis
 - b) Guadalquivir
 - c) Ventolera

- PARA LOS MATERIALES TRITURADOS SE USARON DE PLANTA DE:
 - d) San Mateo (Alcaldía Municipal)
 - e) Guadalquivir (Erika)
 - f) San José de Charaja (SEDECA)

Siendo los mismos analizados en laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

a) ERQUIS

a) Los materiales de la cantera de **Erquis** al ser de canto rodado del río Erquis, por lo que para su explotación como grava, gravilla o arena, deben ser separados por mallas convencionales. La ubicación geográfica de esta zona de explotación se sitúa en la comunidad de Erquis aproximadamente a 9 kilómetros de la ciudad con las coordenadas de referencia: 21°28'12.88"S; 64°48'41.80"O. En la fotografía podemos observar la ubicación.

²⁴ Ver Capítulo II; *procedencia de los agregados (tipos de piedra)*; pág. 28.

Para el muestreo y extracción de áridos fue tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Fácil accesibilidad y disponibilidad para el acarreo.
- Determinación del área para mayor control $(74.4m \times 47.48) = A = 3532.51m^2$
- Ubicación de los 3 puntos de extracción de áridos para analizar en laboratorio de manera comparativa las propiedades de variación.
- Los puntos de muestreo son pequeñas playas en el centro y extremos del cauce del río.

Imagen 3.1: Ubicación de la cantera para extracción de áridos Erquis



Fuente: elaboración propia

b) GUADALQUIVIR

Los materiales de la cantera del río **Guadalquivir**, se lo toma en cuenta para el estudio debido a que es nuestro principal río y uno de los mayores puntos de explotación para las plantas procesadoras, las coordenadas de referencia: 21°33'12.14"S; 64°43'13.50"O. En la fotografía podemos observar la ubicación donde el área de extracción se encuentra 40m antes de la unión del río Guadalquivir con la quebrada El Monte y quebrada San Pedro.

Para el muestreo y extracción de áridos fue tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Fácil accesibilidad y disponibilidad para el acarreo.
- Determinación del área para mayor control (86m x 138m) = $A=11868m^2$
- Ubicación de los 3 puntos de extracción de áridos para analizar en laboratorio de manera comparativa las propiedades de variación.
- Los puntos de muestreo son pequeñas playas en el centro y extremos del cauce del río.

Imagen 3.2: Ubicación de la cantera para extracción de áridos Guadalquivir.



Fuente: elaboración propia

c) VENTOLERA

Los materiales de la cantera para la zona de la **ventolera**, son áridos que resultan de la unión del río Guadalquivir y el río Camacho, para el muestreo nos ubicamos en las coordenadas 21°42'9.03"S; 64°36'2.50"O. comúnmente llamado puente de la angustura, donde podemos ver la unión con la quebrada de laderas En la fotografía podemos observar la ubicación donde el área de extracción.

Para el muestreo y extracción de áridos fue tomado en cuenta lo siguiente:

- Fácil accesibilidad y disponibilidad para el acarreo.
- Determinación del área para mayor control (106m x 79.5m)= $A=8427m^2$
- Ubicación de los 3 puntos de extracción de áridos para analizar en laboratorio de manera comparativa las propiedades de variación.
- Los puntos de muestreo son pequeñas playas en el centro y extremos del cauce del río.

Imagen 3.3: Ubicación de la cantera para extracción de áridos la Ventolera



Fuente: Elaboración propia

d) SAN MATEO (ALCALDÍA)

El árido de la alcaldía es árido triturado, el mismo que es proveniente de la localidad de san mateo en el departamento de la Tarija para elaboración de mezclas asfálticas que se usan para el pavimentado de las calles de ciudad. Este materia fue proporcionado por el técnico de la planta el Sr. Geaffarth Murillo, contando así con el material de tamaños ya especificados de 3/4": 3/8" y Arena.

Este material estaba ubicado en la posta de la alcaldía a lado del zoológico municipal.

Para el muestreo y elección del árido de planta fue tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Fácil accesibilidad y disponibilidad de material (áridos)
- Es árido que cumple con las especificaciones según la ASTM Y AASHTO para el uso de pavimentación de las calles de nuestra ciudad.
- Material seleccionado mediante mallas normalizadas.

Imagen 3.4: ubicación de la posta de la Alcaldía Municipal de la provincia cercado



Fuente: elaboración propia

e) GUADALQUIVIR (ERIKA)

El árido de la planta de la constructora Erika SRL. Es árido triturado, el mismo que es proveniente del rio Guadalquivir del en el departamento de la Tarija para elaboración de mezclas asfálticas que se usan para el pavimentado en carreteras de nuestra ciudad. Este materia fue proporcionado en los tamaños especificados de 3/4": 3/8" y Arena.

Este material estaba ubicado la carretera a San Lorenzo km 8 zona Rancho Sud, en las coordenadas 21°28'21.26"S; 64°45'17.99"O del departamento de Tarija, donde se encuentra la planta de Erika.

Para el muestreo y elección del árido de planta fue tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Fácil accesibilidad y disponibilidad de material (áridos)
- Es árido que cumple con las especificaciones según la ASTM Y AASHTO para el uso de pavimentación de las calles de nuestra ciudad.
- Material seleccionado mediante mallas normalizadas.

Imagen 3.5: ubicación de la posta de la Erika



Fuente: elaboración propia

f) CHARAJA (SEDECA)

Este material pétreo utilizado está ubicado en la comunidad de San José de Charaja, donde se encuentra ubicada una chancadora para la provisión de material para el Servicio Departamental De Caminos (SEDECA).

Para el muestreo y elección del árido de planta fue tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Fácil accesibilidad y disponibilidad de material (áridos)
- El árido se justan dentro de las normativas vigentes
- Material seleccionado mediante mallas normalizadas.

Imagen 3.6: ubicación de la planta de SEDECA



Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Obtención del Betún.

Con el fin de hacer un análisis investigativo del tema y analizar el comportamiento de los materiales se ha empleado cemento asfáltico con las siguientes características: C.A. 85-100 BETUNEL DE PROCEDENCIA BRASILEIRA proporcionado por la Alcaldía Municipal de la provincia Cercado de Tarija.

Para el muestreo y elección del Betún de planta fue tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Fácil accesibilidad y disponibilidad del material Betún.
- Material usado en la construcción de mezclas asfálticas para las calles de la ciudad de Tarija.
- Material que cumple con las especificaciones establecidas en normas vigentes.

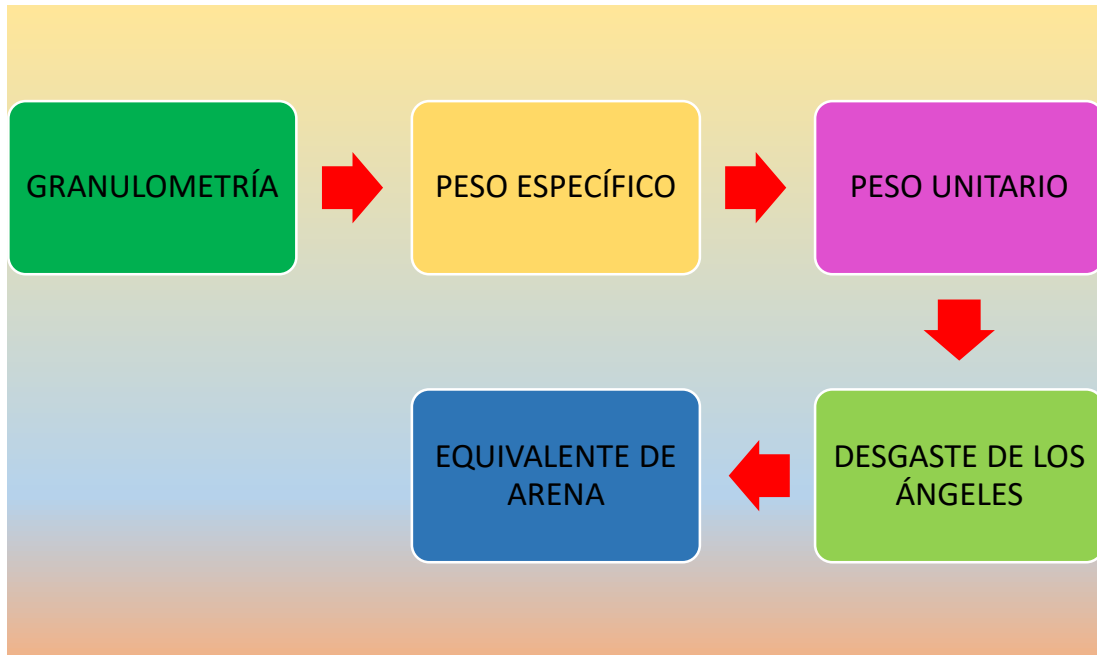
Imagen 3.7: ubicación de la posta de la Alcaldía Municipal de la provincia cercado para la obtención del Betún



Fuente: Elaboración propia

3.4. CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS (TRITURADOS Y NATRURALES)

Esquema 3.1: procedimiento de ensayos para la caracterización



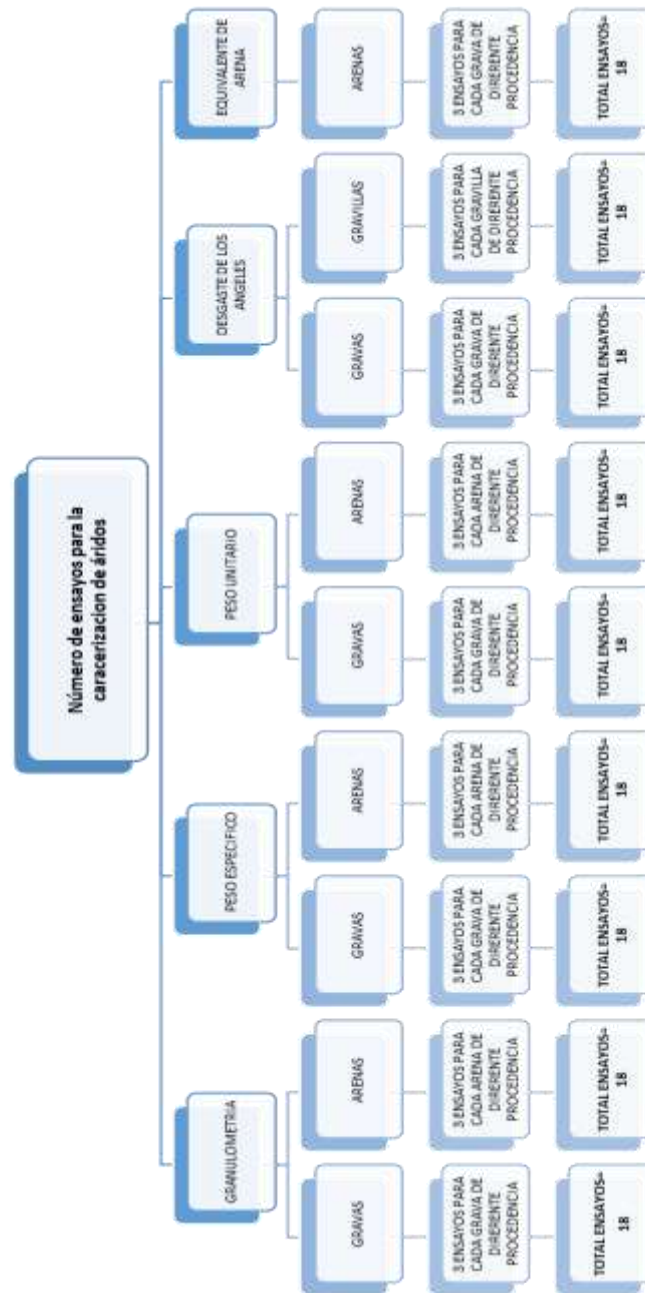
Fuente: Elaboración propia

3.4.1. Criterios y número de ensayos:

Contando con todos los materiales en el laboratorio procedemos a realizar la caracterización de acuerdo a los siguientes criterios:

- Todos los áridos son sometidos a los ensayos ya mencionados en iguales condiciones.
- 3 ensayos como mínimo para cada agregado, puesto que según establece la AASHTO se requieren como mínimo 3 ensayos para correlacionar valores y promediar.
- Los datos disparados serán depurados, con la condición de repetición del ensayo.

Esquema 3.2: número de ensayos para cada árido de diferente cantera y planta.



Fuente: elaboración propia

Definidos los números de ensayos y realizados cada uno de ellos se somete a los resultados a un tratamiento estadístico para así corroborar que los resultados sean los adecuados y promediados cumplan con la confiabilidad de un 95%.

3.4.2. Tratamiento estadístico básico para la caracterización de los agregados.²⁵

Para el presente trabajo se aplica la estadística de T student con una confiabilidad del 95% a los datos obtenidos de las lecturas realizadas durante los ensayos por el método Marshall, la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$X = x \pm T * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

X = valor medio requerido para realizar el trabajo al (95% de confiabilidad)

x = valor promedio (media)

T = coeficiente Student

S =desviación estándar

Tabla 3.1: coeficiente Student (al 95% de confiabilidad)

N° de ensayos menos uno	t	N° de ensayos menos uno	t	N° de ensayos menos uno	t
(N-1)		(N-1)		(N-1)	
1	6,31	11	1,80	21	1,72
2	2,92	12	1,78	22	1,72
3	2,35	13	1,77	23	1,71
4	2,13	14	1,76	24	1,71
5	2,02	15	1,75	25	1,71
6	1,94	16	1,75	26	1,71
7	1,90	17	1,74	27	1,70
8	1,86	18	1,73	28	1,70
9	1,85	19	1,73	29	1,70
10	1,81	20	1,72	30	1,70
				> a 30	1,64

Criterios para el uso del tratamiento estadístico básico (STUDENT):

- Método usado para la determinación de intervalos de confianza dentro del cual se pueden estimar la media de una población a partir de muestras pequeñas ($n < 30$).
- Comprobación de hipótesis a partir de muestreos pequeños.
- Determina el grado de confiabilidad para la hipótesis con un 95%.

3.4.3. Resumen de ensayos de caracterización de áridos:

²⁵ Para el procedimiento del método de Student véase el anexo 1.

Tabla 3.2: Resultados de los ensayos de caracterización (Áridos triturados)²⁶:

		ALCALDIA (SAN MATEO)			ERIKA (GUADALQUIVIR)			SEDECA (CHARAJA)			
		GRAVA	GRAVILLA	ARENA	GRAVA	GRAVILLA	ARENA	GRAVA	GRAVILLA	ARENA	
GRANULOMETRÍA	% QUE PASAN LOS TAMICES	1"	100,00	100,00	-	100	100,00	-	100,00	100,00	-
		3/4"	83,84	100,00	-	92,556	100,00	-	90,86	100,00	-
		1/2"	10,05	91,57	100,00	28,572	100,00	100,00	21,28	100,00	100,00
		3/8"	2,55	80,66	100,00	14,0034	56,19	100,00	4,71	99,83	100,00
		Nº4	0,59	12,87	91,32	1,8414	3,84	99,96	0,63	21,58	95,97
		Nº8	0,58	3,67	67,48	0,7584	1,87	86,10	0,57	1,57	76,53
		Nº16	0,57	2,11	49,34	0,721	1,31	64,05	0,57	0,89	56,04
		Nº30	0,57	1,88	37,64	0,708	0,95	43,52	0,56	0,80	37,04
		Nº50	0,56	1,76	23,46	0,684	0,93	21,79	0,56	0,76	22,72
		Nº100	0,55	1,50	11,67	0,628	0,90	7,18	0,54	0,74	10,74
		Nº200	0,51	1,21	6,79	0,45	0,50	2,38	0,46	0,71	6,29
	BASE	0,04	0,02	0,06	0,054	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	
	SUMA DE TAMIZADO	4998,25	4999,08	4997,22	4997,30	4997,78	4996,00	4998,20	4998,00	4998,01	
	PÉRDIDAS	1,75	0,92	2,78	2,70	2,22	4,00	1,80	2,00	1,99	
MODULO DE FINURA	6,94	5,96	2,92	6,81	6,34	2,77	6,92	5,74	2,95		
PESO ESPECIFICO	A GRANEL (gr/cm ³)	2,63	2,65	2,73	2,63	2,66	2,70	2,63	2,65	2,70	
	SAT. CON SUP. SECA (gr/cm ³)	2,68	2,69	2,82	2,68	2,73	2,74	2,67	2,70	2,75	
	APARARENTE (gr/cm ³)	2,75	2,78	3,00	2,75	2,85	2,81	2,75	2,80	2,83	
	% de ABSORCIÓN	1,65	1,82	3,11	1,62	2,50	1,39	1,56	2,08	1,63	
PESO UNITARIO	suelto (gr/cm ³)	1,34	-	1,73	1,34	-	1,57	1,38	-	1,44	
	compactado (gr/cm ³)	1,43	-	1,88	1,39	-	1,69	1,46	-	1,60	
DESGASTE DE LOS ANGELES	% DE DESGATE	25,01	24,12	-	26,16	24,13	-	25,22	24,13	-	
EQUIVALENTE DE ARENA	% DE ARENA	-	-	92,90	-	-	92,48	-	-	87,96	

Fuente: elaboración propia

²⁶ Para ver el procedimiento de los ensayos y tablas específicas de cada ensayo véase los anexos 2 al 6

Tabla 3.3: Resultados de los ensayos de caracterización (Áridos triturados)²⁷

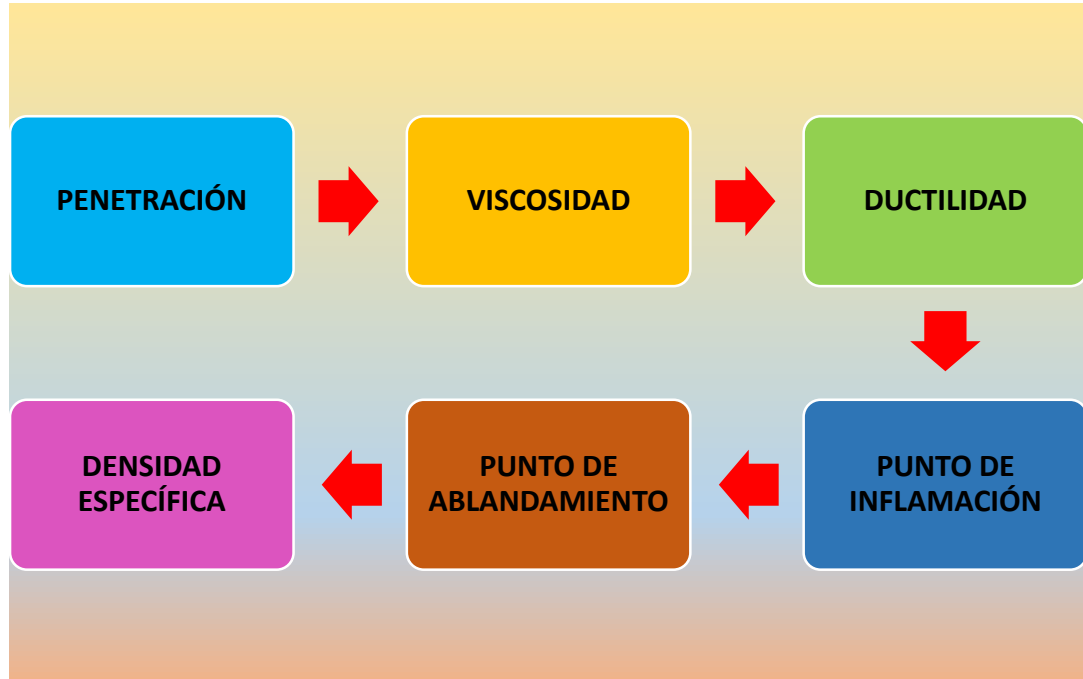
		ERQUIS		GUADALQUIVIR		VENTOLERA		
		GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	
GRANULOMETRÍA	% QUE PASAN LOS TAMICES	2"	100	-	100	-	100	-
		2 1/2"	100	-	100	-	100	-
		1"	74,09	-	71,891	-	82,95	-
		3/4"	50,29	-	38,007	-	58,39	-
		1/2"	27,31	-	21,424	-	23,99	-
		3/8"	13,64	100,00	10,7956	100,00	11,71	100,00
		Nº4	0,00	98,63	0	99,92	0,00	97,08
		Nº8	0,00	89,09	0	89,66	0,00	88,98
		Nº16	-	72,27	-	65,91	-	78,66
		Nº30	-	47,02	-	45,38	-	50,23
		Nº50	-	14,90	-	22,65	-	21,90
		Nº100	-	3,55	-	7,74	-	4,30
	BASE	-	0,87	-	0,16	-	0,17	
		SUMA DE TAMIZADO	5000,00	1486,91	5000,00	998,40	5000,00	998,30
	PÉRDIDAS	0,00	13,09	0,00	1,60	0,00	1,70	
	MODULO DE FINURA	6,09	2,75	6,30	2,69	6,06	2,60	
PESO ESPECIFICO	A GRANEL (gr/cm3)	2,61	2,64	2,59	2,63	2,61	2,64	
	SAT. CON SUP. SECA (gr/cm3)	2,65	2,69	2,62	2,65	2,65	2,71	
	APARARENTE (gr/cm3)	2,73	2,77	2,66	2,68	2,72	2,85	
	% de ABSORCIÓN	1,72	1,69	1,08	0,73	1,57	2,80	
PESO UNITARIO	suelto (gr/cm3)	1,60	1,51	1,53	1,53	1,59	1,50	
	compactado (gr/cm3)	1,69	1,70	1,64	1,69	1,68	1,63	
DESGASTE DE LOS ANGELES	% DE DESGATE	19,78	-	19,60	-	20,14	-	
EQUIVALENTE DE ARENA	% DE ARENA	-	81,55	-	81,92	-	83,57	

Fuente: elaboración propia

²⁷ Para ver el procedimiento de los ensayos y tablas específicas de cada ensayo véase los anexos 2 al 6

3.5. CARACTERIZACION DEL BETUN 85-100

Esquema 3.3: procedimiento de ensayos para la caracterización del Betún



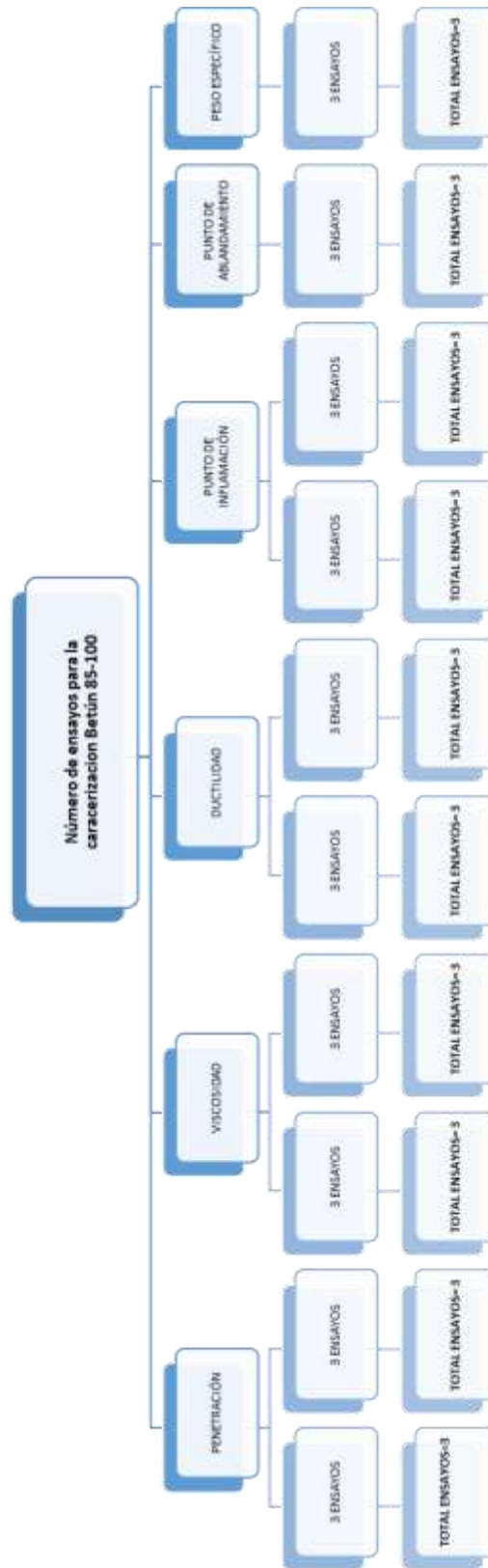
Fuente: elaboración propia

3.5.1. Criterios y número de ensayos para el Betún:

Contando con el Betún en el laboratorio procedemos a realizar la caracterización de acuerdo a los siguientes criterios:

- El Betún es sometido a todos los ensayos.
- Para una mayor veracidad de resultados se realiza los ensayos mínimamente 3 veces correlacionar valores y promediar.
- Los datos disparados serán depurados, con la condición de repetición del ensayo.

Esquema 3.4: número de ensayos para cada árido de diferente cantera y planta.



Fuente: elaboración propia

3.5.2. Resumen de resultados de caracterización del Betún:

Tabla 3.4: Resultados de los ensayos de caracterización del Betún 85-100²⁸

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	grs.	38,0	36,9	38,0			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	62,7	62,0	62,7			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	55,8	56,5	56,2			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	62,8	62,3	62,9			
Peso Específico	grs./cm ³	1,003	1,013	1,008	1,008	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>280	>290	>295	>288	>232	-
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	115	105	107	109	75	-
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura Nº1	92	94	98			
	Lectura Nº2	97	93	95			
	Lectura Nº3	91	99	92			
	Promedio	mm.	93	95	95	95	85
Viscosidad Cinemática 135 °C	mm ² /s	325	297	318	313	250	-
Ensayo de la mancha					No se realizó	NEGATIVO	
Solvente gasolina standart					No se realizó	NEGATIVO	
Solvente gasolina-xilol, % xilol					No se realizó	NEGATIVO	
Solvente heptano-xilol, % xilol					No se realizó	NEGATIVO	
Ensayo de película delgada en horno					No se realizó		
* Pérdida en masa	%				No se realizó		
* Penetración del residuo, penetración	%				No se realizó	47	
Índice de susceptibilidad térmica					No se realizó	-1	1
Punto de ablandamiento	°C	44,0	47,0	43,0	45	42	53

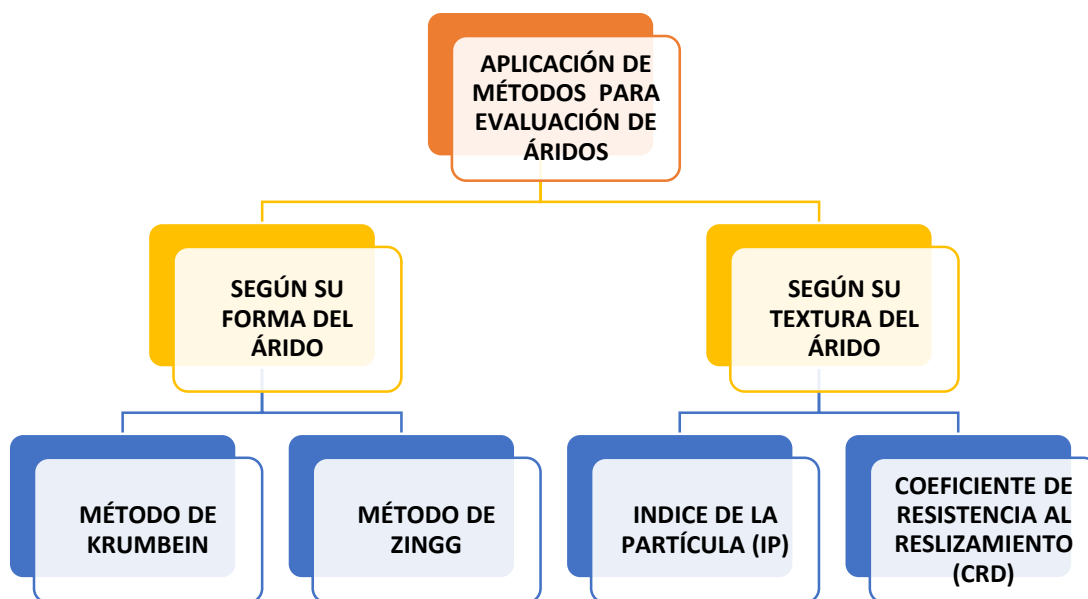
Fuente: elaboración propia

3.6. APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA EVALUACIÓN DE FORMA Y TEXTURA DE LOS ÁRIDOS:

Cabe mencionar que la presente investigación tiene el propósito de evaluar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas tomando en cuenta el agregado, que por su procedencia tienen forma y textura diferente, para lo cual se plantean métodos aplicables a los que se someten a dichos áridos, estos métodos están establecidos según las normas vigentes de la ASTM posteriormente explicadas.

²⁸ Para ver el procedimiento de los ensayos y tablas específicas de cada ensayo de Betún véase el anexo 7

Esquema 3.5: aplicación de los Métodos para evaluación de forma y textura de los áridos



Fuente: elaboración propia

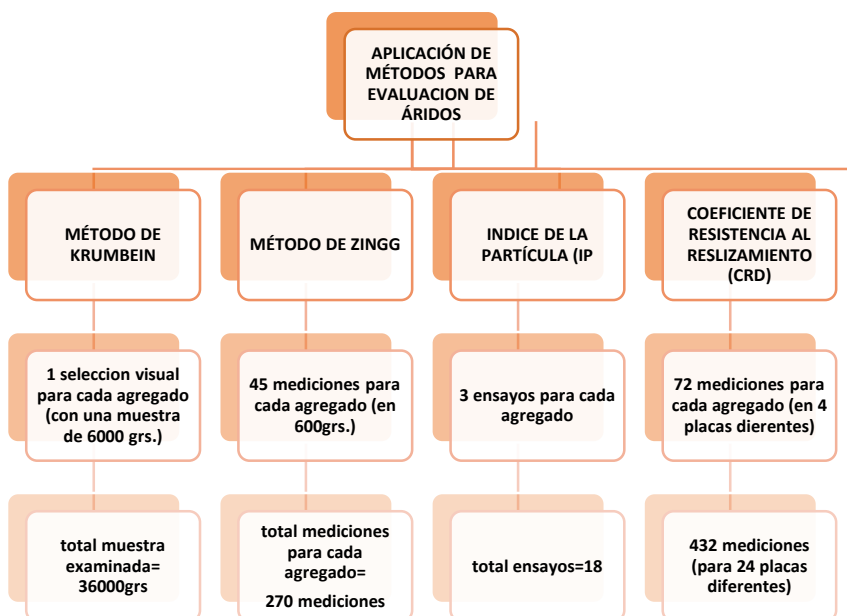
Según el estudio de los áridos sometidos a los ensayos de evaluación de forma y textura, por su diversidad serán codificados de la siguiente manera

Tabla 3.5: codificación de materiales para un mejor control

AGREGADO		SERIE
Agregado Triturado	San Mateo (Alcaldía)	A-A
	Guadalquivir (Erika)	A-E
	Charaja (SEDECA)	A-S
Agregado Natural	Erquis	B-E
	Guadalquivir	B-G
	Ventolera	B-V

Fuente: Elaboración propia

Esquema 3.6: esquema del número de ensayos para ZINGG Y KRUMBEIN



3.6.1. Resumen de resultados del método Krumbein:

Tabla 3.6: Resultados de las medidas de agregados mediante Krumbein para áridos triturado y naturales²⁹.

		Cartilla 1	Cartilla 2	Cartilla 3	Cartilla 5	Cartilla 8	BACKEN PEBBLES	TOTALES
ALCALDÍA (SAN MATEO)	(grs)	2009	0	1775	1556	0	660	6000
	(%)	33%	0%	30%	26%	0%	11%	100%
ERIKA (GUADALQUIVIR)	(grs)	1198	0	1919	2679	0	196	5992
	(%)	20%	0%	32%	45%	0%	3%	100%
SEDECA (CHARAJA)	(grs)	2515	0	1590	1892	0	0	5997
	(%)	42%	0%	27%	32%	0%	0%	100%

		Cartilla 6	Cartilla 7	Cartilla 8	Cartilla 9	BACKEN PEBBLES	TOTALES
ERQUIS	(grs)	0	645	2611	1898	841	5995
	(%)	0%	11%	44%	32%	14%	100%
GUADALQUIVIR	(grs)	0	180	2520	2400	900	6000
	(%)	0%	3%	42%	40%	15%	100%
VENTOLERA	(grs)	0	240	1980	2040	1740	6000
	(%)	0%	4%	33%	34%	29%	100%

Fuente: elaboración propia

²⁹ Para ver el procedimiento de los ensayos por el método Krumbein véase el anexo 8

3.6.2. Resumen de resultados del método de Zingg:

Tabla 3.7: relación de método Zingg y Krumbein para agregado triturado y natural³⁰

ALCALDÍA (SAN MATEO)				ERIKÁ (GUADALQUIVIR)				SEDECA (CHARRAJÁ)				
Nº	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{c}{b}$	NOMBRE	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{c}{b}$	NOMBRE	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{c}{b}$	NOMBRE
	$\frac{b}{a} > \frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} > \frac{c}{b}$	$\frac{c}{b} > \frac{c-2}{b-3}$		$\frac{b}{a} > \frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} > \frac{c}{b}$	$\frac{c}{b} > \frac{c-2}{b-3}$		$\frac{b}{a} > \frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} > \frac{c}{b}$	$\frac{c}{b} > \frac{c-2}{b-3}$	
1	0.94	OK	0.41	OK	0.40	OK	0.72	Discordables u Oñados	0.62	OK	0.56	Discordables u Oñados
2	0.70	OK	0.64	OK	0.68	OK	0.67	Discordables u Oñados	0.79	OK	0.46	Discordables u Oñados
3	0.75	OK	0.60	OK	0.52	OK	0.70	Discordables u Oñados	0.77	OK	0.55	Esfericos e equidimensionales
4	0.63	OK	0.74	OK	0.59	OK	0.66	Cilindricos o planados	0.70	OK	0.40	Esposadas o triaxiales
5	0.67	OK	0.54	OK	0.44	OK	0.62	Discordables u Oñados	0.65	OK	0.19	Esposadas o triaxiales
6	0.98	OK	0.37	OK	0.37	OK	0.71	Discordables u Oñados	0.86	OK	0.39	Esposadas o triaxiales
7	0.70	OK	0.49	OK	0.41	OK	0.62	Discordables u Oñados	0.68	OK	0.56	Discordables u Oñados
8	0.70	OK	0.53	OK	0.44	OK	0.64	Discordables u Oñados	0.64	OK	0.38	Esposadas o triaxiales
9	0.64	OK	0.72	OK	0.58	OK	0.66	Cilindricos o planados	0.74	OK	0.34	Esposadas o triaxiales
10	0.58	OK	0.99	OK	0.76	OK	0.70	Cilindricos o planados	0.93	OK	0.47	Esfericos e triaxiales
11	0.86	OK	0.41	OK	0.38	OK	0.67	Discordables u Oñados	0.69	OK	0.46	Esposadas o triaxiales
12	0.66	OK	0.61	OK	0.50	OK	0.65	Esposadas o triaxiales	0.66	OK	0.64	Esfericos e equidimensionales
13	0.90	OK	0.52	OK	0.52	OK	0.80	Discordables u Oñados	0.86	OK	0.45	Discordables u Oñados
14	0.70	OK	0.66	OK	0.55	OK	0.69	Discordables u Oñados	0.54	OK	0.35	Esposadas o triaxiales
15	0.59	OK	0.63	OK	0.49	OK	0.60	Esposadas o triaxiales	0.72	OK	0.30	Esposadas o triaxiales

ERQUIS				GUADALQUIVIR				VENTOERA				
Nº	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{c}{b}$	NOMBRE	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{c}{b}$	NOMBRE	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{c}{b}$	NOMBRE
	$\frac{b}{a} > \frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} > \frac{c}{b}$	$\frac{c}{b} > \frac{c-2}{b-3}$		$\frac{b}{a} > \frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} > \frac{c}{b}$	$\frac{c}{b} > \frac{c-2}{b-3}$		$\frac{b}{a} > \frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} > \frac{c}{b}$	$\frac{c}{b} > \frac{c-2}{b-3}$	
1	0.68	OK	1.01	OK	0.69	OK	1.01	OK	0.84	OK	0.89	Esfericos e equidimensionales
2	0.75	OK	0.85	OK	0.75	OK	0.68	Esfericos e equidimensionales	0.74	OK	0.84	Esfericos e equidimensionales
3	0.90	OK	0.81	OK	0.85	OK	0.81	OK	0.87	OK	1.02	Esfericos e equidimensionales
4	0.81	OK	0.69	OK	0.82	OK	0.70	OK	0.78	OK	0.93	Esfericos e equidimensionales
5	1.02	OK	0.76	OK	0.82	OK	0.77	OK	0.95	OK	0.77	Esfericos e equidimensionales
6	0.67	OK	0.78	OK	0.67	OK	0.78	OK	0.90	OK	0.83	Esfericos e equidimensionales
7	0.78	OK	1.09	OK	0.79	OK	1.09	OK	0.88	OK	0.74	Esfericos e equidimensionales
8	0.87	OK	0.95	OK	0.88	OK	0.95	OK	0.89	OK	0.73	Esfericos e equidimensionales
9	0.94	OK	0.91	OK	0.85	OK	0.91	OK	0.97	OK	0.84	Esfericos e equidimensionales
10	1.11	OK	0.86	OK	0.90	OK	0.86	OK	1.02	OK	0.75	Esfericos e equidimensionales
11	0.92	OK	0.93	OK	0.92	OK	0.93	OK	0.89	OK	0.77	Esfericos e equidimensionales
12	0.95	OK	0.43	OK	0.95	OK	0.79	OK	0.89	OK	0.64	Esfericos e equidimensionales
13	0.90	OK	0.71	OK	0.83	OK	0.83	OK	0.93	OK	0.78	Esfericos e equidimensionales
14	0.67	OK	0.89	OK	0.68	OK	0.89	OK	0.74	OK	0.77	Esfericos e equidimensionales
15	0.90	OK	0.76	OK	0.91	OK	0.76	OK	0.85	OK	0.88	Esfericos e equidimensionales

Fuente: Elaboración propia

³⁰ Para ver el procedimiento de los ensayos por el método Zingg véase el anexo 9

3.6.3. Resumen de resultados del Índice de Partícula

Tabla 3.8: resultado de ensayo Índice de Partícula³¹

ALCALDIA	IP=	22,9975	Muy rugosa
ERIKA	IP=	23,0088	Muy rugosa
SEDECA	IP=	21,9982	Muy rugosa
ERQUIS	IP=	8,0777	LISA
GUADALQUIVIR	IP=	7,9158	LISA
VENTOLERA	IP=	9,6795	LISA

Fuente: Elaboración propia

3.6.4. Resumen de resultados del cálculo de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD)

Tabla 3.9: resultado de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento³²

N°	LECTURAS								LECTURAS							
	A0-A		A1-A		A2-A		A3-A		B0-E		B1-E		B2-E		B3-E	
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8
PROMEDIO	0,39		0,41		0,43		0,40		0,35		0,35		0,35		0,39	
T (°C)	16,000		16,500		16,000		16,000		16,000		16,500		17,000		17,000	
CRD CORREG.	0,39		0,40		0,42		0,39		0,34		0,35		0,35		0,39	
TEXTURA	ligeramente rugoso		Rugoso		Muy rugoso		ligeramente rugoso		Liso		Liso		Liso		ligeramente rugoso	
N°	LECTURAS								LECTURAS							
	A0-E		A1-E		A2-E		A3-E		B0-G		B1-G		B2-G		B3-G	
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8
PROMEDIO	0,40		0,41		0,42		0,40		0,35		0,36		0,35		0,39	
T (°C)	16,500		16,000		16,800		17,000		17,000		16,000		16,500		17,000	
CRD CORREG.	0,39		0,40		0,41		0,39		0,35		0,35		0,35		0,38	
TEXTURA	ligeramente rugoso		Rugoso		Muy rugoso		ligeramente rugoso		Muy liso		Muy liso		Muy liso		liso	
N°	LECTURAS								LECTURAS							
	A0-S		A1-S		A2-S		A3-S		B0-V		B1-V		B2-V		B3-V	
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8
PROMEDIO	0,40		0,40		0,41		0,40		0,36		0,38		0,37		0,39	
T (°C)	16,000		16,500		17,000		17,000		17,000		16,000		16,500		17,000	
CRD CORREG.	0,39		0,40		0,41		0,40		0,35		0,37		0,36		0,39	
TEXTURA	ligeramente rugoso		Rugoso		Muy rugoso		Rugoso		Muy liso		Liso		Muy liso		ligeramente rugoso	

Fuente: Elaboración propia

³¹ Para ver el procedimiento de los ensayos por el método de Índice de la partícula véase el anexo 10.

³² Para ver el procedimiento de los ensayos para la determinación de coeficiente de resistencia al deslizamiento véase anexo 11.

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN DE LA FORMA Y TEXTURA DE LOS AGREGADOS PARA VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA MARSHALL

4.1. EVALUACIÓN DE LOS AGREGADOS EN RESISTENCIA MARSHALL

Para poder realizar la evaluación del efecto que causa la forma y textura de los áridos sobre la resistencia se procede a realizar el ensayo Marshall para la correspondiente verificación.

Con el fin de tener resultados óptimos y comparativos entre uno y otro agregado de diferentes procedencias (*triturados y naturales*).

Para cada agregado se verificará la forma y textura más favorable para poder llegar al análisis final donde verificaremos los resultados en consideración a lo siguiente:

- 13) Serie de los Agregados (A y B) vs. Densidad
- 14) Serie de los Agregados (A y B) vs. Estabilidad
- 15) Serie de los Agregados (A y B) vs. Fluencia
- 16) Serie de los Agregados (A y B) vs. % de Vacíos de la Mezcla
- 17) Serie de los Agregados (A y B) vs. Relación Betún Vacíos
- 18) Serie de los Agregados (A y B) vs. Vacíos de Agregado Mineral

Antes de realizar el procedimiento del ensayo Marshall analizamos los agregados mediante los métodos:

- Krumbein (1941) con el procedimiento indicado en el anexo 8.
- Zingg (1943) con el procedimiento indicado en el anexo 9
- Ensayo de IP para la textura general de cada agregado indicado en anexo 10
- ensayo de péndulo para cálculo de CRD (*Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento*) con el procedimiento indicado en el anexo 11

Realizando una evaluación general de cada agregado de las diferentes procedencias por el método de Krumbein, podemos mostrar de acuerdo a las cartillas establecidas el porcentaje de material de acuerdo a su diferentes formas, para después someterlo a las mediciones de Zingg y así corroborar que dicho porcentaje sea correcto y de ésta manera dar veracidad a la relación de Krumbein y Zingg; para así posteriormente someter las muestras de agregados al ensayo para la determinación de textura.

De los resultados de Krumbein y Zingg:

Tabla 3.5: Resultados de las medidas de agregados mediante Krumbein para áridos triturado y naturales.

		Cartilla 1	Cartilla 2	Cartilla 3	Cartilla 5	Cartilla 8	BACKEN PEBBLES	TOTALES
ALCALDÍA (SAN MATEO)	(grs)	2009	0	1775	1556	0	660	6000
	(%)	33%	0%	30%	26%	0%	11%	100%
ERIKA (GUADALQUIVIR)	(grs)	1198	0	1919	2679	0	196	5992
	(%)	20%	0%	32%	45%	0%	3%	100%
SEDECA (CHARAJA)	(grs)	2515	0	1590	1892	0	0	5997
	(%)	42%	0%	27%	32%	0%	0%	100%

		Cartilla 6	Cartilla 7	Cartilla 8	Cartilla 9	BACKEN PEBBLES	TOTALES
ERQUIS	(grs)	0	645	2611	1898	841	5995
	(%)	0%	11%	44%	32%	14%	100%
GUADALQUIVIR	(grs)	0	180	2520	2400	900	6000
	(%)	0%	3%	42%	40%	15%	100%
VENTOLERA	(grs)	0	240	1980	2040	1740	6000
	(%)	0%	4%	33%	34%	29%	100%

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.6: relación de método Zingg y Krumbein para agregado triturado y natural

N°	ALCALDÍA (SAN MATEO)				ERIKÁ (GUADALQUIVIR)				SEDECA (CHARRAIA)									
	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} < \frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} < \frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} < \frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} < \frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$	NOMBRE	
1	0.84	OK	-	OK	0.40	0.72	OK	0.40	0.61	OK	0.65	OK	0.51	0.62	OK	0.68	OK	Discoidales u Oblados
2	0.70	OK	-	OK	0.54	0.68	OK	0.92	0.74	OK	-	OK	0.79	0.79	OK	0.45	OK	Discoidales u Oblados
3	0.75	OK	-	OK	0.52	0.70	OK	0.99	0.67	OK	-	OK	0.81	0.77	OK	0.55	OK	Esféricos o equidimensionales
4	0.83	-	OK	0.74	0.66	-	OK	0.74	0.67	OK	-	OK	0.61	0.70	OK	0.40	0.54	Espodales o triaxiales
5	0.67	OK	-	OK	0.54	0.62	OK	0.65	0.66	OK	0.65	OK	0.53	0.66	OK	0.19	0.47	Esféricos o triaxiales
6	0.88	OK	-	OK	0.37	0.71	OK	0.67	0.86	OK	0.67	OK	0.66	0.86	OK	0.39	0.59	Espodales o triaxiales
7	0.70	OK	-	OK	0.41	0.62	OK	0.65	0.68	OK	0.65	OK	0.53	0.67	OK	0.56	0.68	Discoidales u Oblados
8	0.70	OK	-	OK	0.53	0.64	OK	0.67	0.91	OK	0.67	OK	0.64	0.82	OK	0.39	0.38	Espodales o triaxiales
9	0.64	-	OK	0.72	0.66	-	OK	0.58	0.74	OK	0.75	OK	0.64	0.74	OK	0.34	0.30	Espodales o triaxiales
10	0.58	-	OK	0.99	0.76	-	OK	0.76	1.07	OK	0.71	OK	0.73	0.93	OK	0.47	0.63	Espodales o triaxiales
11	0.86	OK	-	OK	0.41	0.67	OK	0.38	0.69	OK	0.75	OK	0.62	0.71	OK	0.46	0.54	Espodales o triaxiales
12	0.66	-	OK	0.61	0.50	-	OK	0.50	0.85	OK	0.67	OK	0.66	0.86	OK	0.50	0.64	Esféricos o equidimensionales
13	0.99	OK	-	OK	0.52	0.80	OK	0.52	0.86	OK	0.59	OK	0.55	0.76	OK	0.45	0.65	Discoidales u Oblados
14	0.70	OK	-	OK	0.66	0.69	OK	0.63	0.66	OK	0.63	OK	0.51	0.65	OK	0.35	0.52	Espodales o triaxiales
15	0.59	-	OK	0.63	0.49	0.60	OK	0.69	0.73	OK	0.69	OK	0.59	0.72	OK	0.30	0.54	Espodales o triaxiales

N°	ERQUIS				GUADALQUIVIR				VENTOERA									
	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} < \frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} < \frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} < \frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{b-2}{a-3}$	$\frac{b-2}{a-3} < \frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$	NOMBRE	
1	0.68	OK	-	OK	1.01	OK	-	OK	0.69	OK	-	OK	0.84	0.78	OK	0.89	OK	Esféricos o equidimensionales
2	0.75	OK	-	OK	0.85	OK	-	OK	0.75	OK	-	OK	0.74	0.78	OK	0.84	OK	Esféricos o equidimensionales
3	0.90	OK	-	OK	0.81	OK	-	OK	0.90	OK	-	OK	0.77	0.87	OK	0.91	OK	Esféricos o equidimensionales
4	0.81	OK	-	OK	0.69	OK	-	OK	0.82	OK	-	OK	0.64	0.78	OK	0.90	OK	Esféricos o equidimensionales
5	1.02	OK	-	OK	0.76	OK	-	OK	1.02	OK	-	OK	0.77	0.93	OK	0.77	OK	Esféricos o equidimensionales
6	0.97	OK	-	OK	0.78	OK	-	OK	0.97	OK	-	OK	0.77	0.90	OK	0.82	OK	Esféricos o equidimensionales
7	0.78	OK	-	OK	1.09	OK	-	OK	0.79	OK	-	OK	0.97	0.88	OK	0.74	OK	Esféricos o equidimensionales
8	0.87	OK	-	OK	0.95	OK	-	OK	0.87	OK	-	OK	0.89	0.90	OK	0.86	OK	Esféricos o equidimensionales
9	0.84	OK	-	OK	0.91	OK	-	OK	0.85	OK	-	OK	0.84	0.87	OK	0.79	OK	Esféricos o equidimensionales
10	1.11	OK	-	OK	0.86	OK	-	OK	1.10	OK	-	OK	0.91	1.02	OK	0.75	OK	Esféricos o equidimensionales
11	0.92	OK	-	OK	0.93	OK	-	OK	0.92	OK	-	OK	0.89	0.93	OK	0.81	OK	Esféricos o equidimensionales
12	0.95	OK	-	OK	0.43	OK	-	OK	0.95	OK	-	OK	0.77	0.89	OK	0.64	OK	Esféricos o equidimensionales
13	0.99	OK	-	OK	0.21	OK	-	OK	0.99	OK	-	OK	0.82	0.93	OK	0.77	OK	Esféricos o equidimensionales
14	0.67	OK	-	OK	0.80	OK	-	OK	0.68	OK	-	OK	0.73	0.74	OK	0.78	OK	Esféricos o equidimensionales
15	0.90	OK	-	OK	0.76	OK	-	OK	0.91	OK	-	OK	0.72	0.85	OK	0.97	OK	Esféricos o equidimensionales

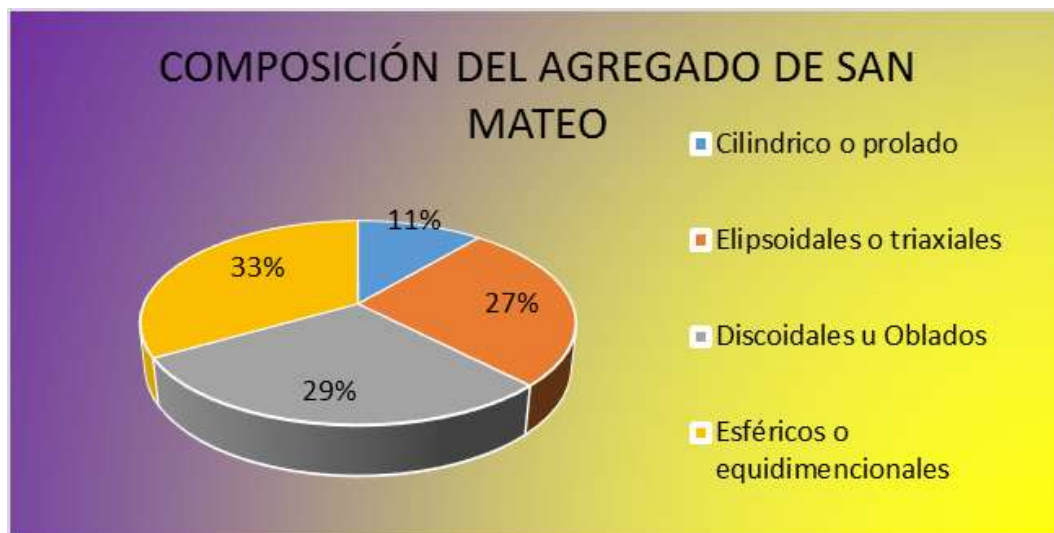
Fuente: Elaboración propia

Podemos llegar a calcular la composición del agregado de acuerdo a su forma.

a) **Composición general del agregado de acuerdo a la forma**

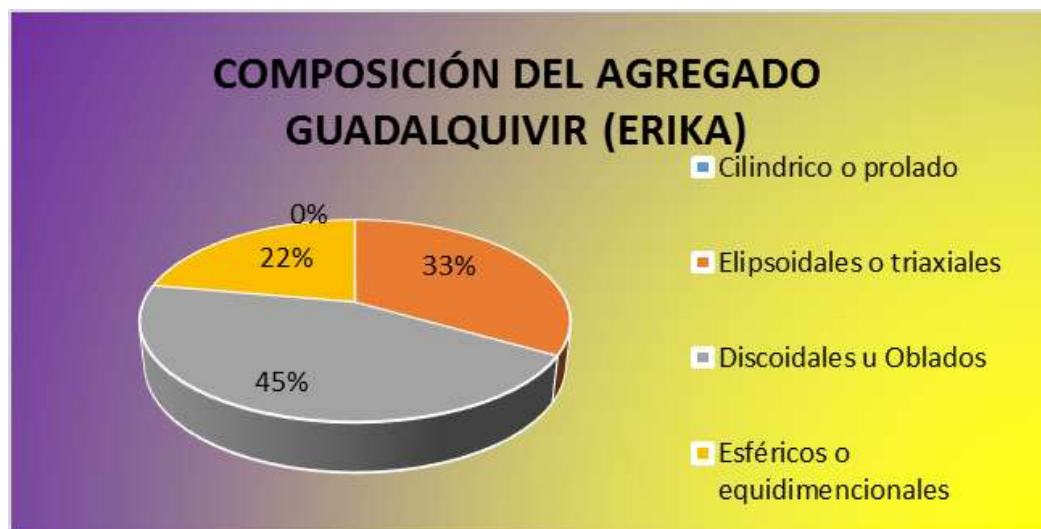
Siguiendo el procedimiento de Krumbein indicado en el anexo 8 de la presente investigación, sometiendo a las muestras a las mediciones de Zingg se pudo constatar lo siguiente

Figura 4.1: Composición del agregado para la San Mateo (alcaldía) (Ver anexo 9)



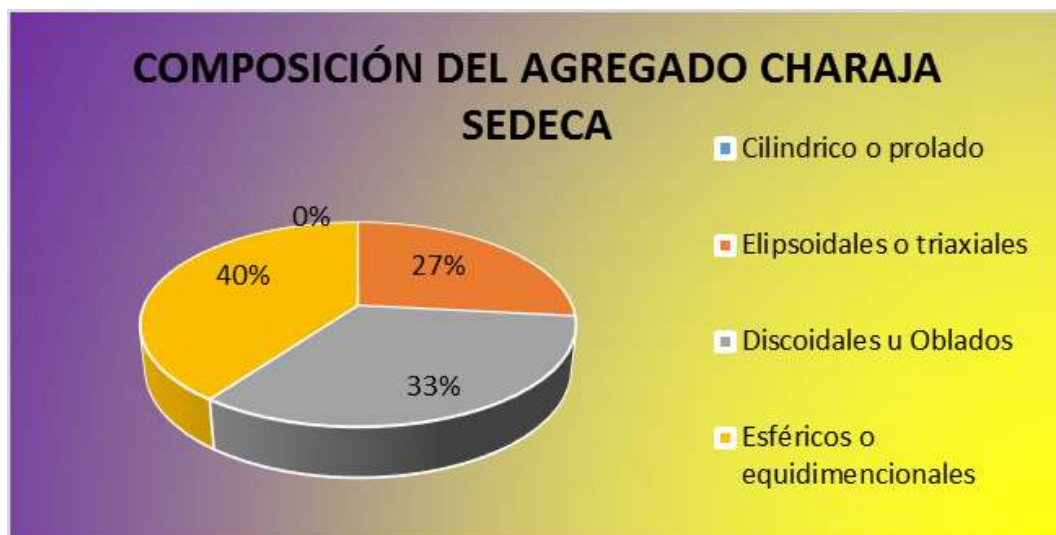
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Composición del agregado para la Guadalquivir (Erika) (Ver anexo 9)



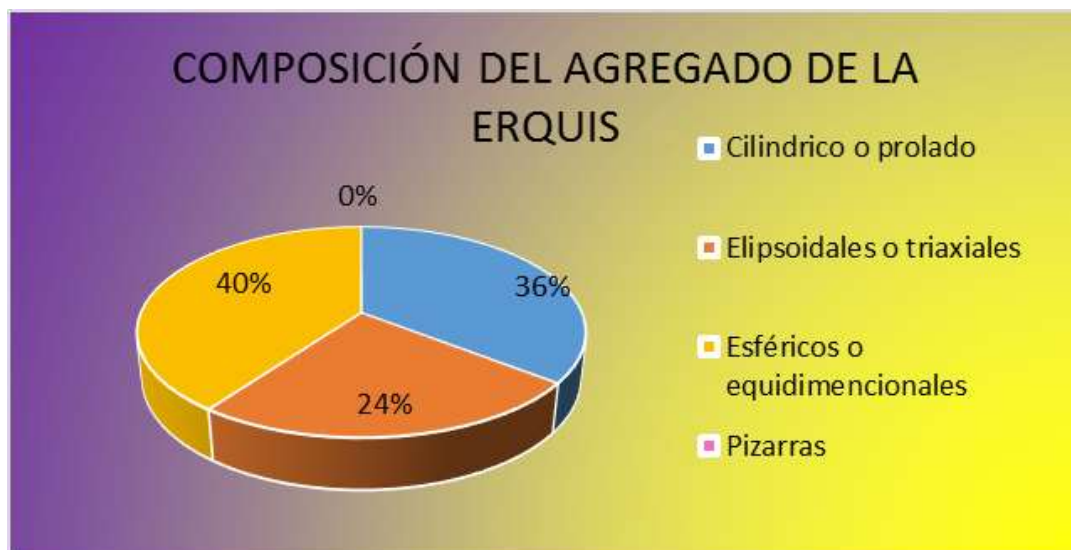
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Composición del agregado para la Charaja (SEDECA) (Ver anexo 9)



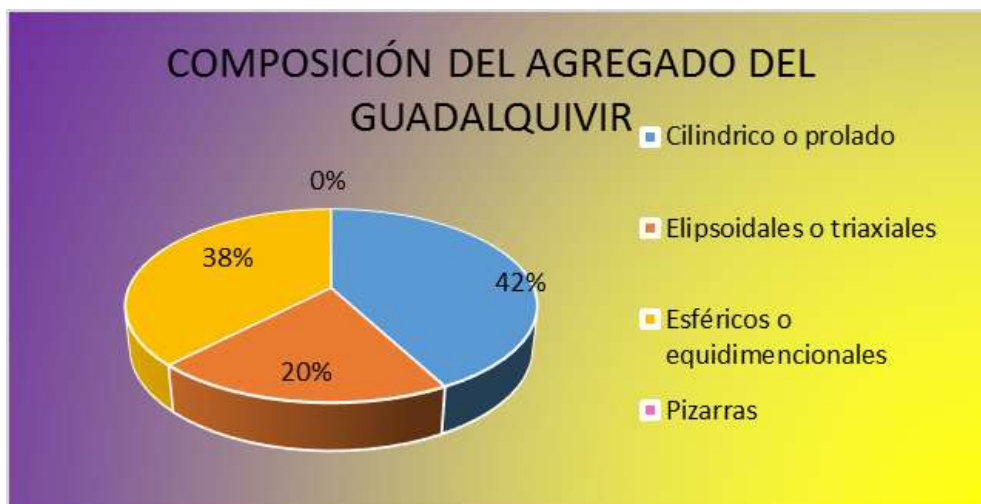
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Composición del agregado para Erquis (Ver anexo 9)



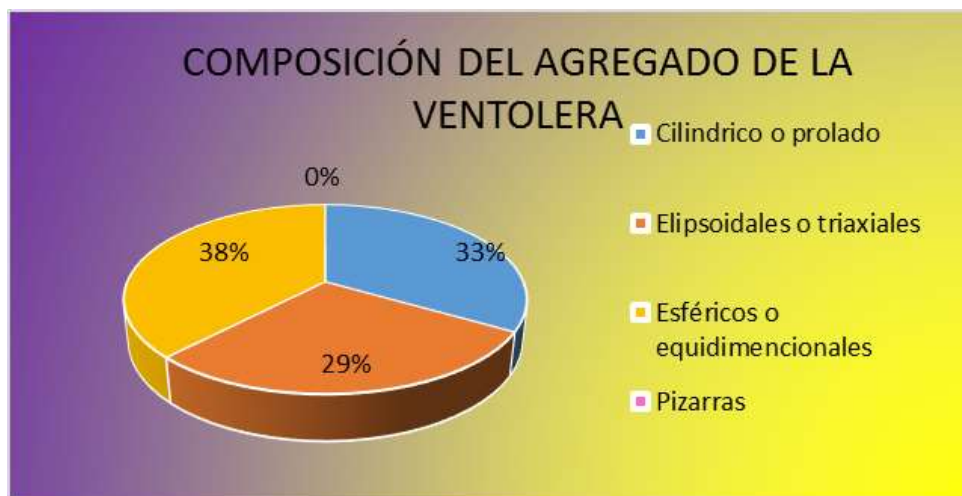
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Composición del agregado para Guadalquivir (Ver anexo 9)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Composición del agregado para Ventolera (Ver anexo 9)



Fuente: Elaboración propia

De los ensayos a los que se sometió a las muestras ya evaluadas por forma obtenemos los resultados de para los diferentes agregados en cuanto sus textura, mediante el ensayo de IP, según la ASTM 3398-98 los agregados que tengan partículas redondeadas con textura superficial lisa puede tener un índice de 6 a 7, mientras que agregados con alto contenido de partículas angulares con textura superficial rugosa pueden tener índice de partículas de 15 a 20 ó más.

Tabla 3.7: resultado de ensayo Índice de Partícula

ALCALDIA	IP=	22,9975	Muy rugosa
ERIKA	IP=	23,0088	Muy rugosa
SEDECA	IP=	21,9982	Muy rugosa
ERQUIS	IP=	8,0777	LISA
GUADALQUIVIR	IP=	7,9158	LISA
VENTOLERA	IP=	9,6795	LISA

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8: resultado de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento

N°	LECTURAS								LECTURAS							
	A0-A		A1-A		A2-A		A3-A		B0-E		B1-E		B2-E		B3-E	
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8
PROMEDIO	0,39		0,41		0,43		0,40		0,35		0,35		0,35		0,39	
T (°C)	16,000		16,500		16,000		16,000		16,000		16,500		17,000		17,000	
CRD CORREG.	0,39		0,40		0,42		0,39		0,34		0,35		0,35		0,39	
TEXTURA	Ligeramente rugoso		Rugoso		Muy rugoso		Ligeramente rugoso		Liso		Liso		Liso		Ligeramente rugoso	
N°	LECTURAS								LECTURAS							
	A0-E		A1-E		A2-E		A3-E		B0-G		B1-G		B2-G		B3-G	
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8
PROMEDIO	0,40		0,41		0,42		0,40		0,35		0,36		0,35		0,39	
T (°C)	16,500		16,000		16,800		17,000		17,000		16,000		16,500		17,000	
CRD CORREG.	0,39		0,40		0,41		0,39		0,35		0,35		0,35		0,38	
TEXTURA	Ligeramente rugoso		Rugoso		Muy rugoso		Ligeramente rugoso		Muy liso		Muy liso		Muy liso		Liso	
N°	LECTURAS								LECTURAS							
	A0-S		A1-S		A2-S		A3-S		B0-V		B1-V		B2-V		B3-V	
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8
PROMEDIO	0,40		0,40		0,41		0,40		0,36		0,38		0,37		0,39	
T (°C)	16,000		16,500		17,000		17,000		17,000		16,000		16,500		17,000	
CRD CORREG.	0,39		0,40		0,41		0,40		0,35		0,37		0,36		0,39	
TEXTURA	Ligeramente rugoso		Rugoso		Muy rugoso		Rugoso		Muy liso		Liso		Muy liso		Ligeramente rugoso	

Fuente: Elaboración propia

Contando con los datos de los mencionados ensayos es necesario que para la dosificación de briquetas para el ensayo Marshall, se haga la separación correspondiente.

Imagen 4.1: Separación los agregados por los métodos correspondientes en cuanto a texturas y formas.



Fuente: elaboración propia

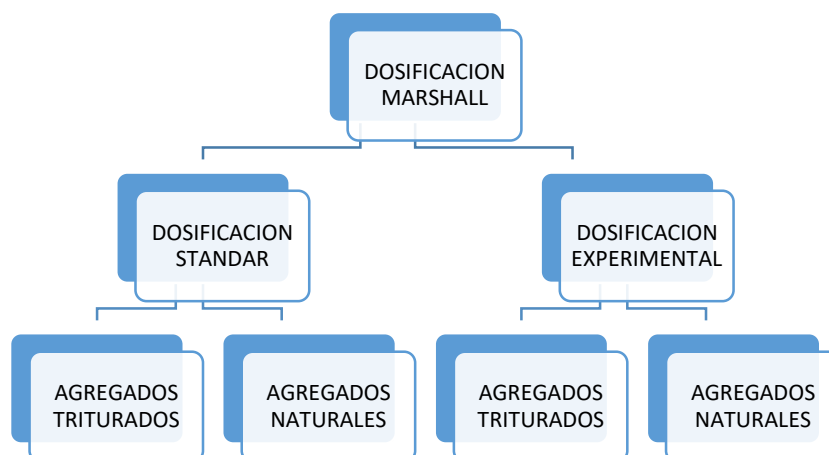
De acuerdo a las formas y texturas se pudieron obtener 3 diferentes agregados, los mismos fueron nombrados de la siguiente manera para un mejor manejo de resultados

Tabla 3.4. Codificación (Serie de las muestras)

AGREGADO		SERIE
Agregado Triturado	San Mateo (Alcaldía)	A-A
	Guadalquivir (Erika)	A-E
	Charaja (SEDECA)	A-S
Agregado Natural	Erquis	B-E
	Guadalquivir	B-G
	Ventolera	B-V

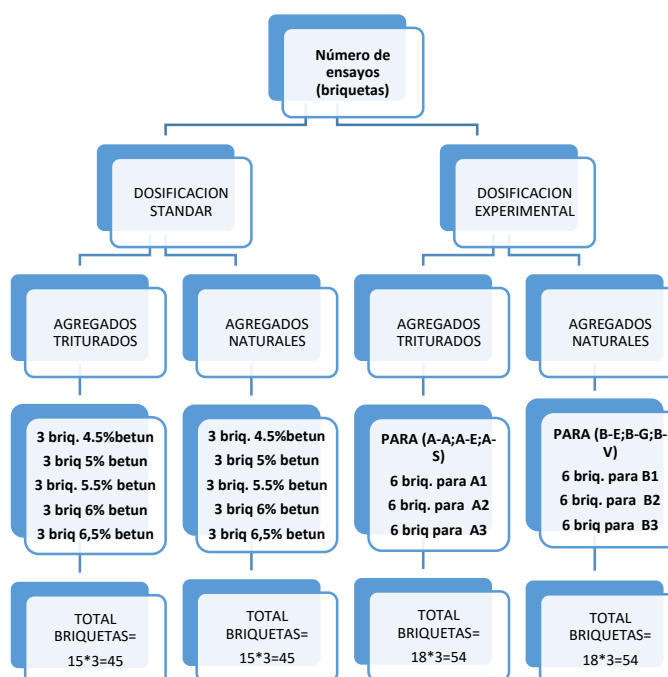
Fuente: elaboración propia

4.2. DOSIFICACIÓN MARSHALL

Esquema 3.7: para la dosificación Marshall³³

Fuente: elaboración propia

Esquema: 3.8: del número de ensayos para la elaboración de briquetas



Fuente: elaboración propia

³³ Para ver el procedimiento del ensayo Marshall véase el anexo 12, tablas comparativas en el Cap. IV.

Criterios:

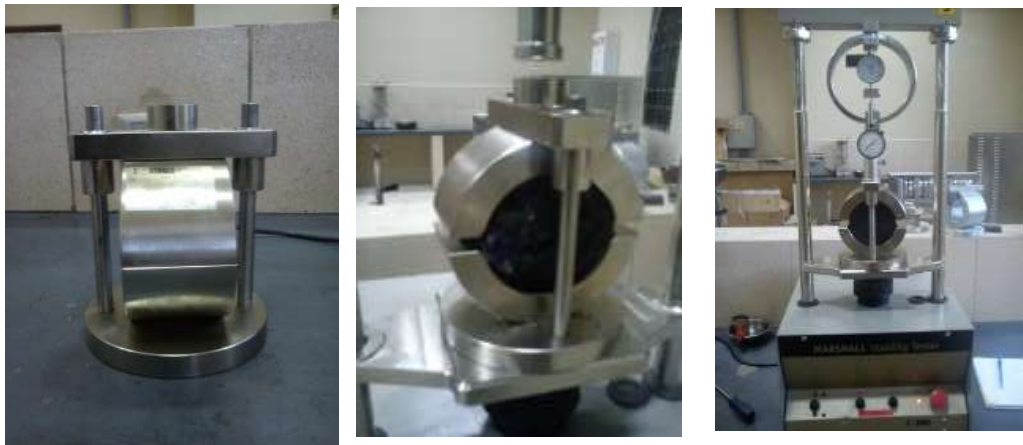
- Se realiza la dosificación estándar (en condiciones normales del agregado) con la finalidad de obtener el porcentaje de betún óptimo para agregado de diferente procedencia.
- Se realiza la dosificación experimental (agregado sometido a métodos de evaluación de forma y textura) para verificar la resistencia Marshall.
- Las dos dosificaciones se prestaran a análisis para comparación.

Imagen 4.2: realización de las briquetas para la posterior verificación de resistencia



Fuente: elaboración propia

Imagen 4.3: Colocado de briquetas en la mordaza Marshall y lecturar la estabilidad y fluencia



Fuente: elaboración propia

4.3. TRATAMIENTO ESTADISTICO BÁSICO:

Para el presente trabajo se aplica la estadística de T student con una confiabilidad del 95% a los datos obtenidos de las lecturas realizadas durante los ensayos por el método Marshall, la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$R_T = R_m \pm T * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

R_T = Resistencia técnica característica Marshall

R_m = Resistencia técnica promedio del Marshall

T = coeficiente Student

S =desviación estándar

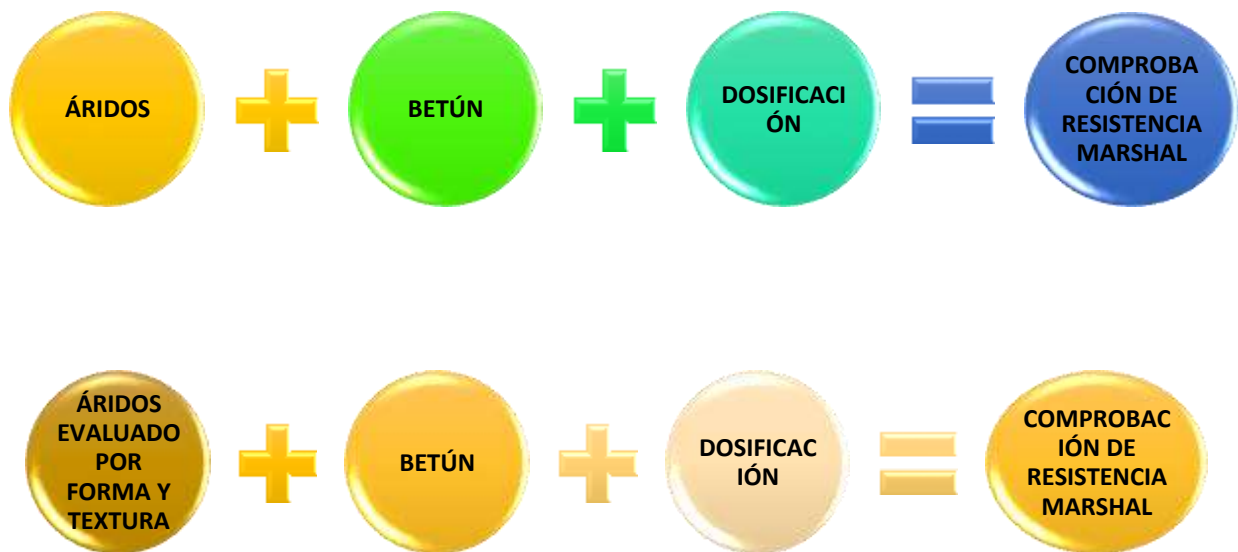
Tabla 3.1: coeficiente Student (al 95% de confiabilidad)

N° de ensayos menos uno	t	N° de ensayos menos uno	t	N° de ensayos menos uno	t
(N-1)		(N-1)		(N-1)	
1	6,31	11	1,80	21	1,72
2	2,92	12	1,78	22	1,72
3	2,35	13	1,77	23	1,71
4	2,13	14	1,76	24	1,71
5	2,02	15	1,75	25	1,71
6	1,94	16	1,75	26	1,71
7	1,90	17	1,74	27	1,70
8	1,86	18	1,73	28	1,70
9	1,85	19	1,73	29	1,70
10	1,81	20	1,72	30	1,70
				> a 30	1,64

Criterios para el uso del tratamiento estadístico básico (STUDENT):

- Método usado para la determinación de intervalos de confianza dentro del cual se pueden estimar la media de una población a partir de muestras pequeñas ($n < 30$).
- Comprobación de hipótesis a partir de muestreos pequeños.
- Determina el grado de confiabilidad para la hipótesis con un 95%.

Esquema 4.3: de comprobación resistencia Marshall




Elaboración propia

4.4. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, ESTABILIDAD Y FLUENCIA MARSHALL

4.4.1. RESULTADOS DE LA PRUEBA MARSHALL PARA LA DOSIFICACION ESTANDAR.

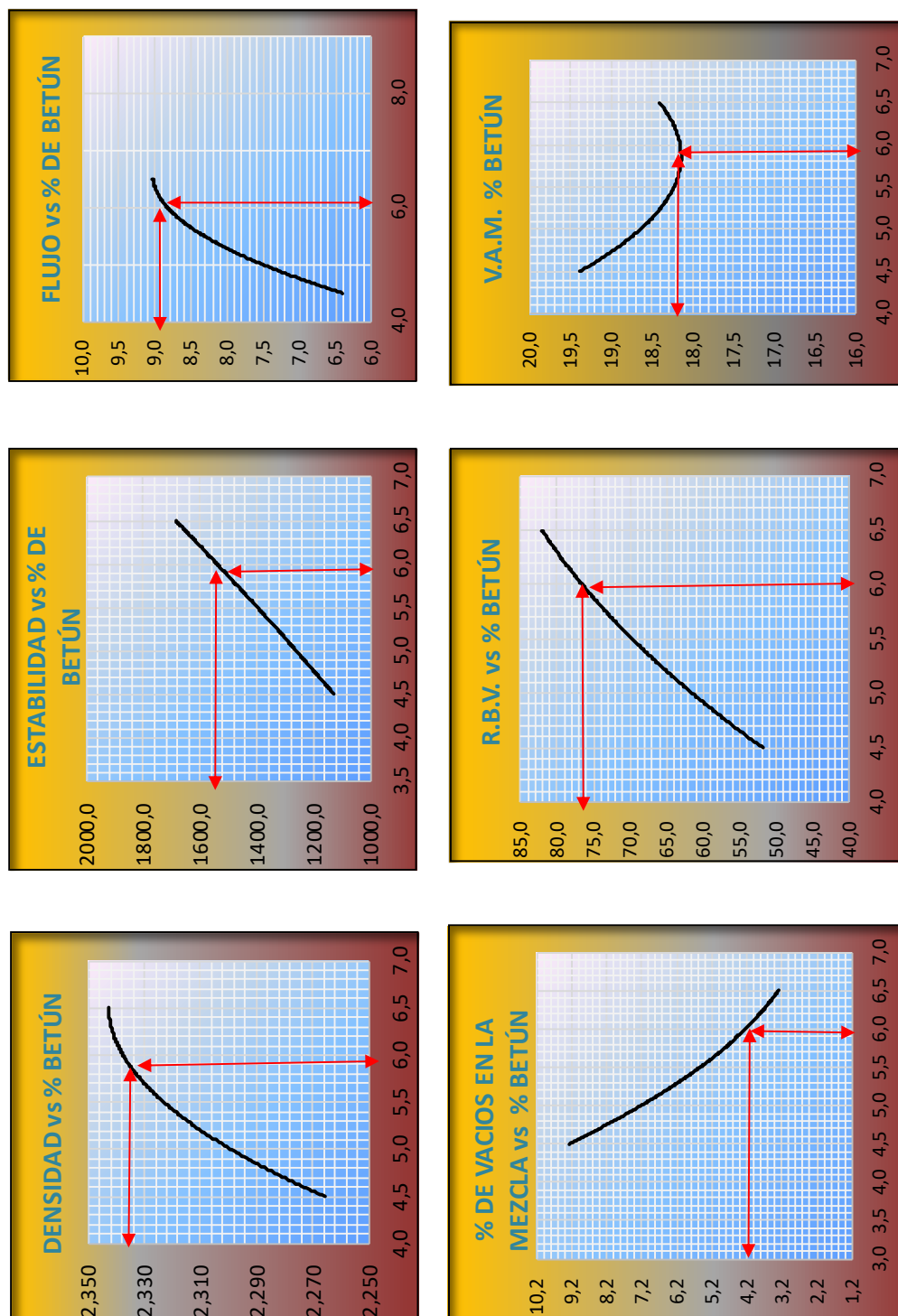
(Resultados trabajados con agregados en concisiones normales (Estándar) para el contenido óptimo de betún a usarse posteriormente en el ensayo Marshall para la evaluación y verificación del efecto de los agregados.

Tabla 4.1: Marshall con agregado de la San Mateo (Alcaldía)

 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL (TARHA-BOLIVIA) DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL PROYECTO: INVESTIGACIÓN DE GRADO PARA LA "EVALUACIÓN DEL EFECTO, DE LA FORMA Y TEXTURA DE LOS ÁRDOS SOBRE LA RESISTENCIA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS" MUESTRA NORMAL (ALCALDÍA) FECHA JUNIO DE 2016 LABORATORISTA: RAQUEL CARLA FERNANDEZ YUQUINA AGREGADO SAN MATEO																			
N° de probeta	altura de probeta	Peso Briqueta			Volumen			Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall			Flujo		
		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teorica	% de vacíos mezcla total	V.A.(Vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen	lectura del dial	carga	factor de correccion	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	Flujo real	Flujo promedio
		grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	libras	libras	libras	libras	libras	Pulg		
1	6.50	118.10	1189.1	664.6	524.5	2.25	2.25	2.498	9.06	19.20	52.81	4.20	112.75	0.93	112.75	140	175	0.0689	6.562
2	6.40	4.5	1184.0	191.7	671.3	520.4	2.28	2.271	2.29	18.30	189.8	672.6	517.2	2.29	183.0	189.8	150	0.0689	6.562
3	6.21		1183.0	189.8	672.6	517.2	2.29	2.287	7.73	19.08	59.46	4.80	130.125	1.01	130.125	127	185	0.0728	7.218
4	6.3		1188.0	191.1	673.1	518.0	2.29	2.287	7.73	19.08	59.46	4.80	130.125	1.01	130.125	127	185	0.0728	7.218
5	6.6		1193.0	196.0	675.8	520.2	2.29	2.287	7.73	19.08	59.46	4.80	130.125	1.01	130.125	127	185	0.0728	7.218
6	6.3		1189.0	195.0	672.1	522.9	2.27	2.287	7.73	19.08	59.46	4.80	130.125	1.01	130.125	127	185	0.0728	7.218
7	6.2		1190.0	192.3	678.8	504.5	2.36	2.327	5.38	18.08	70.25	5.60	144.561	1.07	144.561	1407	220	0.0866	8.268
8	6.5		1197.0	199.0	682.8	516.2	2.32	2.327	5.38	18.08	70.25	5.60	144.561	1.07	144.561	1407	220	0.0866	8.268
9	6.2		1200.0	202.0	681.3	520.7	2.30	2.344	3.98	17.93	77.82	5.60	144.561	1.07	144.561	1407	220	0.0866	8.268
10	6.1		1201.0	202.8	691.4	514.4	2.35	2.344	3.98	17.93	77.82	5.60	144.561	1.07	144.561	1407	220	0.0866	8.268
11	6.1		1203.0	203.1	690.9	512.2	2.35	2.344	3.98	17.93	77.82	5.60	144.561	1.07	144.561	1407	220	0.0866	8.268
12	6.3		1201.0	202.0	687.6	514.4	2.33	2.339	3.47	18.55	81.30	5.60	144.561	1.07	144.561	1407	220	0.0866	8.268
13	6.1		1203.0	203.0	689.9	515.1	2.34	2.339	3.47	18.55	81.30	5.60	144.561	1.07	144.561	1407	220	0.0866	8.268
14	6.2		1207.0	208.0	687.7	520.3	2.32	2.339	3.47	18.55	81.30	5.60	144.561	1.07	144.561	1407	220	0.0866	8.268
15	6.2		1206.0	207.2	694.4	512.8	2.35	2.339	3.47	18.55	81.30	5.60	144.561	1.07	144.561	1407	220	0.0866	8.268
especificacion		minimo							2	18	75	612.8	1063.187	1.04	1697.14	1500	230	0.0906	8
		maximo							4	82	82								14

Elaboración propia

Figura 4.7: Gráficas Marshall con agregado de la San Mateo (Alcaldía)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2: Resumen para betún óptimo. San Mateo (Alcaldía)

PORCENTAJE DE BETÚN ADICIONAL	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
4,5	2,271	1140,12	6,56	9,06	52,81	19,20
5,0	2,287	1227,50	7,22	7,73	59,46	19,08
5,5	2,327	1406,79	8,27	5,38	70,25	18,08
6,0	2,344	1558,76	9,19	3,98	77,82	17,93
6,5	2,339	1674,49	8,86	3,47	81,30	18,55

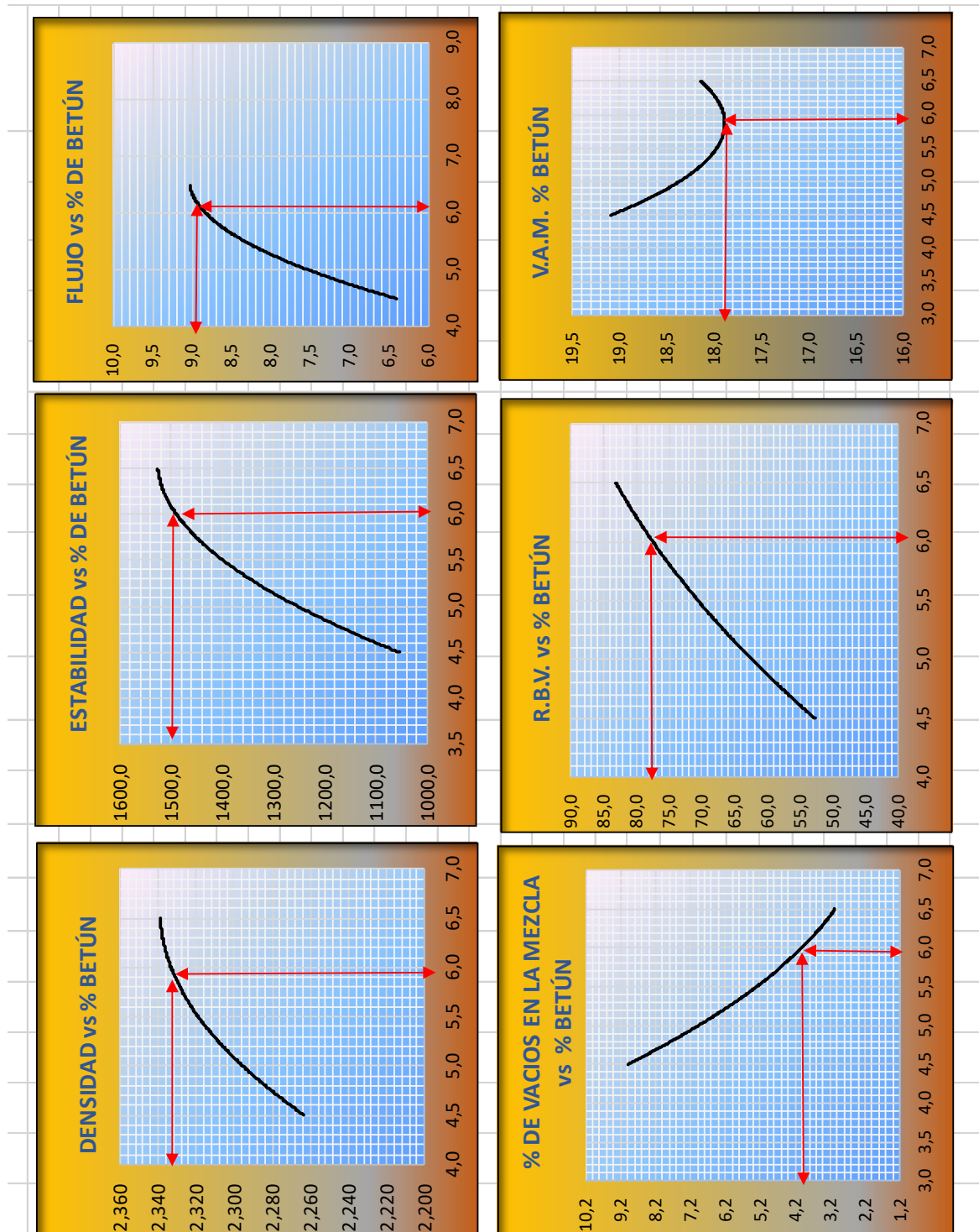
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3: Marshall con agregado de Guadalquivir (Erika)

N° de probeta		altura de probeta	Peso Briqueta			Volumen			Densidad Briqueta			% de Vacíos					Estabilidad Marshall					Flujo									
			seco	sat. Sup. Secca	sumergida en agua	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad teorica maxima	% de vacíos mecla tota	V.A.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen	lectura del	carga	factor de	carga real	correccion	carga real	correccion	carga real	lectura del	del flujo	Flujo real	Flujo promedio							
Total		%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	libras	libras	libras	libras	libras	libras	libras	libras	libras	libras	libras	libras	libras	libras	
1	6.70	1179.4	1187.5	663.00	524.5	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	8.78	18.91	53.55	4.20	1113	0.923	1027	1085	175	0.0689	6.562								
2	6.80	1182.4	1190.1	669.70	520.4	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	8.78	18.91	53.55	4.30	1140	0.898	1023	1085	175	0.0689	6.562								
3	6.40	1181.4	1188.2	671.00	517.2	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	8.78	18.91	53.55	4.60	1220	0.988	1205	1085	150	0.0591	6.562								
4	6.5	1186.4	1189.5	671.50	518.0	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	7.46	18.78	60.31	4.80	1274	0.975	1242	1182	175	0.0689	7.218								
5	6.5	1191.4	1194.4	674.20	520.2	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	7.46	18.78	60.31	4.90	1301	0.963	1252	1182	190	0.0748	7.218								
6	6.7	1187.4	1193.4	670.50	522.9	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	7.46	18.78	60.31	4.30	1140	0.923	1051	1085	185	0.0728	7.218								
7	6.8	1188.4	1190.7	686.20	504.5	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	5.10	17.78	71.33	5.60	1490	0.898	1337	1430	2.10	0.0827	8.268								
8	6.6	1195.4	1197.4	681.20	516.2	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	5.10	17.78	71.33	5.75	1530	0.943	1443	1430	2.20	0.0866	8.268								
9	6.3	1198.4	1200.4	679.70	520.7	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	5.10	17.78	71.33	5.60	1490	1.013	1509	1430	2.00	0.0787	8.268								
10	6.2	1199.4	1202.2	689.80	512.4	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	3.82	17.74	78.44	5.78.1	1538	1.040	1600	1520	2.40	0.0945	9.186								
11	6.4	1201.4	1202.5	689.30	513.2	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	3.82	17.74	78.44	5.70.2	1517	0.988	1498	1520	2.25	0.0886	9.186								
12	6.5	1199.4	1200.4	688.00	514.4	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	3.82	17.74	78.44	5.71.3	1520	0.963	1463	1520	2.35	0.0925	9.186								
13	6.3	1201.4	1201.4	688.30	513.1	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	3.19	18.25	82.51	5.75.1	1530	1.013	1550	1506	2.10	0.0827	8.858								
14	6.2	1205.4	1206.4	686.10	520.3	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	3.19	18.25	82.51	540.6	1438	1.040	1495	1506	2.35	0.0925	8.858								
15	6.4	1204.4	1205.6	692.80	512.8	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2	15	75	560.5	1491	0.988	1472	1500	2.30	0.0906	8								
especificacion			minimo										4		82																
			maximo										4		82																

Elaboración propia

Figura 4.8: Gráficas Marshall con agregado de Guadalquivir (Erika)




Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4: Resumen para betún óptimo Guadalquivir (Erika)

PORCENTAJE DE BETÚN ADICIONAL	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
4,5	2,268	1084,86	6,56	8,78	53,55	18,91
5,0	2,284	1182,09	7,22	7,46	60,31	18,78
5,5	2,324	1429,80	8,27	5,10	71,33	17,78
6,0	2,338	1520,46	9,19	3,82	78,44	17,74
6,5	2,336	1505,93	8,86	3,19	82,51	18,25

Fuente: Elaboración propia

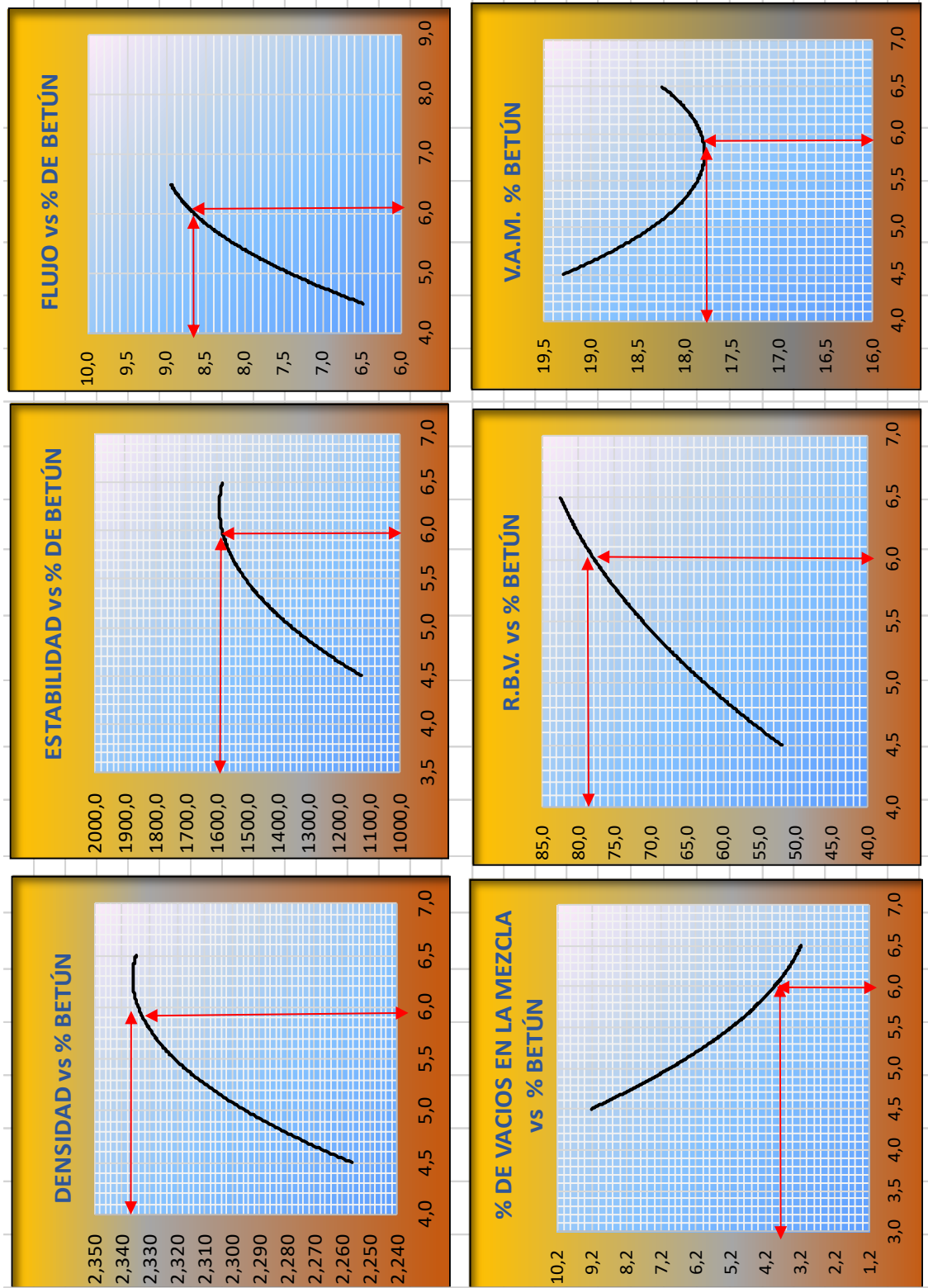
Tabla 4.5: Marshall con agregado de Charaja (SEDECA)

 UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARJA-BOLIVIA) DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL PROYECTO: INVESTIGACION DE PROYECTO DE GRADO PARA LA "EVALUACION DE EFECTO, DE LA FORMA Y TEXTURA DE LOS ARIDOS SOBRE LA RESISTENCIA EN MEZCLAS ASFALTICAS" MUESTRA NORMAL (SEDECA) FECHA JUNIO DE 2016 LABORATORISTA: RAQUEL CARLA FERNANDEZ YURQUINA																					
pesos especificos			% de agregado			AGREGADO			%			NUMERO DE GOLPES 75									
Mat. Retenido Tamiz N°4			2,64			47,54			Grava			2,63			30						
Mat. Pasa Tamiz N°4			2,70			52,46			Gravilla			2,65			20						
peso especifico total			2,67			100			Arena			2,70			50						
peso especifico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166) peso especifico maximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)																					
N° de probeta	altura de probeta	Peso Briqueta			Volu men	Densidad Briqueta			% de Vacios					Estabilidad Marshall			Flujo				
		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mecla tota	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen	lectura del	carga	factor de	correccion	carga real	carga corregida	lectura del	Flujo real	Flujo promedio
1	6,20	1181,2	1189,3	662,9	52,64	2,24	2,24	3	3	395	1045	1040	1087	libras	libras	175	0,0689	175	0,0689	6,562	
2	6,30	1184,2	1191,9	669,6	52,23	2,27	2,27	3	3	460	1220	1013	1236	libras	libras	175	0,0689	150	0,0591	6,562	
3	6,21	1183,2	1190,0	670,9	51,91	2,28	2,28	3	3	420	1113	1037	1154	libras	libras	175	0,0689	175	0,0689	7,218	
4	6,3	1188,2	1191,3	671,4	51,99	2,29	2,29	3	3	480	1274	1013	1291	libras	libras	185	0,0728	185	0,0728	7,218	
5	6,3	1193,2	1196,2	674,1	52,21	2,29	2,29	3	3	427	1132	1013	1146	libras	libras	205	0,0807	205	0,0807	8,136	
6	6,3	1189,2	1193,2	670,4	52,48	2,27	2,27	3	3	545	1449	1040	1507	libras	libras	215	0,0846	215	0,0846	8,136	
7	6,2	1190,2	1192,5	682,1	51,04	2,33	2,33	3	3	575	1530	1040	1591	libras	libras	200	0,0787	200	0,0787	8,136	
8	6,2	1197,2	1198,2	684,07	51,41	2,33	2,33	3	3	560	1490	1040	1549	libras	libras	230	0,0906	230	0,0906	8,793	
9	6,2	1200,2	1202,2	685,57	51,66	2,32	2,32	3	3	581,6	1548	1071	1658	libras	libras	217	0,0854	217	0,0854	8,793	
10	6,1	1201,2	1204,3	689,2	51,51	2,34	2,34	3	3	570,2	1517	1071	1625	libras	libras	223	0,0878	223	0,0878	8,793	
11	6,1	1201,2	1202,2	689	51,32	2,34	2,34	3	3	575,1	1530	1071	1639	libras	libras	210	0,0827	210	0,0827	8,858	
12	6,3	1203,2	1203,2	688,2	51,50	2,34	2,34	3	3	540,6	1438	1040	1495	libras	libras	235	0,0925	235	0,0925	8,858	
13	6,1	1207,2	1208,2	686	52,22	2,31	2,31	3	3	560,5	1491	1040	1551	libras	libras	230	0,0906	230	0,0906	8,858	
14	6,2	1206,2	1207,4	692,7	51,47	2,34	2,34	3	3												
15	6,2	1206,2	1207,4	692,7	51,47	2,34	2,34	3	3												
especificacion		minimo		4		2		15		75		1500		8		14					
		maximo		4		2		15		75		1500		8		14					

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Gráficas Marshall con agregado de Charaja (SEDECA)

MUESTRA NORMAL




Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6: Resumen para betún óptimo Charaja (SEDECA)

PORCENTAJE DE BETÚN ADICIONAL	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
4,5	2,263	1159,17	6,56	8,94	53,05	19,05
5,0	2,279	1269,98	7,22	7,62	59,74	18,92
5,5	2,328	1549,34	8,14	4,91	72,12	17,61
6,0	2,341	1607,54	8,79	3,66	79,21	17,59
6,5	2,330	1561,61	8,86	3,37	81,69	18,40

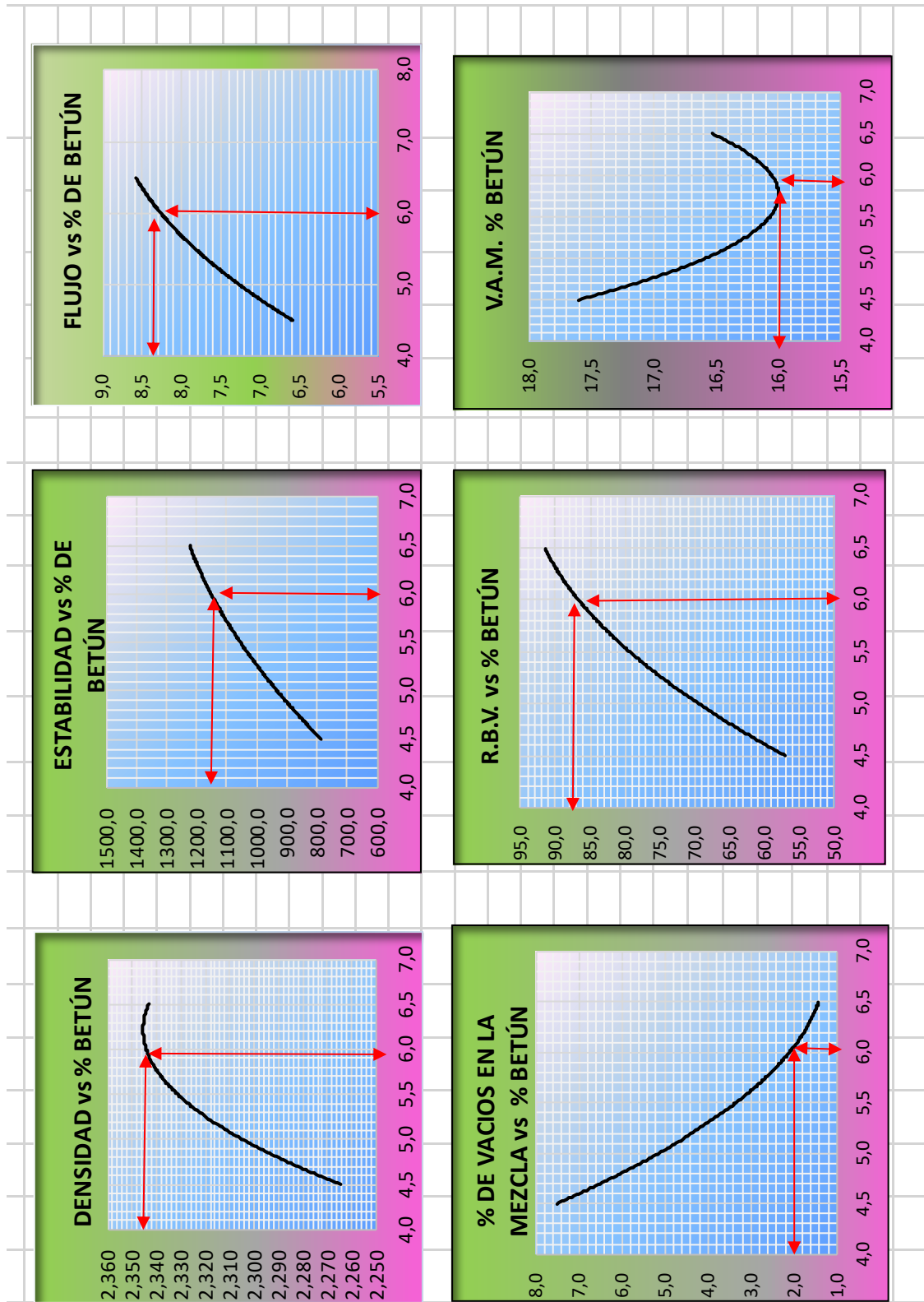
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7: Marshall con agregado de Erquiz

 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL (TARJA-BOLIVIA) DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL PROYECTO: INVESTIGACIÓN DE GRADO PARA LA "EVALUACIÓN DEL EFECTO, DE LA FORMA Y TEXTURA DE LOS ÁRIDOS SOBRE LA RESISTENCIA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS"																			
MUESTRA NORMAL (ERQUIZ) FECHA JUNIO DE 2016 LABORATORISTA: RAQUEL CARLA FERNANDEZ YURQUINA																			
AGREGADO ERQUIZ																			
BETÚN																			
CEMENTO ASFÁLTICO 85-100																			
PESO ESPECÍFICO TOTAL AASHTO T-228 10080																			
peso específico bulk de mezclas bituminosas compactadas (AASHTO T-166)																			
peso específico máximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)																			
N° de probeta	altura de probeta	Peso Briqueta			Volumen			Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall			Flujo		
		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen)	lectura del factor de correccion	carga real	carga corregida	carga promedio	lectura del flujo	Flujo real	Flujo promedio	
		grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	libras	libras	libras	Pulg				
1	6.51	1194.6	1197.2	665.4	531.8	2.25	2.448	7.33	17.46	58.01	270	708.8	680.48	680.48	178	0.0701	6.719		
2	6.58	1191.4	1195.2	672.1	523.1	2.28	2.448	7.33	17.46	58.01	300	789.6	747.69	770.7	170	0.0669	6.719		
3	6.35	1193.8	1196.4	673.4	523.0	2.28	2.448	7.33	17.46	58.01	335	883.9	883.87	770.7	164	0.0646	6.719		
4	6.3	1194.3	1191.3	673.9	517.4	2.31	2.430	5.61	16.98	66.99	370	978.1	1011.988.87	965.8	170	0.0669	6.982		
5	6.3	1193.2	1196.2	676.6	519.6	2.30	2.430	5.61	16.98	66.99	375	991.6	1016.1007.4	965.8	180	0.0709	6.982		
6	6.2	1189.2	1195.2	672.9	522.3	2.28	2.412	3.02	15.78	80.87	332	875.8	1029.901.19	1044	182	0.0717	6.982		
7	6.2	1190.2	1192.5	684.6	507.9	2.34	2.412	3.02	15.78	80.87	390	1032.0	1040.1073.2	1044	200	0.0787	7.874		
8	6.3	1197.2	1198.2	686.6	511.6	2.34	2.339	3.02	15.78	80.87	385	1019	1003.102.16	1044	210	0.0827	7.874		
9	6.5	1200.2	1202.2	688.1	514.1	2.33	2.345	2.08	16.03	87.05	410	1086	1036.3	1132	190	0.0748	7.874		
10	6.4	1201.2	1204.0	693.5	510.5	2.35	2.345	2.08	16.03	87.05	420	1113	1093.104.4	1132	220	0.0866	8.478		
11	6.5	1203.2	1204.3	690.1	514.2	2.34	2.345	2.08	16.03	87.05	460	1220	1054.164.8	1132	211	0.0831	8.478		
12	6.2	1201.2	1203.2	689.1	513.1	2.34	2.345	1.48	16.59	91.05	410	1086	1037.12.6	1234	215	0.0846	8.465		
13	6.3	1203.2	1203.2	690.7	512.5	2.35	2.342	1.48	16.59	91.05	430	1140	1013.154.5	1234	200	0.0787	8.465		
14	6.1	1207.2	1208.2	688.5	519.7	2.32	2.377	1.48	16.59	91.05	500	1328	1068.1418.5	1234	225	0.0886	8.465		
15	6.2	1206.2	1207.4	695.2	512.2	2.35	2.377	1.48	16.59	91.05	410	1086	1040.129.3	1500	220	0.0866	8.465		
especificacion		mínimo		4		2		15		75		1500		8		14			
		máximo		4		2		15		82		1500		8		14			

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10.: Gráficas Marshall con agregado de Erquis



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8: Resumen para betún óptimo de Erquis

PORCENTAJE DE BETÚN ADICIONAL	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
4,5	2,269	770,68	6,72	7,33	58,01	17,46
5,0	2,294	965,83	6,98	5,61	66,99	16,98
5,5	2,339	1043,71	7,87	3,02	80,87	15,78
6,0	2,345	1131,74	8,48	2,08	87,05	16,03
6,5	2,342	1234,08	8,46	1,48	91,05	16,59

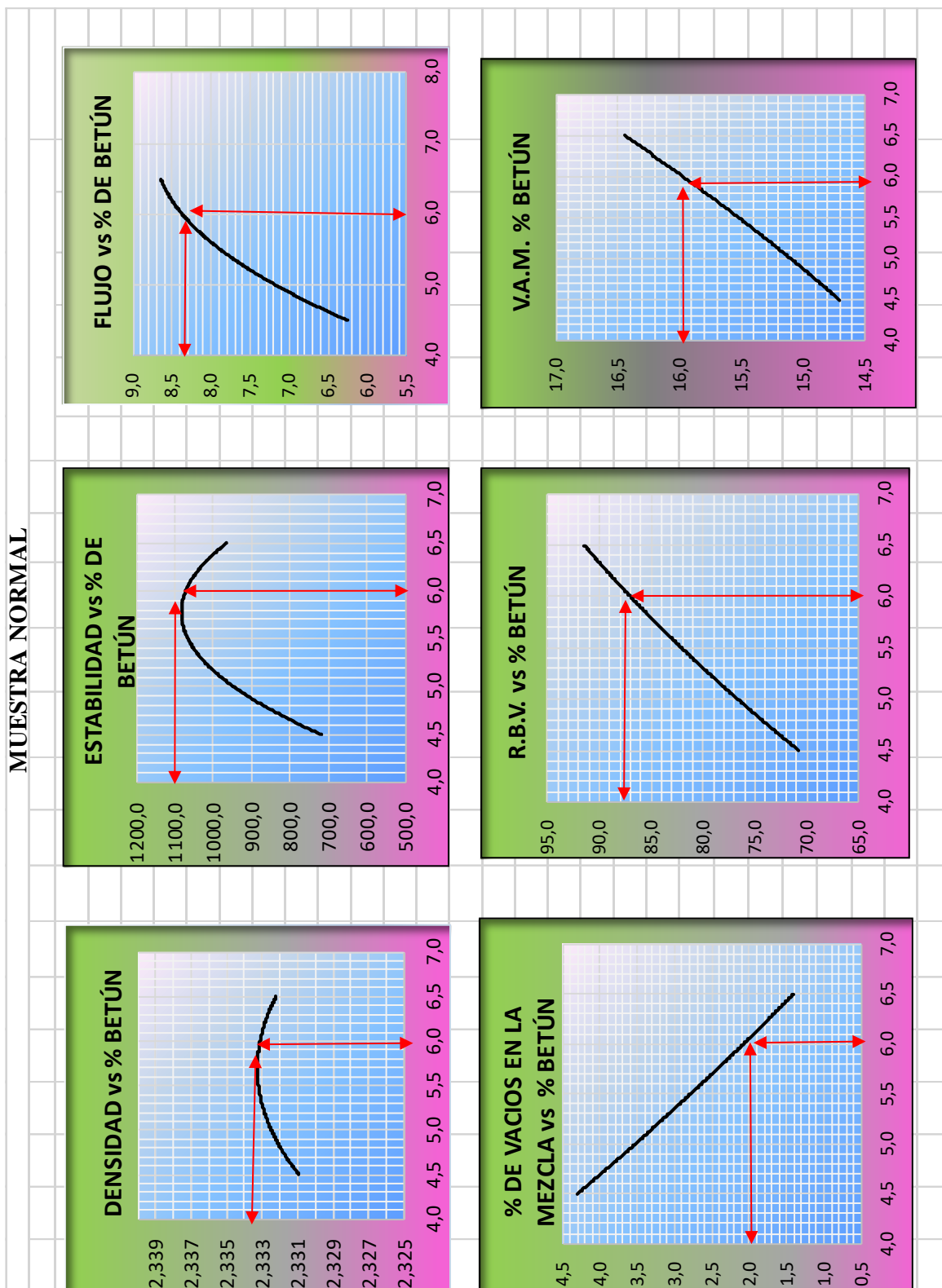
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.9: Marshall con agregado de Guadalquivir

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARJA-BOLIVIA) DISEÑO DE MEZCLAS AFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL PROYECTO: INVESTIGACION DE GRADO PARA LA "EVALUACION DELEFECTO, DE LA FORMA Y TEXTURA DE LOS ARIDOS SOBRE LA RESISTENCIA EN MEZCLAS ASFALTICAS"																				
MUESTRA NORMAL (GUADALQUIVIR) FECHA JUNIO DE 2016 LABORATORISTA: RAQUEL CARLA FERNANDEZ YURQUINA																				
AGRREGADO GUADALQUIVIR																				
BETUN																				
CEMENTO ASFALTICO 85-100																				
PESO ESPECIFICO TOTAL AASHTO T-228																				
peso especifico maximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)																				
peso especifico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)																				
N° de probeta	altura de probeta	Peso Briqueta			Volu men	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Mars hall			Flujo					
		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mecla tota	V.A. (vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen	lectura del	carga	factor de	carga real	carga corregida	lectura del	Flujo real	Flujo promedio
		grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	libras	libras	libras	libras	libras	libras	Pulg		
1	6.51	1196.7	1198.6	688.2	510.5	2.34	2.34	3				320.3	844.3	0.960	810.51			169	0.0665	
2	6.48	4.5	1191.6	1197.0	686.0	511.0	2.33	2.332	4.26	14.67	70.94	440.3	1167.4	0.968	1129.5	757.5		169	0.0665	6.325
3	6.35		1207.1	1211.5	691.0	520.5	2.32					130.3	332.7	1.000	332.65			144	0.0567	
4	6.3		1199.3	1203.5	689.0	514.5	2.33					325.3	857.7	1.011	867.18			169	0.0665	
5	6.3	5.0	1197.6	1200.5	688.5	512.0	2.34	2.331	3.60	15.16	76.27	352.3	930.5	1.016	945.34	875.3		184	0.0724	6.982
6	6.2		1194.8	1199.5	685.0	514.5	2.32					300.3	790.4	1.029	813.35			179	0.0705	
7	6.2		1198.2	1202.3	685.1	517.2	2.32					390	1032.0	1.040	1073.2			204	0.0803	
8	6.3	5.5	1195.1	1198.9	688.3	510.6	2.34	2.333	2.79	15.52	82.05	380	1005	1.003	1008.1	1039		214	0.0843	8.031
9	6.3		1196.0	1200.6	690.0	510.6	2.34					410.3	1087	1.054	1037.1			194	0.0764	
10	6.4		1194.0	1197.3	685.3	512.0	2.33					470	1247	0.993	1238			224	0.0882	
11	6.5	6.0	1196.0	1200.1	687.1	513.0	2.33	2.335	2.01	15.91	87.38	480.3	1275	0.954	1217	1180		194	0.0764	8.36
12	6.2		1194.9	1197.5	687.1	510.4	2.34					395	1045	1.037	1084.1			219	0.0862	
13	6.1		1185.4	1190.0	680.9	509.1	2.33					275.3	723.1	1.071	774.45			204	0.0803	
14	6.1	6.5	1189.0	1192.8	681.7	511.1	2.33	2.331	1.44	16.48	91.24	355.3	938.5	1.068	1002.4	915.8		229	0.0902	8.622
15	6.2		1188.6	1191.9	683.8	508.1	2.34					355.3	933.1	1.040	970.47			224	0.0882	
especificacion			minimo						2	15	75				1500					8
			maximo						4	82										14

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Gráficas Marshall con agregado de Guadalquivir



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.10: Resumen para betún óptimo. Guadalquivir

PORCENTAJE DE BETÓN ADICIONAL	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
4,5	2,332	757,55	6,33	4,26	70,94	14,67
5,0	2,331	875,29	6,98	3,60	76,27	15,16
5,5	2,333	1039,46	8,03	2,79	82,05	15,52
6,0	2,335	1179,71	8,36	2,01	87,38	15,91
6,5	2,331	915,76	8,62	1,44	91,24	16,48

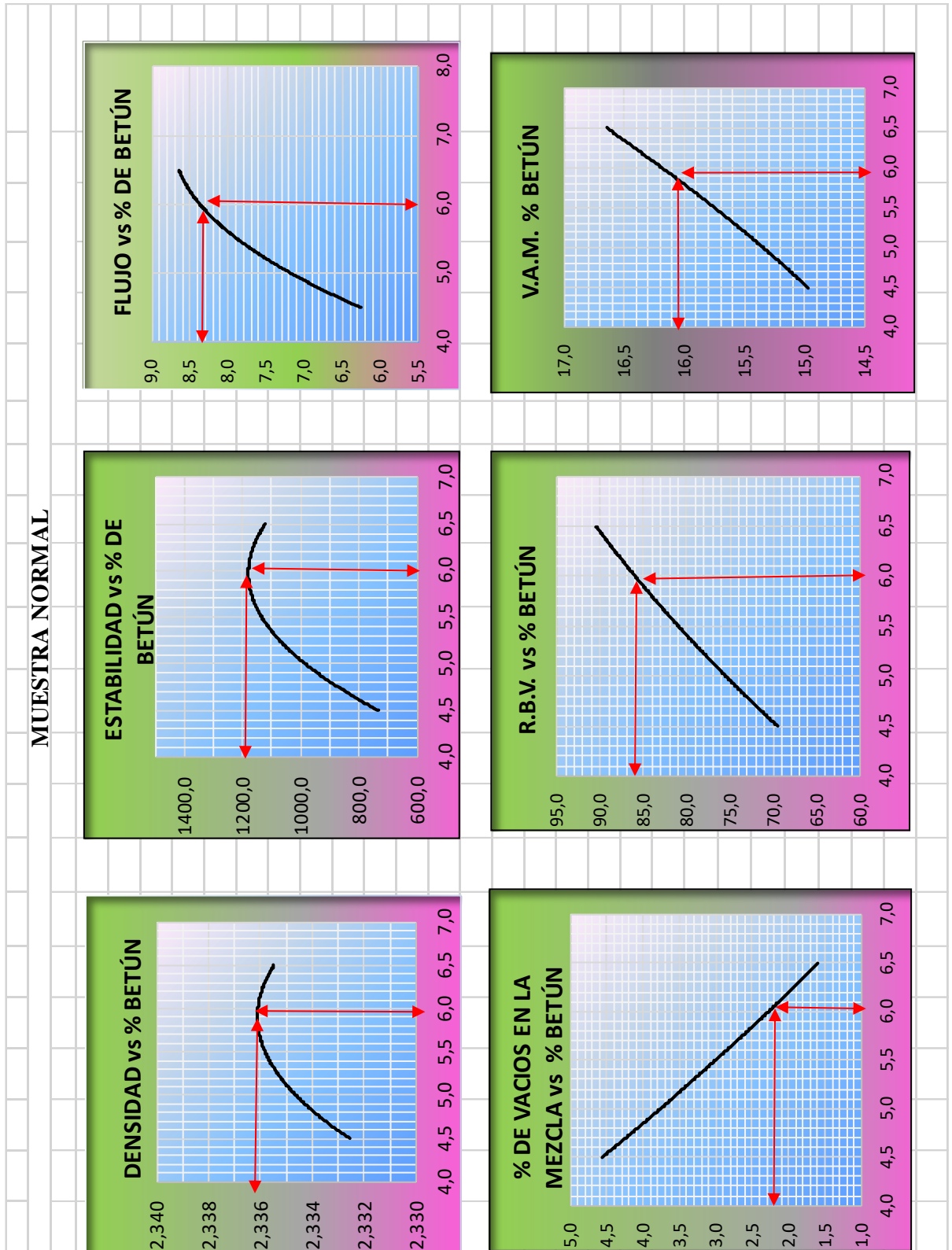
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.11: Marshall con agregado de Ventolera

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO																				
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA																				
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION																				
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARJA-BOLIVIA)																				
DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL																				
PROYECTO: INVESTIGACION DE PROYECTO DE GRADO PARA LA "EVALUACION DEL EFECTO, DE LA FORMA Y TEXTURA DE LOS ARIDOS SOBRE LA RESISTENCIA EN MEZCLAS ASFALTICAS"																				
MUESTRA NORMAL (VENTOLERA)																				
FECHA JUNIO DE 2016																				
LABORATORIS TAJ RAQUEL CARLA FERNANDEZ YURQUINA																				
AGREGADO VENTOLERA																				
AGREGADO																				
%																				
Grava 2,60 30																				
Gravilla 2,60 20																				
Arena 2,64 50																				
NUMERO DE GOLPES 75																				
<p>pesos especificos</p> <p>Mat.Retenido Tamiz N 2,60 50</p> <p>Mat.Pasa Tamiz N°4 2,64 50</p> <p>peso especifico total 2,62 100</p>																				
<p>peso especifico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)</p> <p>densidad real gts/cm³ 2,333</p> <p>densidad promedio gts/cm³ 2,333</p> <p>densidad maxima teorica gts/cm³ 2,444</p> <p>% de vacios mecla tota % 4,53</p> <p>V.A.M.(vacios agregado mineral) % 14,95</p> <p>R.B.V. (relacion bitumen % 69,68</p> <p>% de vacios 15,38</p> <p>75,27</p> <p>80,76</p> <p>15,78</p> <p>16,10</p> <p>90,24</p> <p>18</p> <p>75</p> <p>82</p>																				
N° de probeta	altura de probeta	Peso Briqueta			Vol. probeta	Densidad Briqueta			Estabilidad Marshall				Flujo							
		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios	R.B.V. (relacion bitumen	V.A.M.(vacios agregado mineral)	% de vacios	lectura del dial	carga	factor de correccion	carga real corregida	carga promedio	lectura del dial	Flujo real	Flujo promedio
1	6.51	199.0	1203.2	689.2	514.1	2.33	2.333	2.444	4.53	14.95	69.68	320.3	844.3	0.960	810.51	74.19	169	0.0665	6.325	
2	6.48	190.6	1197.0	688.0	509.0	2.34	2.333	2.444	4.53	14.95	69.68	280	735.8	0.968	718.85	74.19	169	0.0665	6.325	
3	6.35	1207.1	1211.5	693.0	518.5	2.33	2.333	2.444	4.53	14.95	69.68	268	703.4	1.000	703.45	74.19	144	0.0567	6.325	
4	6.3	199.3	1203.5	688.9	514.6	2.33	2.334	2.426	3.80	15.38	75.27	360	951.2	1.011	961.65	980.4	169	0.0665	6.982	
5	6.3	197.6	1200.5	688.5	512.0	2.34	2.334	2.426	3.80	15.38	75.27	352.3	930.5	1.016	943.34	980.4	184	0.0724	6.982	
6	6.2	194.8	1199.5	687.0	512.5	2.33	2.334	2.426	3.80	15.38	75.27	380	1005.0	1.029	1034.2	980.4	179	0.0705	6.982	
7	6.2	198.2	1202.3	681.1	521.2	2.30	2.335	2.408	3.04	15.78	80.76	435	1153.1	1.040	1199.3	1090	204	0.0803	8.031	
8	6.3	195.1	1198.9	691.3	507.6	2.35	2.335	2.408	3.04	15.78	80.76	390	1032	1.003	1035.1	1090	214	0.0843	8.031	
9	3.6	196.0	1200.6	692.0	508.6	2.35	2.335	2.408	3.04	15.78	80.76	410.3	1087	0.954	1037.1	1090	194	0.0764	8.031	
10	6.4	194.0	1197.3	688.3	509.0	2.35	2.338	2.390	2.19	16.10	86.43	520	1382	0.993	1371.7	1243	224	0.0882	8.56	
11	6.5	196.0	1200.1	685.3	514.8	2.32	2.338	2.390	2.19	16.10	86.43	480.3	1275	0.954	1217	1243	194	0.0764	8.56	
12	6.2	194.9	1197.5	688.1	509.4	2.35	2.338	2.390	2.19	16.10	86.43	415	1099	1.037	1140	1098	219	0.0862	8.622	
13	6.1	185.4	1190.0	682.0	508.0	2.33	2.335	2.373	1.63	16.68	90.24	380	1005	1.071	1076.4	1098	204	0.0803	8.622	
14	6.1	189.0	1192.8	683.7	509.1	2.34	2.335	2.373	1.63	16.68	90.24	410	1086	1.068	1159.7	1098	229	0.0902	8.622	
15	6.2	188.6	1191.9	682.8	509.1	2.33	2.335	2.373	1.63	16.68	90.24	385	1019	1.040	1059.2	1800	224	0.0882	8.622	
especificacion		minimo				4				2	18	75					8			14
		maximo				4				4	82	82					14			14

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Gráficas Marshall con agregado de Ventolera



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.12: Resumen para betún óptimo Ventolera

PORCENTAJE DE BETÓN ADICIONAL	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R. B. V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V. A. M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
4,5	2,333	741,94	6,33	4,53	69,68	14,95
5,0	2,334	980,39	6,98	3,80	75,27	15,38
5,5	2,335	1090,47	8,03	3,04	80,76	15,78
6,0	2,338	1242,87	8,36	2,19	86,43	16,10
6,5	2,335	1098,44	8,62	1,63	90,24	16,68

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA MARSHALL PARA CADA AGREGADO (DOSIFICACION EXPERIMENTAL)

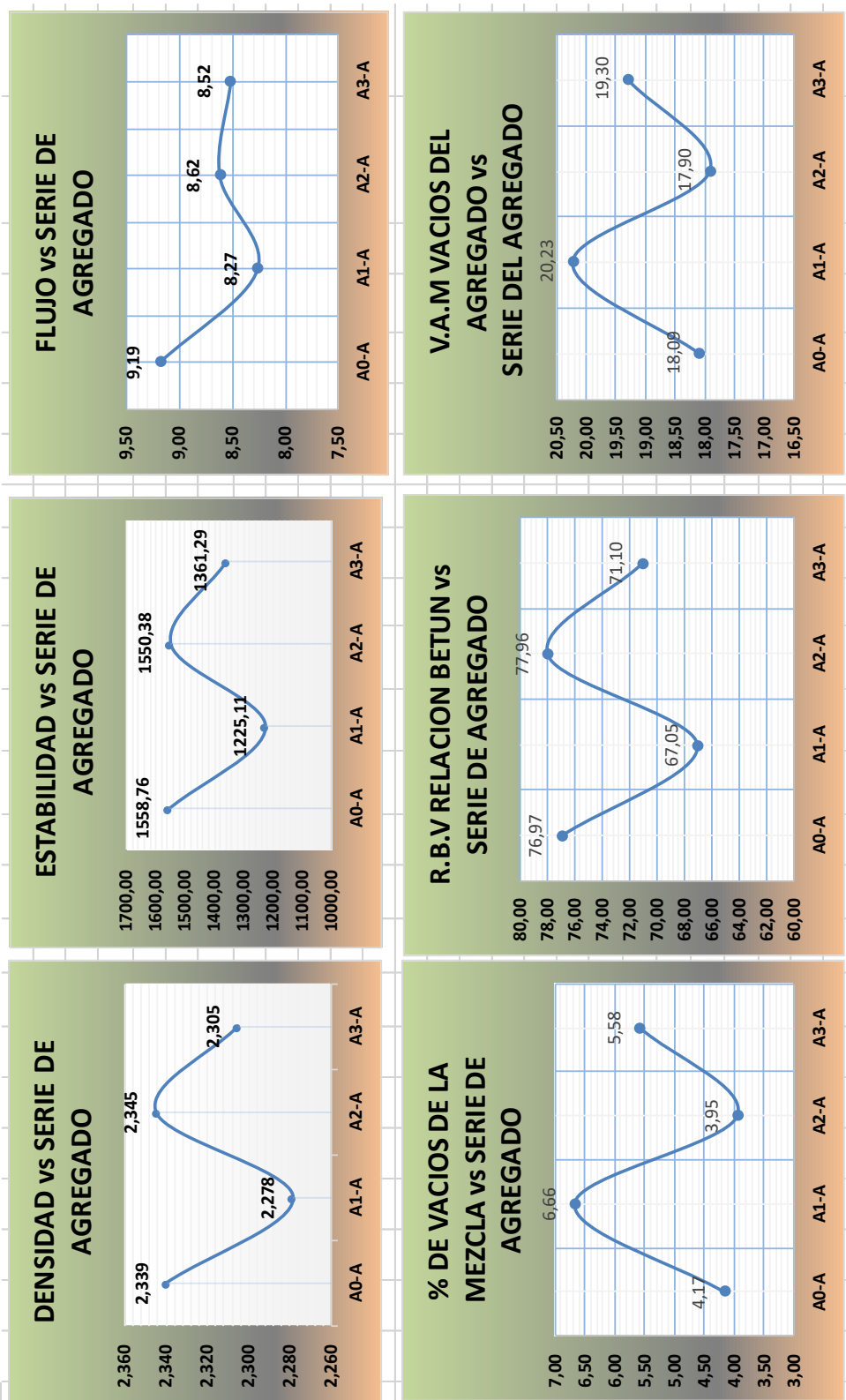
Tabla 4.13: Resultados Marshall para el agregado de la San Mateo (Alcaldía)

SERIE DE LA MUESTRA DE AGREGADOS		Nº de probeta	altura de probeta	Peso Briqueta			Vol			Densidad Briqueta			Estabilidad Marshall						Flujo						
				seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	grs.	grs.	cc	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teorica	% de vacíos	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumena)	lectura del	carga	Factor de correccion	carga real corregida	carga promedio	lectura del flujo	Flujo real	Flujo promedio		
A0-A		1	6.1	grs.	1201.0	1201.8	688.4	5B.4	grs/cm ³	2.34	grs/cm ³	3	3	3	543.6	libras	1446	1071	1548	libras	2.40	Pulg	-	-	-
		2	6.1	grs.	1203.0	1204.1	689.9	5B.2	grs/cm ³	2.34	grs/cm ³	3	3	3	557.4	libras	1483	1071	1588	libras	2.25	Pulg	0.0945	9,186	0.0886
		3	6.3	grs.	1201.0	1201.0	687.6	5B.4	grs/cm ³	2.34	grs/cm ³	3	3	3	571.3	libras	1520	1013	1540	libras	2.35	Pulg	0.0925	0.0866	0.0827
		4	6.2	grs.	1182.1	1190.2	665.7	524.5	grs/cm ³	2.25	grs/cm ³	3	3	3	480	libras	1274	104	1325	libras	2.10	Pulg	0.0866	0.0807	0.0846
A1-A		5	6.3	grs.	1185.1	1192.8	672.4	520.4	grs/cm ³	2.28	grs/cm ³	3	3	3	490	libras	1301	101	1316	libras	2.05	Pulg	0.0807	8,268	0.0886
		6	6.4	grs.	1184.1	1190.9	673.7	517.2	grs/cm ³	2.29	grs/cm ³	3	3	3	510	libras	1355	0.99	1338	libras	2.15	Pulg	0.0846	0.0787	0.0807
		7	6.2	grs.	1194.1	1197.1	676.9	520.2	grs/cm ³	2.30	grs/cm ³	3	3	3	460	libras	1220	1040	1269	libras	2.00	Pulg	0.0807	0.0807	0.0807
		8	6.2	grs.	1190.1	1196.1	673.2	522.9	grs/cm ³	2.28	grs/cm ³	3	3	3	320	libras	843.5	1040	877.2	libras	2.05	Pulg	0.0807	0.0807	0.0807
A2-A		9	6.1	grs.	1191.1	1193.4	685.9	507.5	grs/cm ³	2.35	grs/cm ³	3	3	3	570	libras	1517	1071	1624	libras	2.10	Pulg	0.0827	8,622	0.0866
		10	6.4	grs.	1198.1	1201.1	683.9	517.2	grs/cm ³	2.32	grs/cm ³	3	3	3	610	libras	1624	0.988	1604	libras	2.20	Pulg	0.0827	0.0866	0.0866
		11	6.3	grs.	1182.1	1185.2	683.7	501.5	grs/cm ³	2.36	grs/cm ³	3	3	3	590	libras	1570.5	1024	1608	libras	2.25	Pulg	0.0866	0.0866	0.0866
		12	6.1	grs.	1185.1	1189.8	681.4	508.4	grs/cm ³	2.33	grs/cm ³	3	3	3	570	libras	1517	1071	1624	libras	2.25	Pulg	0.0866	0.0866	0.0866
A3-A		13	6.3	grs.	1184.1	1183.9	684.7	499.2	grs/cm ³	2.37	grs/cm ³	3	3	3	480	libras	1274	1013	1291	libras	2.35	Pulg	0.0925	0.0925	0.0925
		14	6.1	grs.	1189.1	1192.2	674.2	518.0	grs/cm ³	2.30	grs/cm ³	3	3	3	510	libras	1355	1071	1451	libras	2.10	Pulg	0.0827	0.0827	0.0827
		15	6.1	grs.	1194.1	1197.1	676.9	520.2	grs/cm ³	2.30	grs/cm ³	3	3	3	450	libras	1194	1071	1278	libras	1.90	Pulg	0.0748	0.0748	0.0748
		16	6.2	grs.	1191.1	1193.4	678.9	514.5	grs/cm ³	2.32	grs/cm ³	3	3	3	520	libras	1382	1032	1426	libras	2.17	Pulg	0.0854	0.0854	0.0854
especificación		17	6.2	grs.	1198.1	1200.1	681.9	518.2	grs/cm ³	2.31	grs/cm ³	3	3	3	450	libras	1194	1040	1241	libras	2.35	Pulg	0.0925	0.0925	0.0925
		18	6.2	grs.	1201.1	1203.1	682.4	520.7	grs/cm ³	2.31	grs/cm ³	3	3	3	510	libras	1355	1040	1409	libras	2.30	Pulg	0.0906	0.0906	0.0906
		mínimo		2		18		75		1500														8	
		máximo		4		82																		14	

Fuente: elaboración propia

Figura 4.13: Gráficas Marshall con agregado de la San Mateo (Alcaldía)

MUESTRA EN BASE A LAS CARACTERISTICAS DE LA SERIE DE LOS AGREGADOS



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.14: Resumen de resultados para serie de agregados.

SERIE	FORMA DE AGREGADO	TEXTURAS	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
A0-A	NORMAL	Ligeramente rugoso	2,339	1558,76	9,19	4,17	76,97	18,09
A1-A	FORMA 1	rugoso	2,278	1225,11	8,27	6,66	67,05	20,23
A2-A	FORMA 2	muy rugoso	2,345	1550,38	8,62	3,95	77,96	17,90
A3-A	FORMA 3	Ligeramente rugoso	2,305	1361,29	8,52	5,58	71,10	19,30

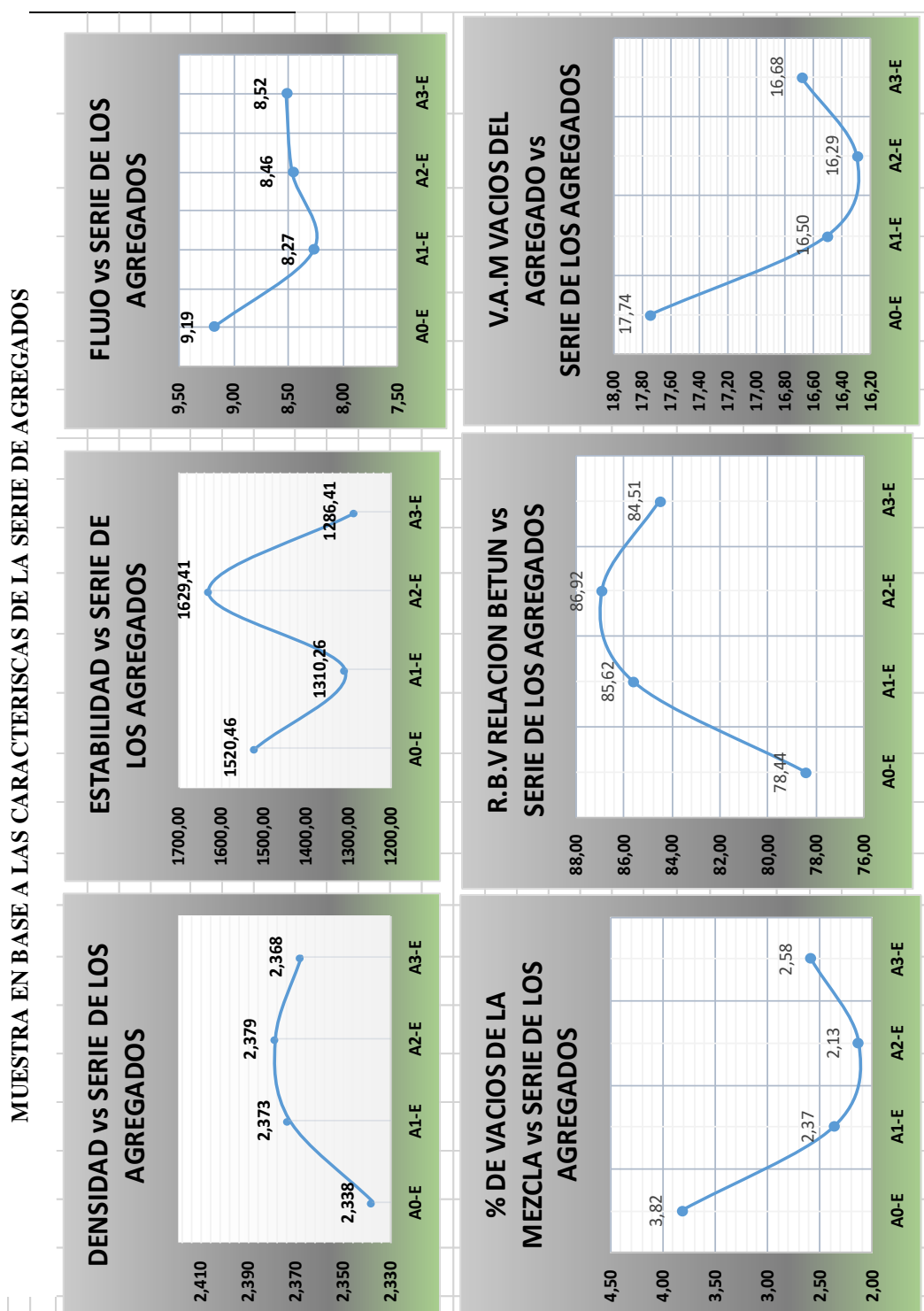
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.15: Resultados Marshall para el agregado de Guadalquivir (Erika)

N° de probeta		altura de probeta		Total		Peso Briqueta				Vol		Densidad Briqueta		% de Vacíos					Estabilidad Marshall				Flujo					
						seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	promedio	densidad maxima teorica	% de vacíos	mezcla tota	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen	lectura del dial	carga	factor de correcion	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	Flujo real	Flujo promedio				
SERIE DE LOS AGREGADOS	1	6.2	6.4	6.0	grs.	1199.4	1202.2	689.8	512.4	2.34	grs/cm ³	2.338	2.431	3	%	3.82	17.74	78.44	578.1	libras	1538	1040	1600	libras	Pulg	2.40	0.0945	
																												A0-E
	3	6.5	6.5	6.0	grs.	1199.4	1200.4	686.0	514.4	2.33	2.338	2.431	3	%	3.82	17.74	78.44	571.3	libras	1520	1040	1463	libras	2.35	0.0925			
	4	6.0	6.0	6.0	grs.	1187.7	1185.2	681.0	504.2	2.36	2.373	2.431	3	%	2.37	16.50	85.62	480	libras	1274	1011	1413	libras	2.10	0.0827			
	5	6.1	6.1	6.0	grs.	1183.8	1178.2	686.3	491.9	2.41	2.373	2.431	3	%	2.37	16.50	85.62	490	libras	1301	107	1394	libras	2.20	0.0866			
	6	6.3	6.3	6.0	grs.	1182.3	1185.2	683.3	501.9	2.36	2.373	2.431	3	%	2.37	16.50	85.62	510	libras	1355	101	1373	libras	2.05	0.0807			
	7	5.9	5.9	6.0	grs.	1183.0	1185.1	686.4	498.8	2.37	2.373	2.431	3	%	2.37	16.50	85.62	460	libras	1220	1134	1384	libras	2.15	0.0846			
	8	5.8	5.8	6.0	grs.	1185.5	1184.1	684.8	499.4	2.37	2.373	2.431	3	%	2.37	16.50	85.62	320	libras	843.5	1171	987.7	libras	2.00	0.0787			
	9	6.3	6.3	6.0	grs.	1188.1	1186.2	687.0	499.2	2.38	2.373	2.431	3	%	2.37	16.50	85.62	570	libras	1517	1011	1533	libras	2.05	0.0807			
	10	6.0	6.0	6.0	grs.	1185.8	1184.3	687.3	497.1	2.39	2.373	2.431	3	%	2.37	16.50	85.62	610	libras	1624	1003	1792	libras	2.10	0.0827			
	A2-E	11	5.8	6.0	grs.	1180.7	1186.8	689.3	497.6	2.37	2.379	2.431	3	%	2.13	16.29	86.92	580	libras	1544	1165	1798	libras	2.00	0.0787			
	12	6.3	6.3	6.0	grs.	1176.8	1187.1	686.2	501.0	2.35	2.379	2.431	3	%	2.13	16.29	86.92	642	libras	1711	1013	1733	libras	2.25	0.0886			
	13	6.3	6.3	6.0	grs.	1180.9	1182.0	691.4	490.7	2.41	2.379	2.431	3	%	2.13	16.29	86.92	480	libras	1274	1013	1291	libras	2.35	0.0925			
	14	6.1	6.1	6.0	grs.	1159.0	1178.9	690.4	488.6	2.37	2.379	2.431	3	%	2.13	16.29	86.92	510	libras	1355	1071	1451	libras	2.10	0.0827			
	15	5.9	5.9	6.0	grs.	1177.1	1178.1	688.3	489.9	2.40	2.379	2.431	3	%	2.13	16.29	86.92	450	libras	1194	1134	1353	libras	190	0.0748			
	A3-E	16	6.4	6.0	grs.	1179.8	1160.3	676.3	484.1	2.44	2.368	2.431	3	%	2.58	16.68	84.51	520	libras	1382	0.988	1365	libras	2.17	0.0854			
	17	6.1	6.1	6.0	grs.	1171.1	1178.4	666.3	512.2	2.29	2.368	2.431	3	%	2.58	16.68	84.51	390	libras	1032	1071	1105	libras	2.35	0.0925			
	18	6.2	6.2	6.0	grs.	1177.2	1178.8	675.8	503.1	2.34	2.368	2.431	3	%	2	15	75	420	libras	1113	1040	1157	libras	2.30	0.0906			
	especificacion				minimo																						8	
					maximo																						14	

Fuente: elaboración propia

Figura 4.14: Gráficas Marshall con agregado de Erika (Guadalquivir)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.16: Resumen de resultados para serie de agregados.

SERIE DE LOS AGREGADOS	FORMA DE AGREGADO	TEXTURA DE LOS AGREGADOS	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
A0-E	NORMAL	Ligeramente rugoso	2,338	1520,46	9,19	3,82	78,44	17,74
A1-E	FORMA 1	Rugoso	2,373	1310,26	8,27	2,37	85,62	16,50
A2-E	FORMA 2	muy rugoso	2,379	1629,41	8,46	2,13	86,92	16,29
A3-E	FORMA 3	Ligeramente rugoso	2,368	1286,41	8,52	2,58	84,51	16,68

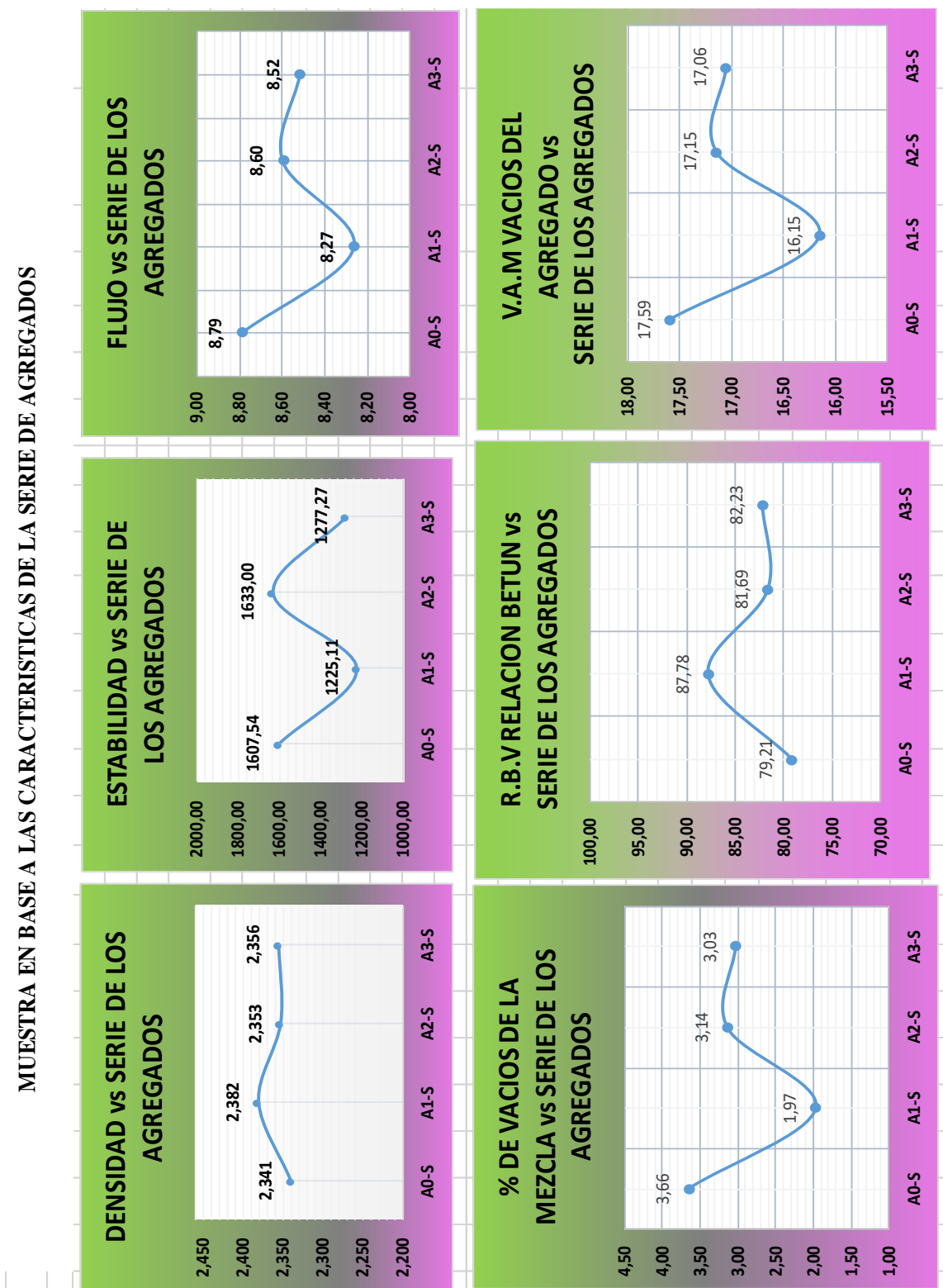
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.17: Resultados Marshall para el agregado de Charaja (SEDECA)

AGREGADOS		N° de probeta	altura de probeta	Peso Briqueta			Vol probeta	Densidad Briqueta		Estabilidad Marshall					Flujo						
				seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos	R.B.V. (relacion mineral)	lectura del dial	carga	factor de correccion	carga real corregida	carga promedio	lectura dial	Flujo real	Flujo promedio	
			%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	grs	libras		libras	Pulg				
A0-S		1	6.1	1201.2	1204.0	692.0	512.0	2.35	2.341	2.430	79.21	17.59	581.6	1548	1.071	1658	2.30	0.0906			
		2	6.1	1203.2	1204.3	889.2	515.1	2.34	2.341	2.430	79.21	17.59	570.2	1517	1.071	1625	2.17	0.0854		8,793	
		3	6.3	1201.2	1202.2	689.0	513.2	2.34	2.341	2.430	79.21	17.59	571.3	1520	1.013	1540	2.23	0.0878			
		4	6.2	1190.0	1191.3	686.7	504.6	2.36	2.382	2.430	197	16.15	480	1274	1.04	1325	2.10	0.0827			
A1-S		5	6.3	1186.1	1187.4	689.8	497.6	2.38	2.382	2.430	87.78	16.15	490	1301	1.01	1316	2.20	0.0866			
		6	6.4	1185.1	1186.4	688.2	498.2	2.38	2.382	2.430	87.78	16.15	510	1355	0.99	1338	2.05	0.0807			8,268
		8	6.2	1185.3	1186.6	690.7	495.9	2.39	2.382	2.430	197	16.15	460	1220	1.040	1269	2.15	0.0846			
		9	6.2	1187.8	1189.1	693.7	495.4	2.40	2.382	2.430	197	16.15	320	843.5	1.040	877.2	2.00	0.0787			
A2-S		10	6.1	1195.4	1197.7	690.8	506.9	2.36	2.353	2.430	81.69	17.15	570	1517	1.071	1624	2.05	0.0807			
		11	6.4	1193.1	1196.4	685.6	510.8	2.34	2.353	2.430	3.14	17.15	610	1624	0.988	1604	2.10	0.0827			
		13	6.3	1184.9	1190.0	681.0	509.0	2.33	2.353	2.430	3.14	17.15	670	1786.0	1.024	1829	2.17	0.0854			8,598
		14	6.1	1184.1	1189.0	687.7	501.3	2.36	2.353	2.430	3.03	17.06	580	1544	1.071	1653	2.25	0.0886			
A3-S		15	6.3	1188.2	1190.5	692.0	498.5	2.38	2.356	2.430	82.23	17.06	540	1436	1.013	1455	2.35	0.0925			
		16	6.1	1176.0	1168.6	679.7	488.9	2.41	2.356	2.430	3.03	17.06	510	1355	1.071	1451	2.10	0.0827			
		17	6.1	1184.4	1186.7	669.7	517.0	2.29	2.356	2.430	3.03	17.06	450	1194	1.071	1278	1.90	0.0748			
		19	6.2	1187.1	1189.4	682.7	506.7	2.34	2.356	2.430	3.03	17.06	520	1382	1.032	1426	2.17	0.0854			8,52
		20	6.2	1178.4	1180.7	684.8	495.9	2.38	2.356	2.430	18	75	390	1032	1.040	1073	2.35	0.0925			
		21	6.2	1184.5	1186.8	685.9	500.9	2.36	2.356	2.430	2	4	420	1113	1.040	1157	2.30	0.0906			8
		especificacion		minimo		maximo															
				4		82		1500		8		14									

Fuente: elaboración propia

Figura 4.15: Gráficas Marshall con agregado de Charaja (SEDECA)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.18: Resumen de resultados para serie de agregados.

SERIE DE LOS AGREGADOS	FORMA DE AGREGADO	TEXTURA	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
A0-S	NORMAL	ligeramente rugoso	2,341	1607,54	8,79	3,66	79,21	17,59
A1-S	FORMA 1	rugoso	2,382	1225,11	8,27	1,97	87,78	16,15
A2-S	FORMA 2	muy rugoso	2,353	1633,00	8,60	3,14	81,69	17,15
A3-S	FORMA 3	rugoso	2,356	1277,27	8,52	3,03	82,23	17,06

Fuente: Elaboración propia

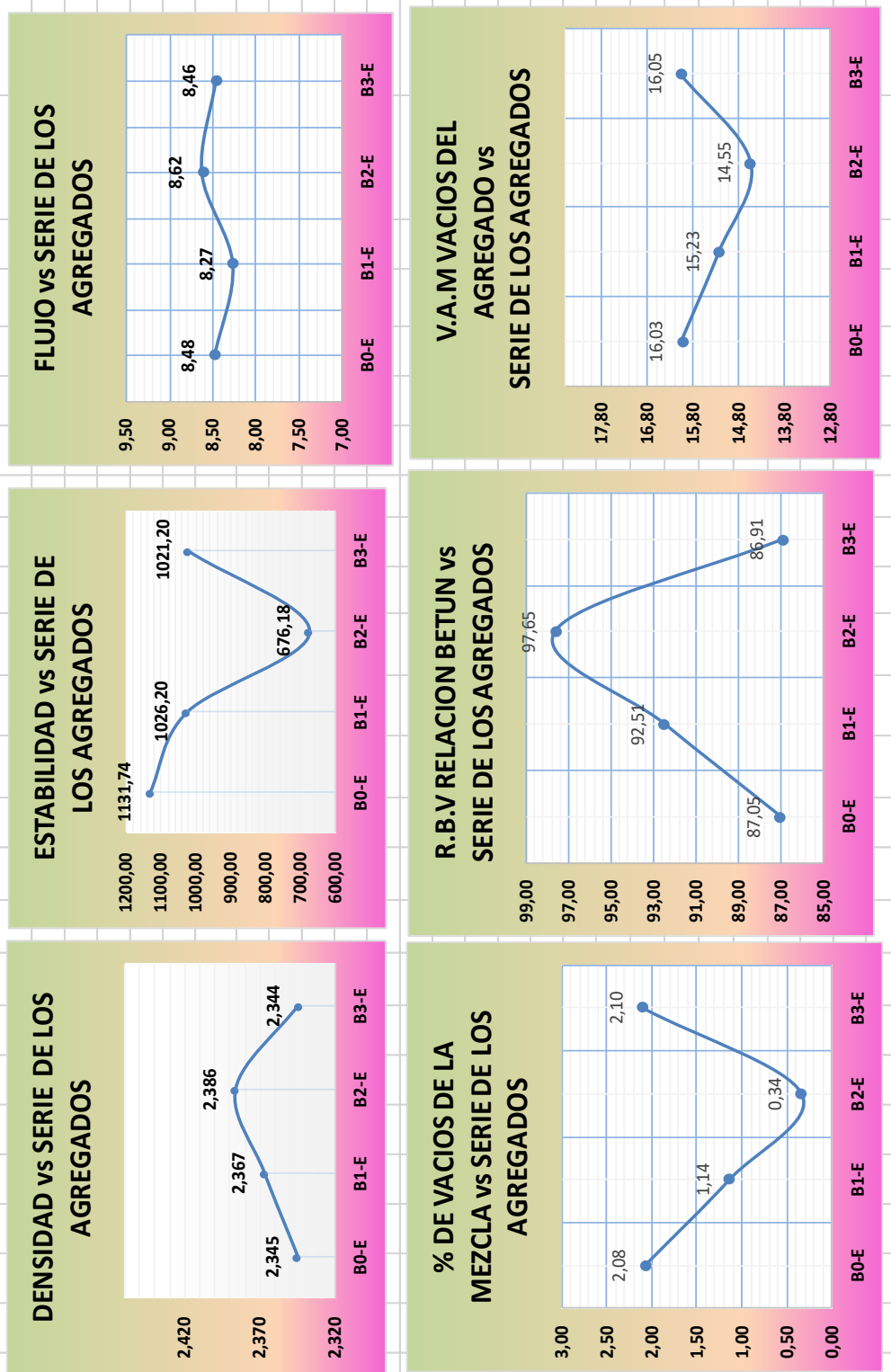
Tabla 4.19: Resultados Marshall para el agregado de Erquiz

N° de probeta		altura de probeta		Peso Briqueta		Vol		Densidad Briqueta		% de Vacíos					Estabilidad Marshall					Flujo																					
		%		grs.	grs.	cc	grs/cm	grs/cm	grs/cm	grs/cm	densidad real	densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios	mezcla tota	V.A. M(vacíos mineral)	R.B.V. (relacion betumen	lectura del	carga	factor de	correccion	carga real	carga corregida	carga promedio	lectura del	Flujo real	Flujo promedio														
pesos especificos		%		%		%		%		%		%		%		%		%		%		%		%		%															
Mat. Retenido Tamiz N°4		2.61		50		BETÓN		CEMENTO ASFALTICO 85-100		10080		NUMERO		DE GOLPES																											
Mat. Pasa Tamiz N°4		2.64		50		PESO ESPECIFICO TOTAL AASHTO T-228																																			
peso especifico total		2.62		100																																					
peso especifico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)																																									
Total																																									
B0-E		1		6.4		1201.2		1204.0		693.5		510.5		2.35		2.345		2.394		2.08		16.03		87.05		42.0		115		0.993		104		113.2		2.20		0.0866		8.478	
		2		6.5		1203.2		1204.3		690.1		514.2		2.34		2.345		2.394		2.08		16.03		87.05		46.0		122.0		0.954		116.5		2.11		0.0831					
		3		6.2		1201.2		1202.2		689.1		513.1		2.34		2.345		2.394		2.08		16.03		87.05		48.0		127.4		1.04		132.5		2.15		0.0846					
		4		6.2		1194.1		1196.4		687.0		509.4		2.34		2.345		2.394		2.08		16.03		87.05		38.0		100.5		1.01		101.6		2.20		0.0866					
B1-E		5		6.3		1190.2		1192.5		690.1		502.4		2.37		2.367		2.394		2.08		16.03		87.05		37.5		99.16		0.99		979.2		102.6		2.20		0.0866			
		6		6.4		1189.2		1191.5		688.5		503.0		2.36		2.367		2.394		2.08		16.03		87.05		2.50		655		1.040		681.2		2.15		0.0846					
		7		6.2		1189.4		1191.7		691.0		500.7		2.38		2.38		2.394		2.08		16.03		87.05		4.10		108.6		1.040		112.9		2.05		0.0787					
		8		6.2		1191.9		1194.2		694.0		500.2		2.38		2.38		2.394		2.08		16.03		87.05		3.25		856.9		1.071		917.8		2.05		0.0807					
B2-E		9		6.1		1194.5		1196.8		693.0		503.8		2.37		2.37		2.394		2.08		16.03		87.05		3.10		816.5		0.988		806.3		2.10		0.0827					
		10		6.4		1192.2		1194.5		689.9		504.6		2.36		2.36		2.394		2.08		16.03		87.05		180		466.5		1.024		477.7		676.2		2.20		0.0866		8.622	
		11		6.3		1184.0		1186.3		694.1		492.2		2.41		2.386		2.394		2.08		16.03		87.05		195		506.9		1.071		542.9		2.25		0.0886					
		12		6.1		1183.2		1185.5		692.0		493.5		2.40		2.386		2.394		2.08		16.03		87.05		2.40		628.1		1.013		636.2		2.35		0.0925					
		13		6.3		1187.3		1189.6		693.8		495.8		2.39		2.386		2.394		2.08		16.03		87.05		3.15		830		1.071		888.9		2.10		0.0827					
		14		6.1		1165.4		1167.7		675.0		492.7		2.37		2.386		2.394		2.08		16.03		87.05		3.90		103.2		1.071		110.5		190		0.0748					
		15		6.1		1183.5		1185.8		670.0		515.8		2.29		2.386		2.394		2.08		16.03		87.05		2.90		762.7		1.027		783.3		102.1		2.10		0.0827		8.465	
B3-E		16		6.3		1183.9		1186.2		679.5		506.7		2.34		2.344		2.394		2.08		16.03		87.05		3.60		951.2		1.040		989.2		2.35		0.0925					
		17		6.2		1177.5		1179.8		685.1		494.7		2.38		2.38		2.394		2.08		16.03		87.05		4.85		12.88		1.040		13.39		2.30		0.0906					
		18		6.2		1183.6		1185.9		681.0		504.9		2.34		2.38		2.394		2.08		16.03		87.05		4.85		12.88		1.040		13.39		2.30		0.0906					
especificacion		minimo		4		2		15		75		82		1500		8		14																							
		maximo		4		2		15		75		82		1500		8		14																							

Fuente: elaboración propia

Figura 4.16: Gráficas Marshall con agregado de Erquis

MUESTRA EN BASE A LAS CARACTERISTICAS DE LA SERIE DE LOS AGREGADOS



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.20: Resumen de resultados para serie de agregados de Erquis.

SERIE DE MUESTRA	FORMA DE AGREGADO	TEXTURA DEL AGREGADO	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
B0-E	NORMAL	Liso	2,345	1131,74	8,48	2,08	87,05	16,03
B1-E	FORMA 4	Liso	2,367	1026,20	8,27	1,14	92,51	15,23
B2-E	FORMA 5	Liso	2,386	676,18	8,62	0,34	97,65	14,55
B3-E	FORMA 6	Ligeramente rugoso	2,344	1021,20	8,46	2,10	86,91	16,05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.21: Resultados Marshall para el agregado del Guadalquivir

MUESTRA		altura de probeta		Peso Briqueta		Vol		Densidad Briqueta		peso específico máximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-166)										Flujo		
		N° de probeta	%	grs.	grs.	cc	grs/cm	grs/cm	grs/cm	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos	R.V.Y. (relación agregado mineral)	lectura del dial	carga	factor de corrección	carga real	carga corregida	lectura del dial	Flujo real	Flujo promedio
B0-G	1	6.4	6.0	1194.0	1197.3	685.3	512.0	2.33	2.33	2.383	2.01	15.91	87.38	470	1247	0.993	1238	1180	224	0.0882	-	-
	2	6.5	6.0	1196.0	1200.1	687.1	513.0	2.33	2.33	2.383	2.01	15.91	87.38	480.3	1275	0.954	1217	1180	194	0.0764	8.360	8.360
B1-G	3	6.2	6.0	1194.9	1197.5	687.1	510.4	2.34	2.34	2.383	1.37	15.36	9.107	395	1045	1.037	1084	1004	219	0.0862	-	-
	4	6.2	6.0	1199.2	1201.5	689.3	512.2	2.34	2.34	2.383	1.37	15.36	9.107	480	1274	1.04	1325	1004	210	0.0827	-	-
B2-G	5	6.3	6.0	1195.3	1197.6	690.3	507.3	2.36	2.36	2.383	2.01	15.36	9.107	380	1005	1.01	1016	1004	220	0.0866	-	-
	6	6.3	6.0	1196.4	1198.7	688.0	510.7	2.34	2.34	2.383	1.37	15.36	9.107	320	843.5	1.03	866.2	1004	195	0.0768	8.189	8.189
B3-G	7	6.2	6.0	1194.5	1196.8	691.1	505.7	2.36	2.36	2.383	2.01	15.36	9.107	250	655	1.040	681.2	1004	215	0.0846	-	-
	8	6.2	6.0	1197.0	1199.3	689.5	509.8	2.35	2.35	2.383	2.01	15.36	9.107	410	1086	1.040	1129	1004	200	0.0787	-	-
B0-G	9	6.1	6.0	1199.6	1201.9	688.2	513.7	2.34	2.34	2.383	1.20	15.21	9.212	325	856.9	1.071	917.8	1004	205	0.0807	-	-
	10	6.4	6.0	1197.3	1199.6	691.2	508.4	2.35	2.35	2.383	1.20	15.21	9.212	310	816.5	0.988	806.3	1004	210	0.0827	-	-
B2-G	11	6.4	6.0	1192.2	1194.5	688.0	506.5	2.35	2.35	2.383	2.01	15.21	9.212	250	655	0.993	650.1	710.7	200	0.0787	8.465	8.465
	12	6.1	6.0	1188.3	1190.6	687.9	502.8	2.36	2.36	2.383	2.01	15.21	9.212	195	506.9	1.071	542.9	1004	225	0.0886	-	-
B3-G	13	6.3	6.0	1192.4	1194.7	690.1	504.6	2.36	2.36	2.383	2.01	15.21	9.212	240	628.1	1.013	636.2	1004	235	0.0925	-	-
	14	6.1	6.0	1192.5	1195.8	689.0	506.8	2.35	2.35	2.383	2.01	15.21	9.212	411	1089	1.071	1166	1004	210	0.0827	-	-
B3-G	15	6.1	6.0	1194.6	1192.9	684.0	508.9	2.35	2.35	2.383	2.01	15.21	9.212	390	1032	1.071	1105	1157	190	0.0748	8.465	8.465
	16	6.3	6.0	1191.0	1197.3	687.1	510.2	2.33	2.33	2.383	2.01	15.21	9.212	436	1156	1.027	1187	1157	210	0.0827	-	-
B3-G	17	6.2	6.0	1194.6	1197.9	682.0	515.9	2.32	2.32	2.383	2.01	15.21	9.212	360	951.2	1.040	989.2	1004	235	0.0925	-	-
	18	6.2	6.0	1190.7	1193.0	680.5	512.5	2.32	2.32	2.383	2.01	15.21	9.212	485	1288	1.040	1339	1004	230	0.0906	8	8
especificación		4	2	15	75	82	1500	8	14													
mínimo																						
máximo																						

Fuente: elaboración propia

Figura 4.17: Gráficas Marshall con agregado del Guadalquivir



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.22: Resumen de resultados para serie de agregados del Guadalquivir.


SERIE DE LOS AGREGADPS	FORMA DE AGREGADO	TEXTURA DE LOS AGREGADOS	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
B0-G	NORMAL	Muy liso	2,335	1179,71	8,36	2,01	87,38	15,91
B1-G	FORMA 4	Muy liso	2,350	1003,62	8,19	1,37	91,07	15,36
B2-G	FORMA 5	Muy liso	2,354	710,65	8,46	1,20	92,12	15,21
B3-G	FORMA 6	Liso	2,335	1157,32	8,46	2,01	87,34	15,91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.23: Resultados Marshall para el agregado de la Ventolera

AGREGADOS		altura de probeta		Peso Briqueta		Vol		Densidad Briqueta		% de Vacíos		Estabilidad Marshall		Flujo									
		N° de probeta	%	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos	VA.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen)	lectura del dial	carga	factor de correccion	carga real corregida	carga promedio	lectura dial	Flujo real	Flujo promedio		
B0-E	1	6.4	6.0	1201.2	1204.0	693.5	510.5	2.35	2.345	2.394	2.08	16.03	87.05	4.20	1113	0.993	104	1132	2.61	220	0.0866	-	
	2	6.5	6.0	1203.2	1204.3	690.1	514.2	2.34	2.345	2.394	2.08	16.03	87.05	4.60	1220	0.954	165	1132	2.61	211	0.0831	8.478	
	3	6.2	6.0	1201.2	1202.2	689.1	513.1	2.34	2.345	2.394	2.08	16.03	87.05	4.10	1086	1.037	126	1132	2.61	215	0.0846	-	
B1-E	4	6.2	6.0	1194.1	1196.4	687.0	509.4	2.34	2.367	2.394	1.14	15.23	92.51	4.80	1274	1.04	132.5	1026	2.64	210	0.0827	-	
	5	6.3	6.0	1190.2	1192.5	690.1	502.4	2.37	2.367	2.394	1.14	15.23	92.51	3.80	1005	1.01	1016	1026	2.64	220	0.0866	-	
	6	6.4	6.0	1189.2	1191.5	688.5	503.0	2.36	2.367	2.394	1.14	15.23	92.51	3.75	991.6	0.99	979.2	1026	2.64	205	0.0807	8.268	
B2-E	7	6.2	6.0	1189.4	1191.7	691.0	500.7	2.38	2.38	2.394	2.08	16.03	87.05	2.50	655	1.040	681.2	1026	2.64	215	0.0846	-	
	8	6.2	6.0	1191.9	1194.2	694.0	500.2	2.38	2.38	2.394	2.08	16.03	87.05	4.10	1086	1.040	129	1026	2.64	200	0.0787	-	
	9	6.1	6.0	1194.5	1196.8	693.0	503.8	2.37	2.38	2.394	2.08	16.03	87.05	3.25	856.9	1.071	917.8	1026	2.64	205	0.0807	-	
B3-E	10	6.4	6.0	1192.2	1194.5	689.9	504.6	2.36	2.386	2.394	0.34	14.55	97.65	3.10	816.5	0.988	806.3	676.2	2.64	210	0.0827	8.622	
	11	6.3	6.0	1184.0	1186.3	694.1	492.2	2.41	2.386	2.394	0.34	14.55	97.65	180	466.5	1.024	477.7	676.2	2.64	220	0.0866	-	
	12	6.1	6.0	1183.2	1185.5	692.0	493.5	2.40	2.386	2.394	0.34	14.55	97.65	195	506.9	1.071	542.9	676.2	2.64	225	0.0886	-	
B3-E	13	6.3	6.0	1187.3	1189.6	693.8	495.8	2.39	2.344	2.394	2.10	16.05	86.91	2.40	628.1	1.013	636.2	1021	2.64	235	0.0925	-	
	14	6.1	6.0	1165.4	1167.7	675.0	492.7	2.37	2.344	2.394	2.10	16.05	86.91	3.15	830	1.071	888.9	1021	2.64	210	0.0827	-	
	15	6.1	6.0	1183.5	1185.8	670.0	515.8	2.29	2.344	2.394	2.10	16.05	86.91	3.90	1032	1.071	1105	1021	2.64	190	0.0748	-	
B3-E	16	6.3	6.0	1183.9	1186.2	679.5	506.7	2.34	2.344	2.394	2.10	16.05	86.91	2.90	762.7	1.027	783.3	1021	2.64	210	0.0827	8.465	
	17	6.2	6.0	1177.5	1179.8	685.1	494.7	2.38	2.344	2.394	2.10	16.05	86.91	3.60	951.2	1.040	989.2	1021	2.64	235	0.0925	-	
	18	6.2	6.0	1183.6	1185.9	681.0	504.9	2.34	2.344	2.394	2.10	16.05	86.91	4.85	1288	1.040	133.9	1500	2.64	230	0.0906	8	
especificacion				minimo		4				2		15		75				1500				8	
				maximo		4				4		82										14	

Fuente: elaboración propia



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
DEFARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARJA-BOLIVIA)
DISEÑO DE MEZCLAS AFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN DE PROYECTO DE GRADO PARA LA "EVALUACIÓN DE DEFECTO, DE LA FORMA Y TEXTURA DE LOS ARIDOS SOBRE LA RESISTENCIA EN MEZCLAS ASFALTICAS"

MUESTRA NORMAL (ERQUIS)
FECHA JUNIO DE 2016

AGREGADO ERQUIS
LABORATORISTA: RAQUEL CARLA FERNANDEZ
MIROQUINA

pesos especificos		% de agregado	
Mat. Retenido Tamiz N°4	2.61	50	
Mat. Pasa Tamiz N°4	2.64	50	
peso especifico total	2.62	100	

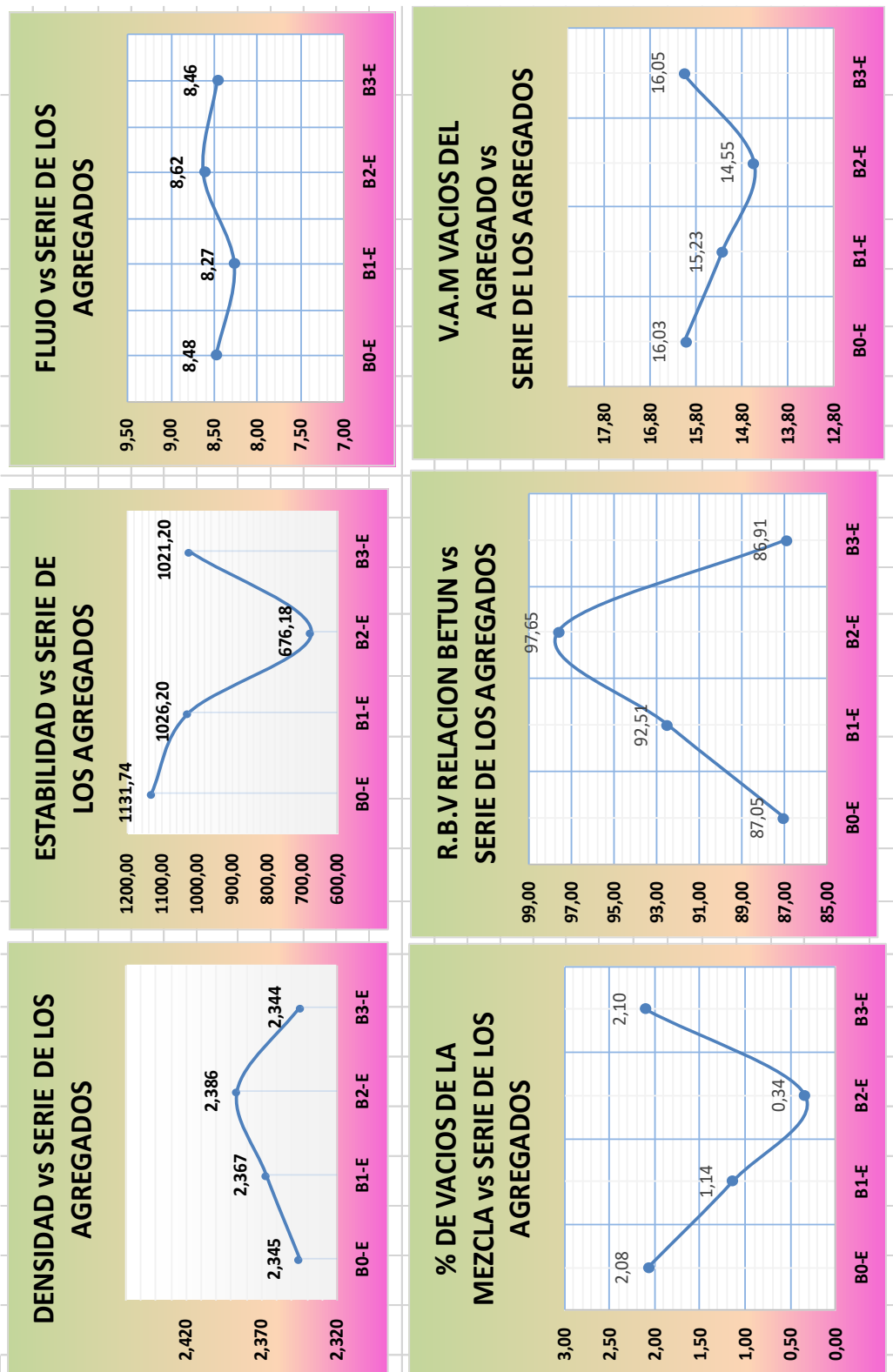
BETUN		AGREGADO		%	
Grava	2.61	30			
Gravilla	2.61	20			
Atena	2.64	50			

peso especifico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)		peso especifico maximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)	
	10080		

DE GOLPES	

Figura 4.18: Gráficas Marshall con agregado de la Ventolera

MUESTRA EN BASE A LAS CARACTERISTICAS DE LA SERIE DE LOS AGREGADOS



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.24: Resumen de resultados para serie de agregado de la ventoleras.

SERIE DE MUESTRA	FORMA DE AGREGADO	TEXTURA DEL AGREGADO	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
B0-E	NORMAL	Liso	2,345	1131,74	8,48	2,08	87,05	16,03
B1-E	FORMA 4	Liso	2,367	1026,20	8,27	1,14	92,51	15,23
B2-E	FORMA 5	Liso	2,386	676,18	8,62	0,34	97,65	14,55
B3-E	FORMA 6	Ligeramente rugoso	2,344	1021,20	8,46	2,10	86,91	16,05

Fuente: Elaboración propia

4.5. ANÁLISIS PARA LOS AGREGADOS SEGÚN LOS RESULTADOS

4.5.1. ANÁLISIS COMPARATIVO PARA AGREGADOS TRITURADOS

Tabla 4.25: Resultados para agregados en procedencias normales (A0)

AGREGADO	SERIE	FORMA DE AGREGADO	TEXTURAS	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
Alcaldia	A0-A	NORMAL	Ligeramente rugoso	2,339	1558,76	9,19	4,17	76,97	18,09
Erika	A0-E	NORMAL	Ligeramente rugoso	2,338	1520,46	9,19	3,82	78,44	17,74
Sedeca	A0-S	NORMAL	ligeramente rugoso	2,341	1607,54	8,79	3,66	79,21	17,59

Fuente: Elaboración propia

Presentando las mismas características físicas de forma y textura podemos observar que la textura que presentan los 3 agregados son ligeramente rugosa; los 3 agregados cumplen con la estabilidad requerida <1500 libras; logrando tener mayor estabilidad los agregados de Charaja (SEDECA).

Tabla 4.26: Resultados para agregados de la forma (A1)

AGREGADO	SERIE	FORMA DE AGREGADO	TEXTURAS	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETUN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
Alcaldia	A1-A	FORMA 1	rugoso	2,278	1225,11	8,27	6,66	67,05	20,23
Erika	A1-E	FORMA 1	Rugoso	2,373	1310,26	8,27	2,37	85,62	16,50
Sedeca	A1-S	FORMA 1	rugoso	2,382	1225,11	8,27	1,97	87,78	16,15

Fuente: Elaboración propia

Presentando las mismas características físicas de forma (Discoidales u Oblados; estos son largos presentando un ancho y espesor de similar medida) y textura podemos observar que la textura que presentan los 3 agregados son rugosa; los 3 agregados no cumplen con la estabilidad requerida <1500 libras; aun así diremos podemos ver que la mayor estabilidad la alcanza el material de Erika (Guadalquivir).

Tabla 4.27: Resultados para agregados de la forma (A2)

AGREGADO	SERIE	FORMA DE AGREGADO	TEXTURAS	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETUN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
Alcaldia	A2-A	FORMA 2	muy rugoso	2,345	1550,38	8,62	3,95	77,96	17,90
Erika	A2-E	FORMA 2	muy rugoso	2,379	1629,41	8,46	2,13	86,92	16,29
Sedeca	A2-S	FORMA 2	muy rugoso	2,353	1633,00	8,60	3,14	81,69	17,15

Fuente: Elaboración propia

Presentando las mismas características físicas de forma (Esféricos o equidimensionales; estos presentan sus lados de similar tamaño adoptando una forma cuadrada) y textura podemos observar que la textura que presentan los 3 agregados son muy rugosa; los 3 agregados cumplen con la estabilidad requerida <1500 libras; podemos ver que este agregado puede alcanzar buena estabilidad, con igual o mayor estabilidad que los agregados en condiciones normales; logrando de esta manera Sedeca (San Mateo)

Tabla 4.28: Resultados para agregados de la forma (A3)

AGREGADO	SERIE	FORMA DE AGREGADO	TEXTURAS	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
Alcaldia	A3-A	FORMA 3	Ligeramente rugoso	2,305	1361,29	8,52	5,58	71,10	19,30
Erika	A3-E	FORMA 3	Ligeramente rugoso	2,368	1286,41	8,52	2,58	84,51	16,68
Sedeca	A3-S	FORMA 3	rugoso	2,356	1277,27	8,52	3,03	82,23	17,06

Fuente: Elaboración propia

Presentando las mismas características físicas de forma (Elipsoidales o Triaxiales; estos presentan una largo de mayor tamaño que su ancho y su espesor, siendo su espesor aún más pequeño que su ancho) y textura podemos observar que la textura que presentan los 3 agregados son muy ligeramente rugosa; los 3 agregados no cumplen con la estabilidad requerida <1500 libras; puesto que estaríamos hablando un 100% de lajas, lo cual no está permitido dentro de las normas establecidas.

4.5.2. PRIMER ANALISIS COMPARATIVO PARA AGREGADOS NATURALES

Tabla 4.29: Resultados para agregados de la forma (B0)

SERIE DE MUESTRA	FORMA DE AGREGADO	TEXTURA DEL AGREGADO	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
B0-E	NORMAL	Liso	2,345	13174	8,48	2,08	87,05	16,03
B0-G	NORMAL	Muy liso	2,335	1179,71	8,36	2,01	87,38	15,91
B0-V	NORMAL	Muy liso	2,338	1242,87	8,36	2,19	86,43	16,10

Fuente: Elaboración propia

Presentando las mismas características físicas de forma y textura podemos observar que la textura que presentan los 3 agregados lisos y muy lisos, haciendo que los 3 agregados no cumplan con la estabilidad requerida <1500 libras; aun así logrando tener mayor estabilidad los agregados de la Ventolera.

Tabla 4.30: Resultados para agregados de la forma (B1)

SERIE DE MUESTRA	FORMA DE AGREGADO	TEXTURA DEL AGREGADO	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
B1-E	FORMA 4	Liso	2,367	1026,20	8,27	1,14	92,51	15,23
B1-G	FORMA 4	Muy liso	2,350	1003,62	8,19	1,37	91,07	15,36
B1-V	FORMA 4	Liso	2,330	1026,20	8,27	2,53	84,60	16,39

Fuente: Elaboración propia

Presentando las mismas características físicas de forma (cilíndricos o prolados); y textura podemos observar que la textura que presentan los 3 agregados lisos y muy lisos, haciendo que los 3 agregados no cumplan con la estabilidad requerida <1500 libras; aun así logrando tener igual estabilidad para los agregados de Erquis y la Ventolera, aquí nos da referencia que mientras más lisa es la textura que presenten los agregados perderán estabilidad.

Tabla 4.31: Resultados para agregados de la forma (B2)

SERIE DE MUESTRA	FORMA DE AGREGADO	TEXTURA DEL AGREGADO	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
B2-E	FORMA 5	Liso	2,386	676,18	8,62	0,34	97,65	14,55
B2-G	FORMA 5	Muy liso	2,354	710,65	8,46	1,20	92,12	15,21
B2-V	FORMA 5	Muy liso	2,342	703,75	8,62	2,03	87,28	15,97

Fuente: Elaboración propia

Presentando las mismas características físicas de forma (Esféricos o equidimensionales; este a diferencia de los esféricos o equidimensionales de San Mateo pues presentan una forma circular, sus lados de similar tamaño adoptando una forma redonda) y textura podemos observar que la textura que presentan los 3 agregados son lisa y muy lisa haciendo así que los 3 agregados no cumplan con la estabilidad requerida <1500 libras; haciendo que estos tengas las peores estabilidades, por lo que no es una árido apto para mezclas asfálticas

Tabla 4.32: Resultados para agregados de la forma (B3)

SERIE DE MUESTRA	FORMA DE AGREGADO	TEXTURA DEL AGREGADO	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
B3-E	FORMA 6	Ligeramente rugoso	2,344	1021,20	8,46	2,10	86,91	16,05
B3-G	FORMA 6	Liso	2,335	1157,32	8,46	2,01	87,34	15,91
B3-V	FORMA 6	Ligeramente rugoso	2,333	1287,69	8,52	2,39	85,34	16,28

Fuente: Elaboración propia

Presentando las mismas características físicas de forma (Elipsoidales o Triaxiales; vale recalcar que estos materiales presentan caras fracturadas) y textura podemos observar que la textura que presentan los 3 agregados son ligeramente rugosa lisa haciendo así que los 3 agregados no cumplan con la estabilidad requerida <1500 libras; si bien este material presenta en su casar fracturas más rugosidad que los normales, su forma hace que tampoco sea apto para el uso.

4.5.3. PROPIEDADES MARSHALL, RELACIÓN VALORES ESTANDAR Y EXPERIMENTAL

Tabla 4.33: porcentajes de variación (agregados triturados)

VARIACION PORCENTUAL DE LAS PROPIEDADES MARSHALL EN RELACION AL ENSAYO (ESTÁNDAR)								
PROCEDENCIA	FORMA Y TEXTURA		% DE VARIACION					
			DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
SAN MATEO (ALCALDIA)	FORMA 2	muy rugoso	0,23	3,31	-6,14	-30,62	1,28	11,81
GUADALQUIVIR (ERIKA)	FORMA 2	muy rugoso	1,76	7,17	-7,26	-32,41	10,80	-5,98
CHARAJA (SEDECA)	FORMA 2	muy rugoso	0,65	3,20	-3,10	-17,14	3,82	-3,05

Fuente: elaboración propia

Figura 4.19: Gráfico de variación de porcentaje según la forma y textura más óptima



Fuente: elaboración propia

Tabla 4.34: porcentajes de variación (agregados naturales)

VARIACION PORCENTUAL DE LAS PROPIEDADES MARSHALL EN RELACION AL ENSAYO (ESTÁNDAR)								
PROCEDENCIA	FORMA Y TEXTURA		% DE VARIACION					
			DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
ERQUIS	FORMA 6	Ligeramente rugoso	1,77	-9,33	1,70	1,19	12,18	0,13
GUADALQUIVIR	FORMA 6	Liso	0,83	-1,90	1,26	0,33	5,43	0,04
VENTOLERA	FORMA 6	Ligeramente rugoso	0,16	3,61	3,14	15,50	0,99	1,80

Fuente: elaboración propia

Figura 4.20: Gráfico de variación de porcentaje según la forma y textura más óptima



Fuente: elaboración propia

4.5.4. ANÁLISIS GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.

Debido a que se utilizó para la fabricación de las probetas del Ensayo Marshall, mezclas con el asfalto de 85-100, se encontró que este mismo resulta presentar dureza, antes esto mayor es la resistencia de la mezcla ante la formación. Además al hacer una variación en el contenido de asfalto, de 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% se observó una mejora notable del comportamiento de las mezcla a un obteniendo así el óptimo 6%.

Con el punto anterior también podemos ver que las propiedades de un ligante asfáltico puede influir decisivamente sobre el comportamiento ante las deformaciones de una mezcla asfáltica en caliente. En una mezcla que contenga la misma granulometría y el mismo tipo de agregados pétreos, con un mismo contenido de asfalto e igual contenido de vacíos, puede ser resistente o no a las deformaciones en función de las propiedades del ligante asfáltico. La componente elástica del ligante asfáltico contribuye a aumentar el comportamiento elástico de la mezcla, de igual forma, el ligante influye decisivamente en la componente viscosa y su mayor presencia dentro de la mezcla hace que aumente este componente.

En cuanto al efecto que tienen las diferentes composiciones granulométricas en la susceptibilidad a la resistencia en mezclas asfálticas, se encontró que la curva granulométrica Superior, es decir, con mayor contenido de finos, se comporta mejor que la mezcla fabricada con la curva granulométrica Inferior, con menos contenido de finos. Esto hace que la mezcla adquiera una mayor densidad en el momento de la compactación.

Al realizar el ensayo Marshall para los agregados ya clasificados según la forma y textura, evaluados con los ensayos ya mencionados anteriormente y con sus características físicas ya identificadas (SERIE A-B). La evaluación de los agregados para estudio Marshall (agregado experimental) nos revela que la forma de la partícula de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación. También puede influir en los esfuerzos necesarios para compactarla a la densidad requerida así como en la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

También se verificó que las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre por trituración, con lo que podemos decir que las características de los agregados definen el comportamiento de la carpeta asfáltica puesto que se pudo correlacionar las propiedades de la mezcla versus las características de forma y textura de los agregados para llegar a esta conclusión.

Analizando los resultados obtenidos sobre las propiedades podemos ver que cumplen en el caso de los agregados triturados pero no para los agregados naturales ya clasificados de acuerdo a su forma y textura, pues así se estipula en las tablas comparativas de los resultados finales, midiendo los valores de las propiedades Marshall para cada agregado de diferente procedencia.

En muchos países se utiliza el método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas. En Bolivia, los parámetros obtenidos con el Ensayo Marshall, puede dar altos valores de estabilidad y deformaciones aceptables según las normas, no obstante recalcaremos diciendo que para la veracidad de datos los ensayos han sido numerosos.

Con los resultados se puede demostrar que los métodos de triturado pueden hacer que el material pierda propiedades y no cumpla de manera más conveniente con los parámetros establecidos por las normas, pues si bien pudo verse que a mayor cantidad de fractura se obtiene mayor adherencia por parte del cemento asfáltico, vale recalcar que un exceso de material lajoso puede hacer que éste pierda propiedades.

Según lo estipulado en las especificaciones para el cumplimiento de los resultados Marshall, se pudo observar un comportamiento muy bueno por parte de los agregados triturados (ALCALDIA, ERIKA, SEDECA), cumpliendo con los rangos establecidos por Marshall para las dosificaciones con agregados triturados, esto se debe a la influencia de cantidad de partículas trituradas, es decir que a mayor porcentajes de partículas trituradas el índice de

partícula de forma y textura se incrementa significativamente puesto que según la ASTM la angulosidad del agregado grueso asegura un alto grado de fricción interna y resistencia a las deformaciones permanentes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se logró el cumplimiento del objetivo general donde se proponía evaluar el efecto que causa la forma y textura de los áridos, que sea de procedencia diferente y seleccionada, de tal manera que se pueda elaborar mezclas asfálticas que permita observar el comportamiento del ensayo Marshall. Para aclarar este punto podemos observar en el capítulo IV que la forma y textura de los áridos pueden incidir de gran manera en la favorecer o no, la resistencia Marshall puesto que de acuerdo a las evaluaciones que estos mismos fueron sometidos dieron lugar a la verificación de que el agregado triturado presenta mejores propiedades físicas para aumentar la resistencia mientras que los agregados naturales ofrece menores valores de resistencia para la prueba Marshall.
- Recopilación de información teórica y parámetro aplicables a la investigación fueron obtenidos mediante diversa bibliografía, para un mejor procedimiento de la investigación, en el capítulo II, se puede observar de manera puntuales los fundamentos teóricos relevantes para poder llevar a cabo la presente investigación.
- En cuanto a la determinación de criterios y puntos de recolección de los áridos regionales más comunes para el desempeño de la fabricación de mezclas asfálticas pudimos ver que los que más resaltan y son de mayor uso, son los usados por la alcaldía municipal que son de la procedencia de San mateo, también los usados por Erika provenientes del río Guadalquivir, y los de SEDECA que han demostrado gran resultado, estos provenientes de Charaja. Para el estudio comparativo también se trabajó con material de yacimientos naturales como de Erquis, Guadalquivir y Ventolera.
- Para la caracterización del cemento asfáltico (85/100), se realizó ensayos de laboratorio, dichos ensayos fueron realizados en el laboratorio de Asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, para mayor veracidad se resultados

fueron realizados en 3 pruebas con el correspondiente tratamiento estadístico que se detalla en el capítulo III y adjunta en los anexos.

- Para la caracterización de los diferentes agregados de aportación, se realizó ensayos de laboratorio, dichos ensayos fueron realizados en el laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, los cuales para una mayor veracidad de resultados fueron realizados en 3 pruebas con el correspondiente tratamiento estadístico que se detalla en el capítulo II y adjuntan en los Anexos.
- Se cumplió con la aplicación de métodos específicos para evaluar las propiedades físicas de forma y textura de los agregados, los métodos fueron para la evaluación de la forma Krumbein y Zingg; para la textura se realizó el ensayo de IP (Índice de la partícula para saber la textura en general del agregado, el ensayo del péndulo Británico para poder obtener coeficientes de resistencia el deslizamiento, usado para medir microtexturas (evaluación de aspereza en los áridos) en pavimentos. Mismos métodos que dieron excelentes resultados puesto que se adaptan a la evaluación de agregados.
- Se cumplió con el objetivo específico de elaborar briquetas de la mezcla bituminosa con agregados normales en cuanto a su obtención (Agregado Estándar), este procedimiento fue necesario para poder calcular el % óptimo de betún para cada uno de los agregados diferentes y posteriormente ser usado con los agregados evaluados (Agregado Experimental), para el cual se trabajó con el porcentaje óptimo obtenido que fue de 6%.
- Para el cumplimiento de la correlación de propiedades de la mezcla versus las características de textura y forma del agregado, podemos dirigirnos al capítulo IV, donde se observan las gráficas de correlación para cada agregado, cumpliéndose este punto y dado que se realizó con la intención de poder observar los mejores resultados de estos agregados seleccionados, se tiene como punto de medición comparativo los resultados del agregado estándar, de esta manera ver si puede o no resultar conveniente en la aplicación de estos métodos de selección de agregados para futuros trabajos en la ingeniería.
- Se pudo comparar el desempeño de las mezclas asfálticas según los resultados obtenidos, partiendo del punto anterior, mediante las correlaciones de las

propiedades de la mezcla se puede observar qué tan favorable es el despeño de cada mezcla, puesto que mejores resultados se obtuvieron con mezclas realizadas con agregado triturado, vale recalcar que mediante las cartillas de Krumbein y método de Zingg se define la forma; y mediante el índice de la partícula y cálculo del coeficiente de resistencia al deslizamiento se define la textura más adecuada para que el agregado alcance aún mejores resultados de resistencia que en las pruebas realizadas con agregado estándar.

- Entonces podemos concluir dando respuesta a nuestra hipótesis de que si se realiza una evaluación de áridos, respecto a la forma y textura, entonces se puede determinar la incidencia en la resistencia Marshall, para lo cual habiéndose analizado las pruebas pertinentes podemos ver, cuál es el efecto que causa en esas propiedades de la mezcla, esclareciéndose así el efecto de resistencia comprobado mediante el ensayo Marshall.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Para la recopilación de información teórica se recomienda analizar los parámetros en base al objetivo general para poder contar con material puntual sobre lo que se necesita investigar.
- Se recomienda que para la recolección de los áridos se estudien los bancos más próximos a usar en algún determinado proyecto, para contar con el criterio de fácil acceso, vale recalcar que puede tomarse en cuenta según esta investigación los modelos de triturado de cada banco, ya que esto puede hacer que el material pierda propiedades y no cumpla de manera más conveniente con los parámetros establecidos por las normas, pues si bien pudo verse que a mayor cantidad de fractura se obtiene mayor adherencia por parte del cemento asfáltico, vale recalcar que un exceso de material lajoso puede hacer que esta pierda propiedades.
- Para la caracterización del cemento asfáltico (85/100), en la elaboración de los ensayos se aconseja tener un buen tratamiento con lo indicado en los parámetros de temperatura para la realización de cada ensayo ya que esto puede hacer que varíen excesivamente los resultados.

- En cuanto a las recomendaciones para la caracterización de los diferentes agregados de aportación, se aconseja trabajar con agregados que en la granulometría se ajusten más a la curva granulométrica superior; la mayor cantidad de finos ofrece mejor comportamiento en las mezclas fabricadas, haciendo que tengo mayor densidad en el momento de compactación.
- Puesto que el trabajo de investigación se realizó con agregados del departamento de Tarija, los métodos aplicables a los agregados para evaluarlos en forma y textura pueden ser usados para medir a agregados de cualesquiera fuera su procedencia, pero vale recalcar que los resultados obtenidos en esta investigación sólo son aplicados para cemento asfáltico 85-100, para ser usado con otro tipo de asfalto deberán hacerse los ensayos de caracterización, y posterior estudio para su comprobación de porcentaje optimo requerido para poder trabajar con los agregados que vayan a ser usados y así comparar si sus resultados pueden o no ser favorables.
- Se recomienda que para la elaboración de briquetas de la mezcla bituminosa con agregados normales en cuanto a su obtención (Agregado Estándar) y agregados seleccionados en base a forma y textura. (Agregado Experimental) se tome en cuenta, que a la hora de dosificar las briquetas la compactación juega un papel importante en la durabilidad de la mezcla para aumentar la resistencia de las mezclas asfálticas. Aunque en el laboratorio resulta un factor difícil de simular y reproducir de manera confiable la compactación que se lleva a cabo en campo en condiciones reales, existen el número de golpes en compactación para cada mezcla específica que está avalado por normas para simular los deterioros en la etapa experimental.
- Para hacer uso de los resultados de esta investigación se debe tomar en cuenta lo establecido en el capítulo III y capítulo IV, donde se aclara el rendimiento en cuanto a resistencia se pudo obtener en para cada uno de los bancos de agregados de aportación, pues así, si se desea conocer el comportamiento de algunos de los bancos estudiados para poder ser usado en proyectos que se vayan a ejecutar en nuestro medio, se pueda tomar nota de qué banco de agregados pudiese ser más recomendable para su aplicación.

