

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Dentro de las mezclas asfálticas en frío las emulsiones asfálticas catiónicas se identifican por la migración de las partículas a un electrodo cargado negativamente al aplicarse una corriente directa. Algunos agregados que se utilizan en conjunto con emulsiones asfálticas presentan a menudo una carga predominante, positiva o negativa. Los asfaltos emulsionados deberían seleccionarse en base a su compatibilidad con el agregado disponible.

La aplicación directa de agregados a una mezcla asfáltica sin un previo estudio y análisis del tipo de carga que puede contener el mismo, puede acarrear consigo problemas de incompatibilidad de polaridad de cargas eléctricas generando innumerables problemas técnicos y estructurales en un proyecto de pavimentación.

En este proyecto se propone una zonificación de los agregados según el tipo de carga eléctrica que contienen, en la zona central de Cercado, de tal manera que se pueda seleccionar el agregado apropiado para su aplicación en mezclas asfálticas en frío.

La teoría que respalda esta investigación está basada en las mezclas asfálticas en frío con el empleo de emulsiones asfálticas con todos los parámetros que abarca la misma, como también los conceptos de electrostática que involucran la polaridad de cargas eléctricas. Los resultados son aplicados a la selección de agregados con carga eléctrica adecuada para cada tipo de emulsión asfáltica.

La relevancia social de los resultados se refleja en la identificación de zonas específicas para recurrir a la hora de seleccionar un agregado con características eléctricas requeridas en función al tipo de emulsión asfáltica que se vaya a emplear.

1.1. Diseño teórico

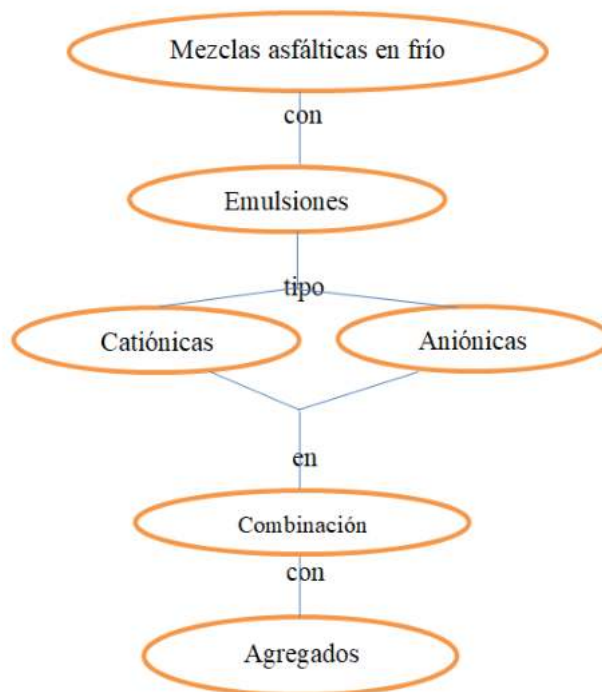
1.1.1. Determinación de línea de estudio. Argumentos

La importancia de conocer las características de las emulsiones para su aplicación en mezclas asfálticas y sus tipificaciones sabiendo que la principal característica es la existencia de dos tipos principales de las mismas siendo éstas las catiónicas y las aniónicas, nos lleva al análisis de la sinergia que existe a la hora de combinar una

emulsión con el agregado, siendo objeto de dicho análisis el agregado a emplear y el tipo de carga que debería tener para una correcta adherencia entre ambos elementos. Es así que se desarrolla la metodología que nos lleva al siguiente objeto de investigación y concepto de interés.

1.1.2. Objeto de investigación

Fig. 1.1. Diagrama del concepto de interés.



Fuente: Elaboración propia.

a) Concepto: Mezclas asfálticas en frío

Es una mezcla de agregado pétreo con o sin relleno mineral, con emulsión asfáltica, todo este proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente, en este estado de emulsión el asfalto es menos viscoso y la mezcla es más fácil de trabajar y compactar.

b) Ubicación de la causa principal

Se lo ubica dentro del mapa conceptual de las “cuatro causas de funcionalidad de un elemento” a cual corresponde:

AGREGADOS= Carga eléctrica = Causa Esencial

c) Declaraciones negativas

- No se tiene la adhesión esperada de agregado y emulsión en algunos casos.

- Se presentan fallas en pavimentos con emulsiones asfálticas por falta de compatibilidad entre agregado y emulsión.
- No se tiene identificada una zonificación de los agregados de la zona central de Cercado, según el tipo de carga eléctrica para su correcta combinación con las emulsiones asfálticas adecuadas.

1.1.3. Breve descripción de causales identificadas

Comúnmente se suelen presentar problemas de adherencia entre emulsiones asfálticas y agregado empleado en las mezclas asfálticas, debido a que si se tiene una emulsión aniónica y el agregado aplicado a esta mezcla tiene carga negativa tiende a haber una repulsión entre cargas del mismo tipo; lo mismo pasa con el otro tipo de emulsión que teniendo una emulsión catiónica y aplicando agregados que contengan carga positiva llegan a repelerse obteniéndose resultados adversos que derivan en fallas en la capa asfáltica lo que deteriora una carretera en su funcionalidad y sin tener bien identificadas las zonas, es decir una zonificación de los agregados según su carga eléctrica; este problema puede presentarse con más frecuencia.

1.1.4. Identificación del objeto de estudio

El objeto de investigación al que se llegó en el desarrollo de la metodología de investigación es el tipo de carga que pueden tener los agregados al emplearse en mezclas asfálticas en frío con emulsiones asfálticas para obtener una correcta reacción eléctrica entre agregado y emulsión. Al no conocer u omitir un dato (tomando en cuenta la zona de donde proviene el agregado) que puede parecer irrelevante como es la carga eléctrica; es decir cómo está cargado el agregado al poner en obra junto con la emulsión, se puede cometer el gran error de aplicar un agregado de carga eléctrica inadecuada, generando grandes efectos negativos: técnicos y económicos tomando en cuenta que los pavimentos de este tipo revisten magnitudes de gran envergadura, lo que compromete aún más la determinación exacta y a detalle de las características y propiedades de los agregados tal como la carga eléctrica que pueden llegar a contener siendo esta de dos tipos principalmente: positiva o negativa.

1.1.5. Determinación de la perspectiva de solución

Zonificar los agregados según el tipo de carga eléctrica (positiva o negativa) que contengan, puede aportar una gran información a la hora de elegir qué tipo de emulsión se va a utilizar en un determinado trabajo de pavimentación de carreteras y que material pétreo o agregado es adecuado para la misma.

Es decir se podría tener una tendencia característica de la carga eléctrica de las diferentes zonas a las que se recurre para la obtención de agregados para mezclas asfálticas; logrando tipificar los agregados según su carga se podría tomar decisiones con mayor certeza de cuáles son las zonas que nos pueden ofrecer el agregado más adecuado hablando de su compatibilidad con la emulsión.

Se llegaría a establecer un mapa identificativo que nos ofrece esta característica que muchas veces no se toma en cuenta, dado que para este tipo de trabajos como los pavimentados se estudia y analiza las características y propiedades técnicas de los agregados; muchas veces dejando de lado algunas que pueden parecer irrelevantes, tales como la carga eléctrica que puede contener un elemento como estos: los agregados.

Teniendo esta tipificación de carga catiónica o aniónica en los agregados se lograría la aplicabilidad directa del material pétreo, facilitando así la selección de agregados para cada tipo de proyecto con la certidumbre de que se obtendrán buenos resultados.

Considerando que en varios proyectos de pavimentación se puede ver la incompatibilidad de agregado y emulsión, muchas veces en una etapa tardía es decir cuando ya se tiene grandes avances en el procedimiento, siendo muchas veces difícil revertir estos errores u omisiones de datos que pudieron habernos facilitado un mejor y más eficiente trabajo.

1.2. Marco normativo

Norma Boliviana de Carreteras y Pavimentos.

1.2.1. Análisis y tendencias

Dentro de la búsqueda de información se puede observar que se aborda muy poco el tema de los agregados como un componente de mezclas asfálticas en frío específicamente, es decir resaltar sus características particularmente para este tipo de

mezclas y dado que en la mayoría de los casos se emplea mezclas asfáltica en caliente, se puede encontrar más información de estas últimas que de mezclas asfálticas en frío.

Abordar el tema de los agregados desde el área de la física, como lo es la carga eléctrica, puede significar un reto ya que muchos elementos son neutros tienen sus cargas en equilibrio debido a que no se suelen abordar desde este punto de vista, restándole importancia muchas veces a esta característica, ya que a nuestra área como es la ingeniería nos interesa y nos llama la atención sus propiedades técnicas ante todo.

Pero puede significar un nuevo enfoque y un aliciente para incentivar al empleo de mezclas asfálticas en frío ya que como se puede concluir es una de las mejores alternativas para reducir la contaminación y los daños colaterales que conllevan los proyectos de asfaltado que convencionalmente se aplican, que son las mezclas asfálticas en caliente, y más en nuestros días que es un requerimiento tomar conciencia de los daños que se causa al medio ambiente con todo tipo de obras de gran envergadura, que así como traen beneficios, muchas veces no se mitigan los daños ambientales.

1.2.2. Posición del autor

Para el presente trabajo de investigación se recurrió a una variedad de artículos, blogs, tesis de distintas áreas, ya que el objeto de investigación es el tipo de carga eléctrica en los agregados para mezclas asfálticas en frío; abarcando así desde conceptos y teorías de física, carreteras y los agregados como componentes de las mezclas asfálticas.

Se ve las características de las mezclas asfálticas en frío ya que se estudiarán los agregados para su empleo en dichas mezclas.

Se enfatiza en la teoría de las emulsiones como un componente de las mezclas asfálticas en frío, siendo uno de los aspectos más relevantes para la investigación.

Dentro de la teoría se aborda la carga eléctrica en general, para ir de lo más global y entender así lo más importante del objeto de investigación.

1.3. Situación problemática

La carga eléctrica es una propiedad física intrínseca de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante fuerzas de atracción y repulsión entre ellas a través de campos electromagnéticos.

En cualquier caso, la carga eléctrica de un cuerpo se dice que es:

- Negativa, cuando tiene más electrones que protones.
- Positiva, cuando tiene menos electrones que protones.
- Neutra, cuando tiene igual número de electrones que de protones.

Surge un inconveniente que se suele presentar en repetidas ocasiones, que muchas veces impide el empleo de emulsiones para la pavimentación de carreteras, siendo este que al existir dos tipos de emulsiones asfálticas: aniónicas y catiónicas, de carga eléctrica positiva y negativa respectivamente, deben ser acopladas a un tipo de carga en específico para los dos tipos de emulsiones y al no conocer a cabalidad el tipo de carga eléctrica que contienen los agregados que son adicionados a la mezcla, muchas veces se obtiene un efecto negativo, en que agregado y emulsión se repelen por contar con el mismo tipo de carga eléctrica, resultando una mala sinergia de la mezcla, lo que la debilita y la hace vulnerable al deterioro temprano de la carpeta asfáltica, por lo tanto compromete la seguridad y vida útil de una carretera afectando su funcionalidad.

Al no conocer las características en cuanto a carga eléctrica se refiere, de los agregados de las diferentes zonas en la parte central de Cercado, ya que son a las que más se recurre para la obtención de agregados dentro de las mezclas asfálticas, se puede llegar a aplicar un agregado inadecuado para la emulsión que se vaya a utilizar, provocando que exista repulsión entre agregado y emulsión, lo que en proyectos de gran magnitud representaría daños tanto estructurales y económicos a la hora de llevar a cabo dichos proyectos.

Tener identificada una zonificación del tipo de carga eléctrica (positiva o negativa) de los agregados disponibles en la zona central de Cercado, puede facilitar una decisión para elegir los agregados para el desarrollo de un proyecto de pavimentación con mezclas asfálticas en frío y con certidumbre aplicar agregados que tengan compatibilidad con el tipo de emulsión a emplear, logrando la sinergia esperada entre ambos elementos.

1.3.1. Determinación del problema

1.3.1.1. Problema de investigación

Las mezclas asfálticas en frío son una buena alternativa a las tradicionales puestas en obra de los pavimentos que requieren temperaturas altas y provocan la emisión de gases

altamente contaminantes; empleando emulsiones asfálticas se logra una combinación con el agregado obteniendo una mezcla perfecta y resistente.

Al momento de llevar a cabo trabajos de pavimentación con emulsiones asfálticas se puede presentar el inconveniente de que no se aplique el agregado cargado eléctricamente correcto para un determinado tipo de emulsión, llegando a repelerse los mismos causando muchos daños no contemplados.

En caso de no llegar a evaluar el tipo de carga que puede contener el agregado aplicado a las mezclas asfálticas con emulsiones, se puede tener un sinnúmero de afectaciones a un determinado proyecto o trabajo, por incompatibilidad entre agregado y emulsión se pueden presentar grandes pérdidas económicas y problemas técnicos en una carretera.

Zonificar los agregados según su tipo de carga eléctrica, permitiría tener identificados los agregados apropiados para cada uno de los tipos de emulsión.

¿Cómo se puede elegir correctamente los agregados de acuerdo a su tipo de carga eléctrica para su aplicación en pavimentos flexibles con emulsiones asfálticas?

1.3.1.2. Breve descripción sobre: Delimitación de tiempo, factibilidad y espacio

a) Delimitación de tiempo

- De acuerdo al relato, el fenómeno está ocurriendo en *tiempo presente*.
- La factibilidad del presente trabajo se limita al empleo de dos instrumentos de laboratorio llamados electroscopio y electrómetro y el acopio del agregado de diferentes zonas para ser evaluados.

b) Delimitación de espacio

- Área de trabajo; Zonas definidas de extracción de agregados.
- Base de operaciones; Laboratorio de física, hormigones y asfaltos.
- Aplicación; Carreteras.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Zonificar los agregados según el tipo de carga eléctrica que contienen, en la zona central de Cercado, de tal manera que se pueda seleccionar el agregado apropiado para su aplicación en mezclas asfálticas en frío.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Delimitar la zona central de Cercado en la que se estudiarán los agregados.
- Seleccionar las plantas trituradoras que produzcan agregados que cumplan los requerimientos para aplicarlas en mezclas asfálticas en frío.
- Identificar las zonas de extracción de agregados de cada planta trituradora seleccionada.
- Establecer muestras significativas y representativas de agregados para ser analizadas.
- Determinar la carga eléctrica y su polaridad de los agregados.
- Determinar dosificaciones entre agregados y emulsión.
- Diseñar mezclas asfálticas para comprobar la compatibilidad entre agregados y emulsión asfáltica.

1.5. Formulación de la hipótesis

1.5.1. Hipótesis

“Zonificando los agregados según el tipo de carga eléctrica se garantiza una buena selección de agregados para la combinación con emulsiones asfálticas”.

1.5.2. Identificación de variables

1.5.2.1. Variable independiente

El agregado a evaluar en cada zona.

1.5.2.2. Variable dependiente

Zonificación de los agregados según la polaridad de su carga eléctrica.

1.5.3. Conceptualización y operacionalización de las variables

Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalización de la variable independiente.

Variable independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
El agregado natural a evaluar en cada zona.	Cada partícula de agregado tiene algún tipo de polaridad de carga eléctrica	Peso.	Gramos (gr)	Valor leído en una balanza digital.
		Volumen.	Centímetros cúbicos (cc)	Valor leído en una probeta.
		Carga eléctrica.	Nanocoulombs (nC)	Valor leído en el electroscopio
		Polaridad de la carga eléctrica.	Positiva o negativa (+ o -)	Signo indicado por el electroscopio y electrómetro

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.2. Conceptualización y operacionalización de la variable dependiente.

Variable dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Zonificación de los agregados según la polaridad de su carga eléctrica.	Es una referencia de cada zona en estudio que indica el tipo carga eléctrica que contienen los agregados.	Polaridad de la carga eléctrica de los agregados.	Positiva (+)	Resultado del procedimiento de estudio.
			Negativa(-)	Resultado del procedimiento de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

1.6. Diseño metodológico de la investigación

1.6.1. Identificación del tipo del diseño de investigación

Diseño No experimental; cuando las variables independientes no se controlan.

Diseño Transeccional Descriptivo.

1.7. Unidades de estudio y decisión muestral

1.7.1. Unidad de estudio o muestreo

La unidad de muestreo será el agregado grueso que presente cada zona, debido a que es este el que se extrae de los ríos, para la trituración y producción de agregado fino y grueso requerido en mezclas asfálticas en frío.

1.7.2. Población y muestra

La población es infinita: lo constituye la totalidad de agregado existente en cada zona.

La muestra será una cantidad determinada de agregado.

1.7.3. Tamaño de muestra

Para poblaciones infinitas:

De acuerdo al NC = 95%, la variable estandarizada de la tabla de distribución normal es $Z = 1,96$ como señala la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Valores frecuentes de la variable estandarizada.

Nivel de Confianza (NC) %	Variable Z
90	1,64
95	1,96
97	2,17
98	2,33
99	2,58

Fuente: Texto de investigación Ing. Yurquina L.

El margen de error es: $e = 5 \%$, deducido por el nivel de confianza que propone el investigador.

La varianza $\sigma^2 = 0,10$ asumida en función al tiempo disponible para concluir el estudio.

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2}{e^2}$$

$$n = \frac{1,96^2 * 0,10}{0,05^2}$$

$n = 154$ unidades de muestreo.

1.7.4. Selección de las técnicas de muestreo

Se empleará dos técnicas de muestreo.

Muestreo casual o accidental: dentro de la zona definida para estudiar se elegirán puntos accesibles y estratégicos ya que al ser una gran extensión no se tiene acceso a todas las zonas.

Muestreo aleatorio: dentro de cada punto accesible se elegirán al azar la cantidad de agregados definidos en el tamaño de muestra.

1.8. Métodos y procedimientos lógicos

1.8.1. Identificación de la perspectiva

Procedimiento para identificar.

Tabla 1.4. Tabla para establecer las acciones y productos.

Conceptos	Acciones			Productos.
	Gabinete	Campo	Laboratorio	
Mezclas asfálticas en frío.	Estudiar la características de las mezclas asfálticas			Determinar dosificaciones de agregado.
				Determinar cantidades de emulsión
Emulsiones	Estudiar clasificación de las emulsiones		Prueba de carga eléctrica de partículas	Tipo de Emulsión catiónica.
				Tipo de Emulsión aniónica.
Combinación (emulsión-agregado)	Estudiar dosificaciones de agregados para mezclas asfálticas en frío.		Briquetas de prueba	Compatibilidad con el agregado.
				Incompatibilidad con el agregado.
Agregados	Ubicar zonas de extracción de agregados y cantidad de muestra.	Extracción de muestras de agregados.	Determinación de la carga eléctrica	Agregado con carga positiva.
				Agregado con carga negativa

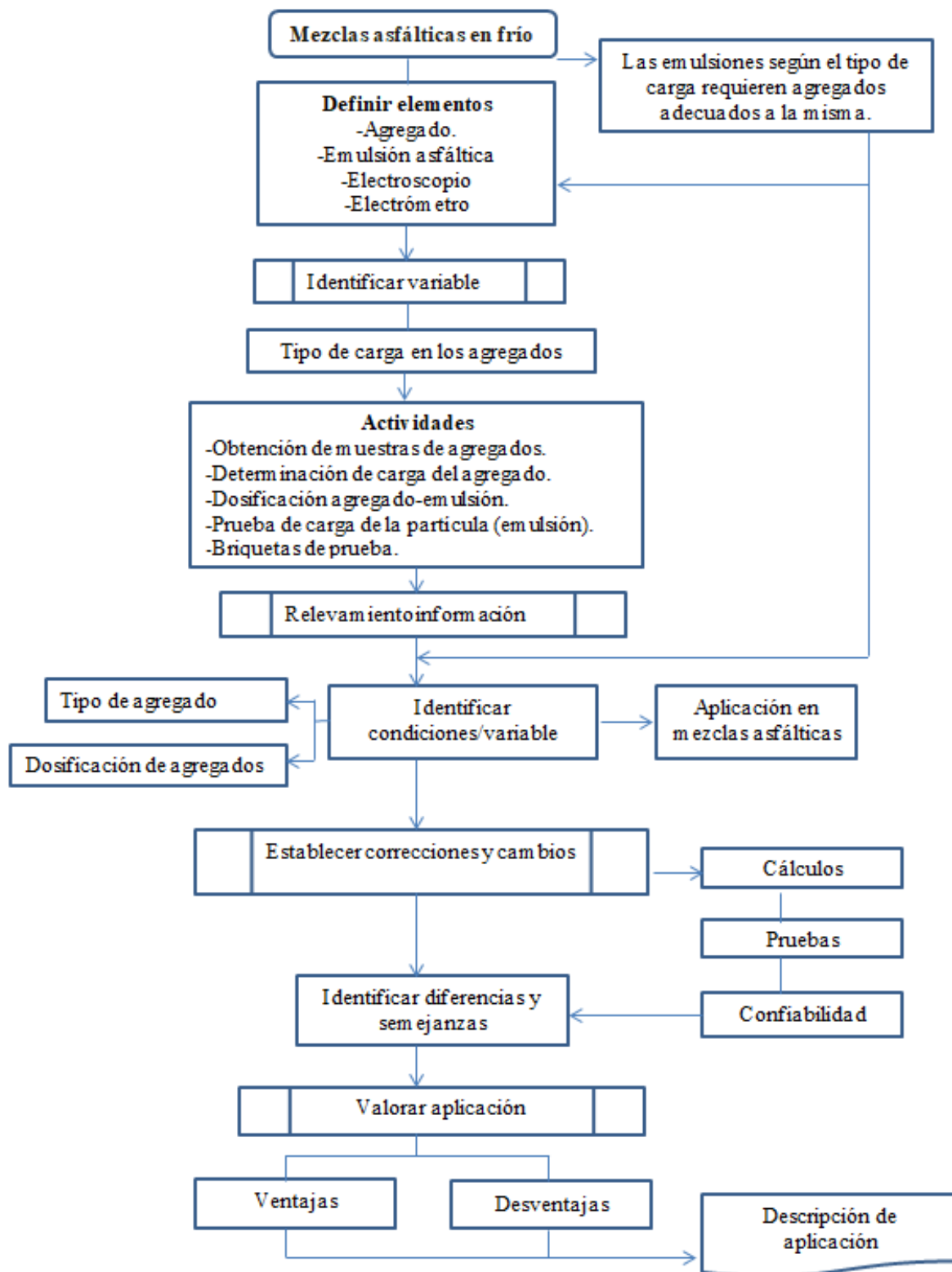
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.5. Organización de los productos.

Productos	
General	Específico
Relevamiento de información	Tipo de carga positiva en los agregados.
	Tipo de carga negativa en los agregados.
	Carga eléctrica en los agregados por zonas de estudio de los agregados.
Identificar condiciones físicas, funcionales	Agregados en cada zona de estudio.
	Características técnicas de los agregados.
	Dosificación de agregados.
	Cantidades de emulsión asfáltica.
	Emulsión aniónica.
	Emulsión catiónica.
Potencial de aplicación	Agregado apto para la aplicación en mezclas asfálticas en frío.
Establecer correcciones y cambios	Buena compatibilidad con el agregado.
	Mala compatibilidad con el agregado.
Identificar diferencias y semejanzas	Zonas con el mismo tipo de carga eléctrica.

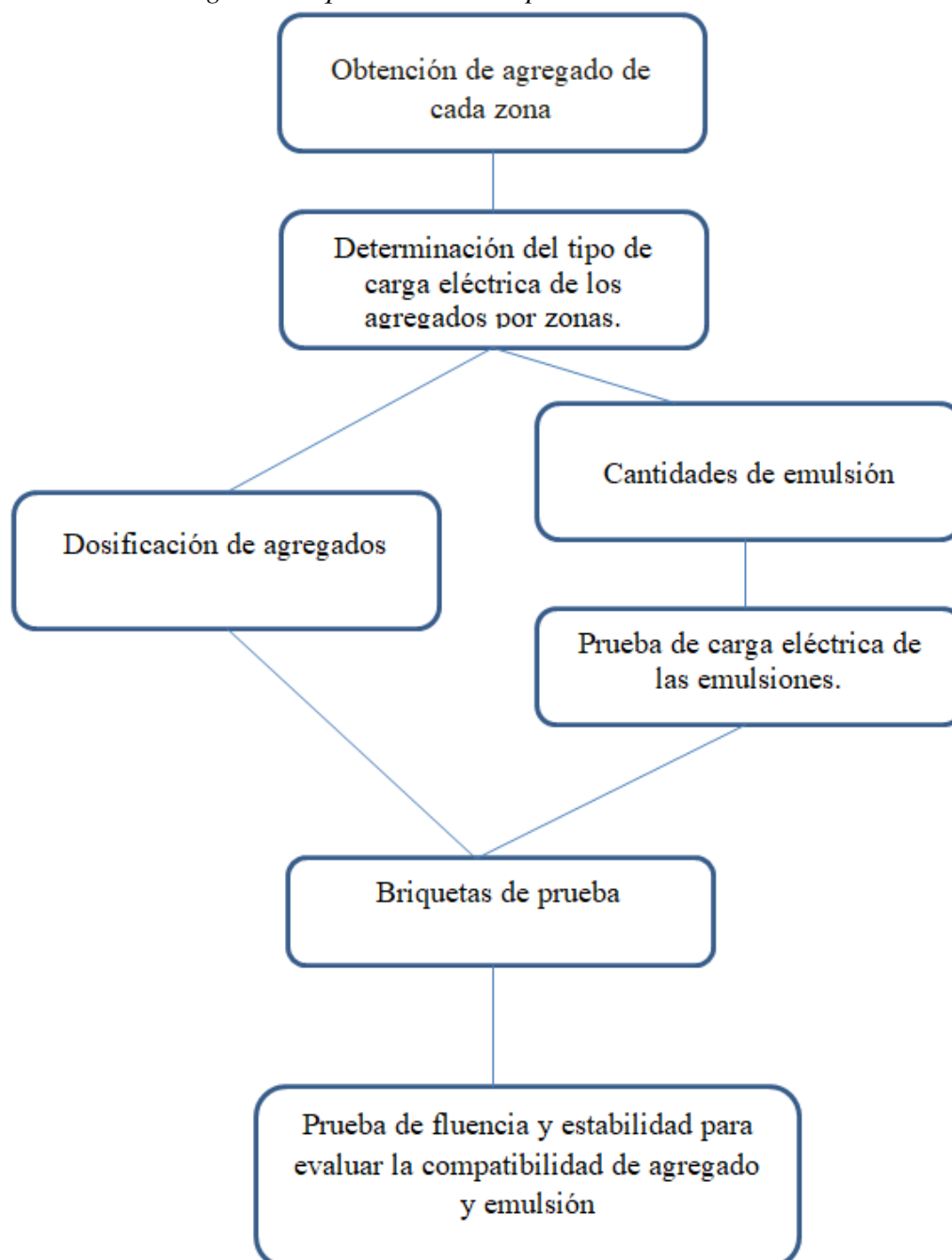
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 1.2. Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 1.3. Esquema resumido práctico de actividades.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO Y LA ELECTROSTÁTICA

2.1. Mezclas asfálticas en frío

Son mezclas fabricadas a partir de emulsiones asfálticas o asfaltos líquidos. En algunos países, el uso de estos últimos se ha ido descontinuando por causas ambientales.

Además, en la fabricación de mezclas a partir de emulsiones los agregados usados no requieren ser calentados, por lo tanto el consumo de energía y las emisiones de gases son menores, lo cual las cataloga como ecológicas. (Lopez, 2012).

Según Lopez (2012) a nivel mundial, los diferentes gremios que hacen parte de la industria de los pavimentos han planteado los siguientes objetivos con el fin de incentivar el uso de las mezclas asfálticas en frío:

- Ayudar a mejorar la calidad medioambiental en cuanto a la emisión de gases y el empleo de combustibles fósiles.
- Disminuir la temperatura de fabricación y puesta en obra conservando su manejabilidad.
- Tener un desempeño mecánico semejante al que se obtiene con las mezclas en caliente.
- Mejorar las condiciones de trabajo. Su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo período de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de

haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla. (Padilla, 2004).

2.1.1. Mezclas asfálticas semidensas o semicerradas

Si el parámetro considerado es el porcentaje de vacíos de aire, las mezclas pueden ser densas o cerradas; semidensas o semicerradas; abiertas y porosas, dependiendo de si tienen menos del 6%, entre el 6 y el 12% de vacíos de aire, entre el 12 y el 18% o más del 20%, respectivamente. Otra clasificación se establece de acuerdo con la estructura de los agregados pétreos; así, se tienen mezclas con o sin esqueleto mineral. Si se considera la curva granulométrica, se clasifican en mezclas asfálticas continuas o mezclas discontinuas (Cepeda, 2002, como se citó en Garnica, Flores, Gómez & Delgado, 2005).

2.2. Agregados

Agregado, también conocido como roca, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca.

El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y el 85 por ciento en volumen de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

La gradación de la combinación de agregados es uno de los aspectos primordiales en el comportamiento mecánico e hidráulico de una mezcla asfáltica compactada. (Chimborazo, 2012).

2.2.1. Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño

2.2.1.1. 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. (Padilla, 2004).

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

- **Procedencia del agregado grueso**

Esta porción de agregado debe provenir de la desintegración de roca, de grava o por una combinación de ambas; debe contener fragmentos limpios, resistentes y durables, evitando la presencia de partículas planas, alargadas, blandas, deberá estar exento de contaminantes tales como tierra, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan impedir la adhesión completa del asfalto o afecten adversamente la durabilidad de la mezcla compactada. (Garzon, 2013). El agregado grueso utilizado en nuestro medio es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta. (Gomez y Solano, 2016)

- **Granulometría**

La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica del conjunto (esqueleto mineral). Normalmente se utilizan granulometrías sensiblemente continuas, a fin de conseguir la máxima compacidad del conjunto, aunque también se emplean granulometrías discontinuas en el caso de algunas mezclas asfálticas. Para encajar una granulometría dentro de algún huso normalizado se parte de fracciones uniformes que se mezclan en las proporciones adecuadas. Los análisis granulométricos se realizan por tamizado; el procedimiento es análogo al que se emplea para suelos.

El tamaño máximo de los agregados viene normalmente limitado por consideraciones relativas al espesor de la capa extendida, trabajabilidad, segregación, etc. Por otra parte la influencia de las partículas finas obliga normalmente a limitar su porcentaje y su plasticidad.

En las mezclas asfálticas tiene una especial importancia la fracción de tamaño inferior a 75 μ m, llamada, como se ha indicado, polvo mineral o filler, pues algunas características relevantes de la mezcla dependen del mástico formado por la unión del polvo mineral y del ligante asfáltico. (Padilla, 2004).

- **Rozamiento interno**

La resistencia a la deformación o capacidad de soporte de una capa de firme depende esencialmente del rozamiento interno del esqueleto mineral y, en su caso, de la cohesión que proporciona el eventual ligante o conglomerante. El rozamiento interno aumenta con partículas angulosas y de textura superficial áspera como por ejemplo los agregados triturados. También influye de forma importante la granulometría del agregado y el porcentaje de huecos del material compactado. A mayores densidades corresponden generalmente mayores resistencias mecánicas, por lo que la compactación es un factor de primer orden.

La cohesión debe confiarse exclusivamente al ligante asfáltico o conglomerante. La cohesión entre las partículas suele ser despreciable, y cuando existe se debe únicamente a la plasticidad de la fracción fina, y en general es más nociva que útil. Solo interesa una cierta plasticidad de los finos y muy reducida de todas formas, cuando se trata de capas granulares no revestidas en caminos de baja intensidad de tráfico. (Padilla, 2004).

- **Angulosidad del agregado grueso**

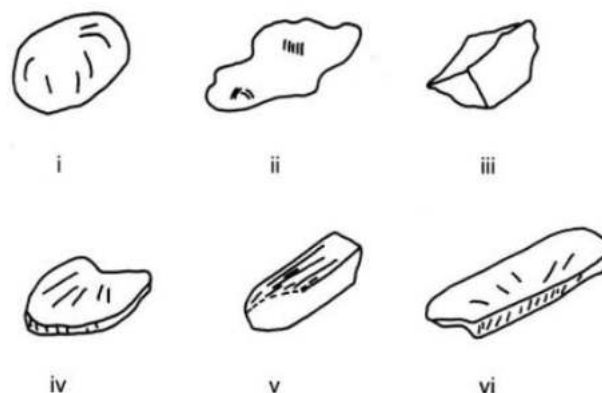
La angulosidad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento de la angulosidad de las partículas. La mayoría de las normativas establecen un mínimo de angulosidad del agregado grueso, dependiendo de las condiciones de tráfico al que va a estar expuesto el pavimento. (Padilla, 2004).

- **Forma del agregado**

Las exigencias de forma para el agregado grueso varían ligeramente, con un mismo tráfico, para las mezclas asfálticas. Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides, evitando o restringiendo las formas planas, alargadas y en forma de lajas, ya que como lo hemos dicho antes, este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas.

Existen restricciones en las normativas de materiales para pavimentos donde se restringe el uso de partículas con estas formas no deseadas, por medio de los índices de lajas y de agujas de las distintas fracciones del árido grueso. (Padilla, 2004).

Fig. 2.1. Formas de partículas de agregado pétreo



Forma de las Partículas de Agregado Pétreo.

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

Fuente: Adaptado de *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.* (p.8), por A. Padilla, 2004, Universitat Politècnica de Catalunya.

- **Resistencia a la fragmentación de los agregados gruesos**

Los agregados pétreos deben cumplir con un cierto mínimo de resistencia a la fragmentación o al desgaste, lo que da una orientación del comportamiento que tendrá dicho agregado dentro de la mezcla asfáltica al entrar en servicio el pavimento. (Padilla, 2004).

- **Resistencia al pulimento del agregado grueso para capas de rodadura**

El ensayo de pulimento acelerado, determina el grado de pulimento del agregado o coeficiente de pulido acelerado con el mismo péndulo de fricción con el que se mide el coeficiente de rozamiento en una superficie de rodadura. El coeficiente de pulido acelerado depende fundamentalmente de la naturaleza petrográfica de la roca origen, fue diseñado como un medio para predecir la susceptibilidad de una piedra al pulido cuando se utiliza como ya lo hemos dicho en la capa de rodadura de un pavimento flexible. (Padilla, 2004).

- **Limpieza del agregado grueso**

El agregado grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de impurezas del agregado grueso, según las normativas deberá ser mínimo, algo muy aproximado al cinco por mil (0,5%) en masa. Aunque se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros, y realizando una nueva comprobación.

La exigencia anterior podría cuestionarse considerando que en las plantas asfálticas modernas existen poderosos sistemas para extraer el polvo e impurezas del agregado. Sin embargo en una secuencia lógica de exigencias de calidad y prevenciones, la limpieza inicial del agregado está totalmente justificada. (Padilla, 2004).

- **Adhesividad del agregado grueso**

El agregado grueso tiene un comportamiento específico respecto a la adhesividad y a la resistencia al desplazamiento. Se preconiza la comprobación de la adhesividad agregado – ligante mediante una evaluación global de resistencia conservada en los ensayos de inmersión – compresión, o de pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro. Estos criterios se refieren obviamente a las propiedades de las mezclas terminadas más que a la caracterización inicial de los materiales simples: agregados y ligantes.

En cualquier circunstancia se comprobará la adhesividad agregado–ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Se enmarcan unos parámetros mínimos en los valores de inmersión – compresión según el tipo de mezcla asfáltica a utilizar. Se podrá mejorar la adhesividad entre el agregado y el ligante asfáltico mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. Se establecerán las especificaciones que tendrán que cumplir dichos aditivos y las mezclas resultantes. (Padilla, 2004).

2.2.1.2. 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. (Padilla, 2004).

2.2.1.2.1. Características y propiedades deseables de los agregados finos para su utilización en las mezclas asfálticas

- **Procedencia del agregado fino**

El agregado fino deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad, o en parte de yacimientos naturales. Existen limitaciones en la proporción de agregado fino no triturado a emplear en las mezclas. Regularmente se emplea arena natural en la elaboración de mezclas asfálticas que van a ser empleadas en pavimentos con una baja intensidad de tráfico y a bajos niveles de cargas, se deberá señalar la proporción máxima de arena natural no triturada a emplear en la mezcla, la cual regularmente no será superior al 10% de la masa total del agregado combinado y sin que supere el porcentaje de agregado fino triturado empleado en la mezcla, la limitación de la cantidad de arena rodada o no triturada que puede incorporarse a la mezcla, se hace por temor a una disminución de la rigidez final de ésta. Hay autores y administraciones que consideran que una proporción del orden del 10% puede mejorar al tiempo la manejabilidad, la compacidad e incluso la estabilidad de la mezcla. (Padilla, 2004).

- **Limpieza del agregado fino**

El agregado fino deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas, para evitar que se presenten comportamientos extraños del material dentro de la mezcla, tales como reacciones químicas, pérdida de estabilidad de la mezcla, abundamientos, entre otros. (Padilla, 2004).

- **Resistencia a la fragmentación del agregado fino**

El material que se triture para obtener agregado fino deberá cumplir las condiciones exigidas al agregado grueso sobre el coeficiente de desgaste Los Ángeles.

Se recomienda usar agregado fino de otra naturaleza, que mejore alguna característica, especialmente la adhesividad, pero en cualquier caso procederá de agregado grueso con coeficiente de desgaste de Los Ángeles inferior a 40 para capas de rodadura, intermedia y para capas de base. (Padilla, 2004).

- **Adhesividad del agregado fino**

Respecto a los fenómenos de adhesividad agregado fino – ligante, hay que tener en cuenta que las acciones químicas o químico – físicas en las partículas de menor tamaño

son más complejas. Su mayor superficie específica, facilidad para acumular humedad y gran heterogeneidad de su naturaleza determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad, absorción, etc. (Padilla, 2004).

2.2.2. Fuentes de agregados

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados, y agregados sintéticos o artificiales. (Aguilar, 2018).

2.2.2.1. Agregados naturales

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua el movimiento del hielo y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Los glaciares, por ejemplo, usualmente producen rocas y guijarros redondeados. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas.

Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6,35 mm (1/4 de pulgada). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6,35 mm (1/4 de pulgada) pero mayor que 0,075 mm (N° 200). Las partículas de un tamaño menor que 0,075 mm (N° 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

Las gravas y las arenas son clasificadas, además, de acuerdo a su origen. Los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto, y los materiales tomados de la ribera de los ríos son conocidos como materiales de canteras de ríos.

Los depósitos de gravas varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen, comúnmente, alguna cantidad de arcilla y limo. Las arenas de playa (algunas de las

cuales se encuentran tierra adentro hoy día) están compuestas de partículas de tamaño regularmente uniforme, mientras que las arenas de río contienen proporciones grandes de grava, limo y arcilla. (Aguilar, 2018).

2.2.2.2. Agregados procesados

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación.

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas. El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lechos de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones económicas, el material triturado es usado tal y como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado sin cribar, y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimento. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

El triturado de algunos tipos de roca, como las calizas, produce cantidades substanciales de pequeños fragmentos y partículas. Esta fracción de material es separada de las partículas que tienen diámetros iguales o mayores 6,35 mm (1/4 pulgada), casi siempre, y usada como agregado de una arena triturada, o procesada hasta tamaños máximos de 0,60 mm (N° 30). (Aguilar, 2018).

2.2.2.3. Agregados sintéticos

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales.

Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas, para ser usados específicamente como agregado.

El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado.

Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producidos al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria y otros materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste. Los agregados sintéticos han sido usados en la pavimentación de cubiertas de puentes, cubiertas de techos, así como en capas superficiales de pavimento donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento. (Aguilar, 2018).

2.2.3. La explotación de agregados en ríos

La minería de ríos para la explotación de materiales pétreos es una actividad primordial para el desarrollo de las obras arquitectónicas y civiles de la sociedad y el ser humano.

Este, que se ha caracterizado por buscar alternativas en todos los ámbitos, ayudado de la ingeniería y la industria.

Son muchos los ríos a nivel mundial en los cuales se aprovechan las gravas y las arenas, los cantos rodados y el ripio, entre otros los cuales son explotados de una manera masiva para ser usados en construcciones de edificaciones e infraestructura, ya sea por las propiedades fisicomecánicas o porque sirven como materia prima para la elaboración de agregados para la construcción.

Los costos de explotación son también un factor importante a considerar ya que son bajos en comparación a los materiales de canteras, de igual manera los costos de

transporte y procesamiento ya que los materiales aluviales tienen un proceso mínimo en su tratamiento operativo. (Aguilar, 2018).

Se debe tener un especial cuidado ya que “esta minería intensiva origina graves efectos en el sistema fluvial debido al desbalance causado en el transporte de sedimentos en el sitio de extracción; se origina una erosión general del cauce que puede alcanzar grandes distancias aguas arriba y aguas abajo, generando a su vez la inestabilidad de las orillas, cambios en la morfología del cauce, erosión regresiva en los afluentes, descenso en el nivel freático, afectación de la flora y fauna acuática y riparias, y, además, poniendo en riesgo las diferentes estructuras localizadas a lo largo del cauce y sus tributarios (puentes, captaciones, muros de protección, entre otros).” (Ramírez, 2011, como se citó en Alarcón, 2016).

A lo largo de los años es claro poder darse cuenta que en los ríos de nuestro país se han dado explotaciones de sus lechos de una manera irresponsable y penosa, pensando solo en el extractivismo común, en ganar dinero y no en sus consecuencias ambientales que estos provocan, es por eso que las normativas nos muestran que existen maneras técnicas, ambientales, sociales de generar una minería responsable con el medio ambiente, para lo que se debe recurrir a dichas normativas. Calculando los volúmenes óptimos de explotación, la calidad de los materiales explotados, cumplir con un ciclo de minado y sobre todo dar cumplimiento total con las diferentes leyes que están ponderadas en nuestro país.

Existen algunos efectos que conlleva el realizar una explotación minera en ríos, algunas veces puede generar serios impactos ambientales ya que principalmente el río sufre cambios en sus condiciones geométricas e hidráulicas en los sitios donde se ejecuta la explotación, también se podría alterar la capacidad de transporte de la corriente y los sedimentos transportados. (Aguilar, 2018).

La incisión del cauce puede inducir otros efectos, tales como, inestabilidad y erosión de las orillas, cambios en la morfología del cauce, erosión remontante en los afluentes, descenso del nivel freático en la planicie aluvial cercana al cauce (disminuyendo los niveles de aguas en los pozos cercanos), variación en el tamaño de los materiales del lecho y ampliación del cauce, deterioro de la calidad del agua (incrementando la

turbiedad) lo cual afecta a los usuarios aguas abajo y a la fauna y flora acuática. (Ramírez, 2011, como se citó en Alarcón, 2016).

2.2.4. Plantas Trituradoras

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua y el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (2016) en la “Guía técnica para el aprovechamiento de áridos en cauces de ríos y afluentes”, presenta una amplia descripción de los procedimientos que deben seguir las plantas trituradoras; tales como los métodos de extracción de áridos en lechos de río dentro de los cuales se encuentran la extracción con pala mecánica y retroexcavadora, extracción mediante bomba de succión, extracción en talud lateral mediante monitores y extracción manual para aprovechamiento artesanal. Establece para cada uno de estos métodos, los impactos negativos que generan y las medidas de mitigación que se deben aplicar.

Presenta también los métodos de tratamiento de los agregados luego de su extracción siendo el primero la clasificación y lavado de la que se disponen cinco tipos: clasificación mecanizada y lavado de finos en una criba vibratoria de pisos, clasificación mecanizada en cedazo estacionario instalado en caballete, clasificación manual, clasificación en zaranda estacionaria (clasificación en seco) y clasificación y lavado en canales.

Así también se establecen los procedimientos de trituración, clasificación y lavado, dentro de los cuales se tiene dos métodos:

El proceso en seco que consta de las siguientes operaciones unitarias: precibado, clasificación, trituración primaria, trituración secundaria, trituración terciaria, clasificación (primaria, secundaria y/o terciaria).

El proceso en húmedo que comprende las siguientes operaciones: trituración primaria, secundaria y/o terciaria (en seco), molienda, clasificación húmeda (primaria, secundaria, terciaria), lavado, hidroclasificación, sedimentación, filtración, operaciones complementarias.

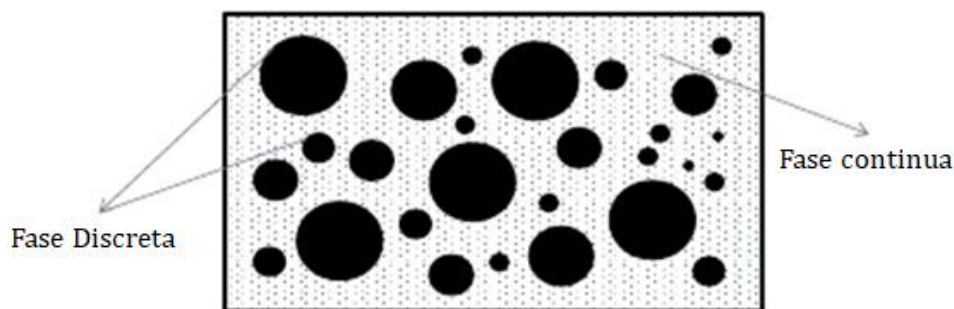
2.3. Emulsiones asfálticas

Los asfaltos provenientes de la refinación del crudo de petróleo, son producidos en una variedad de tipos y grados que van desde sólidos duros y frágiles a líquidos poco viscosos. El asfalto empleado en pavimentación para poder utilizarlo es necesario fluidificarlo, bien sea calentándolo, diluyéndolo o emulsionándolo. El tercer método gasta menos energía que el calentamiento directo y no produce contaminación ambiental, ya que se evapora agua en lugar del solvente que se utiliza en la dilución.

Una emulsión asfáltica consiste en una fina dispersión de partículas de asfalto en agua. Las pequeñas gotas de asfalto se mantienen uniformemente dispersadas en la fase acuosa gracias a la ayuda de un agente emulsificante – surfactante- que al rodear la gota proporciona la repulsión necesaria para conservar la estabilidad del sistema hasta su uso. (Cornejo, 2014).

Es un material líquido estable, fabricado a partir de cemento asfáltico, que está formado por dos fases no miscibles, una continua (o dispersante) y otra discreta (dispersa), donde diminutas partículas de asfalto (típicamente corresponde entre un 5% y un 70% de la emulsión) son mezcladas con agua y agentes tensoactivos especiales en pequeñas proporciones, llamados emulsificantes, emulsionante o emulgente, los cuales son los encargados de mantener los glóbulos de asfalto en suspensión estable hasta cierto momento y además, definen la clasificación de las emulsiones (aniónica o catiónica). (Lopez, 2012).

Fig. 2.2. Esquema de una emulsión asfáltica.



Fuente: Adaptado de *Estado de la práctica de las mezclas asfálticas en frío para capas estructurales usando materiales nuevos* (p.17), por C. Lopez, 2012, Universidad de Los Andes.

Según Lopez (2012): El uso de las emulsiones asfálticas está siendo cada vez más atractivo por la facilidad de producción y manejo, economía en el ahorro de energía y similar desempeño que se obtiene frente a otros materiales asfálticos. A continuación se resaltan de manera específica cada una de las ventajas de las emulsiones:

- Es menos contaminante, debido a que la fabricación de los diferentes productos no requiere calentamiento del material y como solvente de las emulsiones se utiliza agua y no derivados del petróleo, lo cual no ocasiona emisión de gases.
- Menor consumo de energía, dado que se requiere un leve calentamiento de las emulsiones para la fabricación de los diferentes productos.
- Es menos susceptible al envejecimiento prematuro del material, ya que no requieren ser calentadas a altas temperaturas, por lo tanto no se presentarán algunos factores del envejecimiento como la volatilización y separación que se dan en la tecnología en caliente y que se explicarán más adelante.
- Tiene buen desempeño ante diferentes tipos de pétreos.
- Permite almacenamiento por tiempo prolongado.
- Su manejo es sencillo y seguro, dado que tiene baja viscosidad a temperatura ambiente.
- La infraestructura que se requiere para fabricar los productos es más sencilla, ya que la mezcla con los pétreos se realiza a temperatura ambiente.
- Permite un nivel de humedad en los agregados.
- Tiene una gran adhesión con cualquier agregado, por lo tanto permite el uso de materiales locales.

Según Lopez (2012) se establece que: Aunque son mínimas, las emulsiones asfálticas también presentan desventajas, las cuales se muestran a continuación:

- Requieren un mayor tiempo de fraguado.
- El manejo del producto requiere cuidado, debido a la química de los productos que la conforman.

2.3.1. Componentes de las emulsiones asfálticas

Una emulsión asfáltica consiste de tres ingredientes básicos: Asfalto, agua y un emulsificante. En algunas ocasiones, la emulsión puede contener otros aditivos, como

estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia, o un agente de control de rotura, los aspectos más importantes, así como las características y/o especificaciones que debe cumplir. (Cornejo, 2014).

2.3.2. Clasificación de las emulsiones asfálticas

Lopez (2012) explica que las emulsiones asfálticas que se vienen usando en la industria desde principios del siglo XX para la fabricación de distintas mezclas, riegos y tratamientos superficiales, se clasifican teniendo en cuenta dos aspectos:

2.3.2.1. Según su carga eléctrica

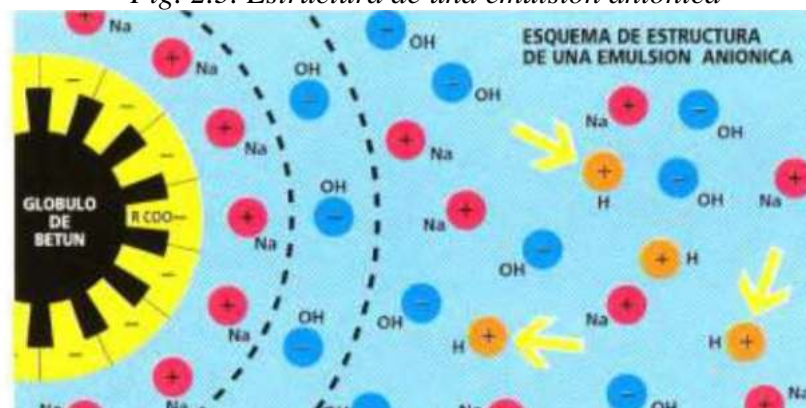
El elemento emulsificante proporciona la carga eléctrica a la superficie de las partículas de asfalto, que hace que éstas se mantengan separadas. Tabla 2.1, Fig. 2.3 y Fig. 2.4.

Tabla 2.1. Tipo de emulsión según el tipo de emulgente.

Emulsión según el tipo de emulgente	Polaridad de las partículas
Aniónica	Negativa
Catiónica	Positiva

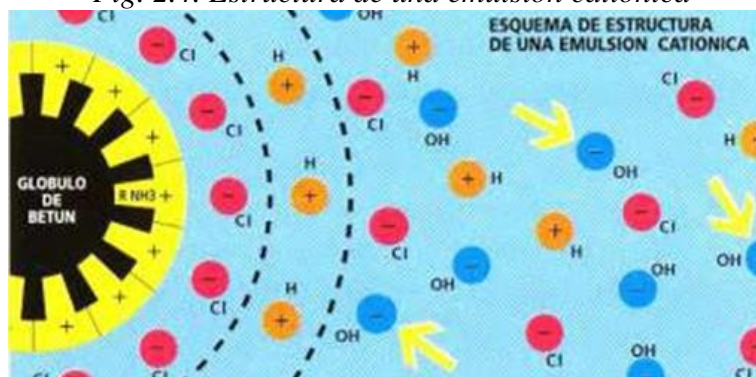
Fuente: Estado de la práctica de las mezclas asfálticas en frío para capas estructurales usando materiales nuevos. Lopez, (2012)

Fig. 2.3. Estructura de una emulsión aniónica



Fuente: Adaptado de Estado de la práctica de las mezclas asfálticas en frío para capas estructurales usando materiales nuevos (p.18), por C. Lopez, 2012, Universidad de Los Andes.

Fig. 2.4. Estructura de una emulsión catiónica



Fuente: Adaptado de *Estado de la práctica de las mezclas asfálticas en frío para capas estructurales usando materiales nuevos* (p.19), por C. Lopez, 2012, Universidad de Los Andes.

Las emulsiones preparadas con surfactantes catiónicos presentan varias características importantes: son estables, rompen al contacto con la superficie, fijándose allí la fase orgánica dispersada, y la película formada se adhiere fuertemente a la superficie y es relativamente insensible al agua. Por estas razones, este tipo de surfactante es el más utilizado para carreteras, por sus propiedades que mejoran la adhesión del asfalto sobre las rocas, y de adaptarse a cualquier material rocoso. Los surfactantes aniónicos utilizados son sulfonatos de lignina o casi todos los tipos conocidos de derivados del petróleo: naftenatos, sulfonatos, cresilatos y sales de sodio de ácidos grasos. Dentro de éstos, los más importantes suelen ser los naftenatos de sodio. Las moléculas de estos jabones, de fórmula general $R-COO-Na$ (o $RSO_3 - Na^+$) se ionizan en agua, para dar lugar a un cierto número de cationes Na^+ (o de K^+) e igual número de aniones $R-COO^-$; así, variando la intensidad del carácter lipofílico y la densidad de carga negativa, se puede obtener una amplia gama de productos emulsificantes de distinto HLB, capaz de producir la emulsión con las características adecuadas de velocidad de rotura en presencia del material al cual se debe agregar la emulsión. Los sulfonatos de lignina que se obtienen en la industria de la pulpa y papel, como sales amoniacaes de sodio o de calcio, pueden ser utilizados en la preparación de emulsiones de sedimentación lenta. Se menciona el uso de licores de desecho (sulfitos) en el reacondicionamiento de superficies de rutas asfaltadas. Entre otros emulsificantes del tipo aniónico se tienen: jabones de cortes de petróleo, residuos de la destilación de ácidos grasos, residuos de la

refinación de aceites de semillas, etc. Los surfactantes no-iónicos no producen iones en solución acuosa, lo cual se debe a la presencia de grupos hidrofílicos del tipo alcohol, fenol, éter o amida, y por tanto son compatibles con cualquier otro tipo. Como consecuencia de que no existe una interacción iónica entre el emulsificante y el material pétreo, su utilización puede ocasionar una pobre adhesión entre el asfalto emulsificado y el mineral, a menos que el emulsificante se utilice en un medio ácido o básico. Los surfactantes anfóteros presentan dos grupos funcionales, uno aniónico y el otro catiónico; en la mayoría de los casos, es el pH que determina el carácter dominante, favoreciendo una u otra de las posibles disociaciones. Debido al carácter dual de este tipo de emulsificantes, resultan ser excelentes emulsificadores del asfalto. Este tipo de emulsificante es compatible con los otros surfactantes; sin embargo, presenta la desventaja de que su costo es bastante elevado. (Mercado, Bracho & Avendaño, 2008).

2.3.2.2. Según la velocidad de rompimiento de la emulsión

La rotura es la separación irreversible del asfalto y del agua de la emulsión, la cual se da de manera diferente en las emulsiones aniónicas y catiónicas.

En las emulsiones aniónicas los factores que influyen en la ruptura de la emulsión son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material aplicado. En las catiónicas se produce por la absorción de la parte polar del emulgente por los agregados, provocando la ruptura de la emulsión y haciendo que las partículas se adhieran inmediatamente a las partículas del agregado, aun en presencia de humedad. (Lopez, 2012).

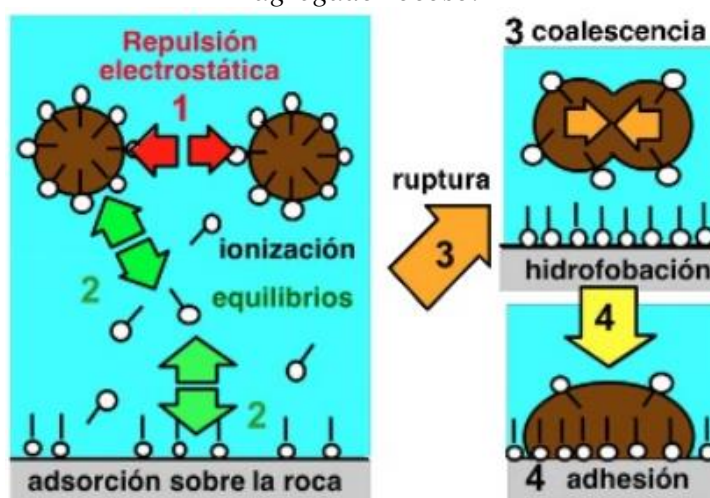
Con respecto a la nomenclatura para la identificación de las emulsiones, se utiliza el prefijo C en las emulsiones de tipo catiónicas, por ejemplo CSS y CRS representan emulsiones catiónicas de sedimentación lenta y rápida, respectivamente. Cuando no aparece la letra C se asume que la emulsión es del tipo aniónica o no-iónica. Este sistema también incluye la clasificación de la emulsión de acuerdo al grado de viscosidad que posea. De esta manera, se utilizan los sufijos 1 y 2 para designar a emulsiones cuyas viscosidades Saybolt Furol, a 122 °F, se encuentran en los rangos 20-100 y 100-400 s, respectivamente. (Mercado, Bracho & Avendaño, 2008).

Tabla 2.2. Tipo de emulsión según la velocidad de rompimiento.

Según velocidad de rompimiento	Características
Rápido (R)	Reacciona rápidamente con el agregado para revertir a la condición de cemento asfáltico. Tienen alta viscosidad.
Medio (M)	Se emplean con granulometrías graduadas. Pueden mantenerse trabajables por lapsos de minutos a meses.
Lento (L)	Se emplean en granulometrías cerradas, con alto contenido de finos. Tienen largos períodos de trabajabilidad. Tienen baja viscosidad.

Fuente: Estado de la práctica de las mezclas asfálticas en frío para capas estructurales usando materiales nuevos. Lopez, (2012).

Fig. 2.5. Mecanismo de coalescencia de una emulsión asfáltica al contactar un agregado rocoso.



Fuente: Adaptado de *Emulsiones asfálticas-Usos-Rompimiento* (p.33), por R. Mercado, C. Bracho, J. Avendaño, 2008, Universidad de Los Andes.

2.3.3. Aplicación de las emulsiones

Las emulsiones asfálticas tienen diferentes usos dentro del campo de pavimentos. En la tabla 2.3, se muestra de manera general los principales propósitos que tienen los diferentes usos de las mezclas elaborados con emulsiones.

Tabla 2.3. Propósitos principales de mezclas con emulsiones asfálticas.

Propósito	Definición
Ayuda constructiva	Proveer plataforma de trabajo.
Mejoramiento del comportamiento de agregados marginales	Mejorar el agregado para tener la calidad de una buena base estabilizada.
Superficie de rodadura temporal	Proveer una superficie que proteja de agentes climáticos la superficie de la estructura, hasta la instalación de la mezcla definitiva.
Reducir espesor total del pavimento	Incrementar la resistencia de los materiales, con lo cual se puede reducir la estructura de pavimento planteada con materiales sin tratar.
Mezclas abiertas para rodadura de bases	Producir una mezcla de alta calidad para tráfico muy intenso. Las cuales cuentan con buena flexibilidad y resistencia a la deformación permanente.
Superficie de rodadura con granulometría cerrada	Producir mezclas para carpetas estables que no sufran ahuellamiento ni desplazamientos.
Sub-base en estructura de pavimento	Permitir el uso de agregados de menos calidad para la elaboración de sub-bases estables. Se suele usar arenas, arenas limosas y arenas y gravas de pobre granulometría.
Mezclas de mantenimiento de uso inmediato para acopio	Proveer mezclas de bacheo diseñadas para el uso inmediato o almacenamiento a largo plazo.

Fuente: Estado de la práctica de las mezclas asfálticas en frío para capas estructurales usando materiales nuevos. Lopez, (2012).

2.3.4. Factores que afectan la rotura y el curado

En el blog de estudiante de ingeniería, 2015, cita: Según Villalaz (2010) los principales factores que afectan la rotura y el curado de una emulsión asfáltica son:

- Un agregado poroso acelera el tiempo de rotura al absorber el agua de la emulsión.
- Puesto que los agregados húmedos facilitan el recubrimiento, tienden a ser lentos en el proceso de curado al incrementar el tiempo necesario para la evaporación.
- La temperatura, humedad y velocidad del aire tienen influencia a la velocidad de evaporación del agua.

- Las temperaturas altas pueden formar piel en tratamientos superficiales, atrapando el agua y retardando el curado.
- La presión de rodillos compactadores y el tráfico a velocidad baja desalojan agua de la mezcla para lograr cohesión, curado y estabilidad.
- Uso de agregados sucios, en exceso acelera la rotura de la emulsión.
- La rotura demora cuando las temperaturas de la emulsión y del agregado son bajas.

2.4. Electrostática

Es la parte de la electricidad que comprende el estudio de las cargas eléctricas en reposo, los campos eléctricos asociados, las interacciones eléctricas y su característica energética.

En seguida recordemos que todo cuerpo sustancial está formado por partículas, cada partícula a su vez está formada por moléculas y cada molécula la forman infinidad de átomos, ahora recordemos los puntos más importantes de la teoría atómica de la materia. (Goñi, 1998).

2.4.1. Definición de carga eléctrica

La carga eléctrica es una propiedad física propia de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante fuerzas de atracción y repulsión entre ellas. La materia cargada eléctricamente es influida por los campos electromagnéticos, siendo a su vez, generadora de ellos.

En física, se llama carga eléctrica a una propiedad de la materia que está presente en las partículas subatómicas y se evidencia por fuerzas de atracción o de repulsión entre ellas, a través de campos electromagnéticos.

La materia compuesta por átomos es eléctricamente neutra, es decir, no está cargada a menos que algún factor externo la cargue. Los átomos poseen la misma cantidad de partículas con carga eléctrica negativa (electrones) que de partículas con carga eléctrica positiva (protones).

Sin embargo, la materia puede cargarse eléctricamente, es decir, puede ganar o perder carga, y así quedar cargada en forma negativa o positiva. La materia cargada genera

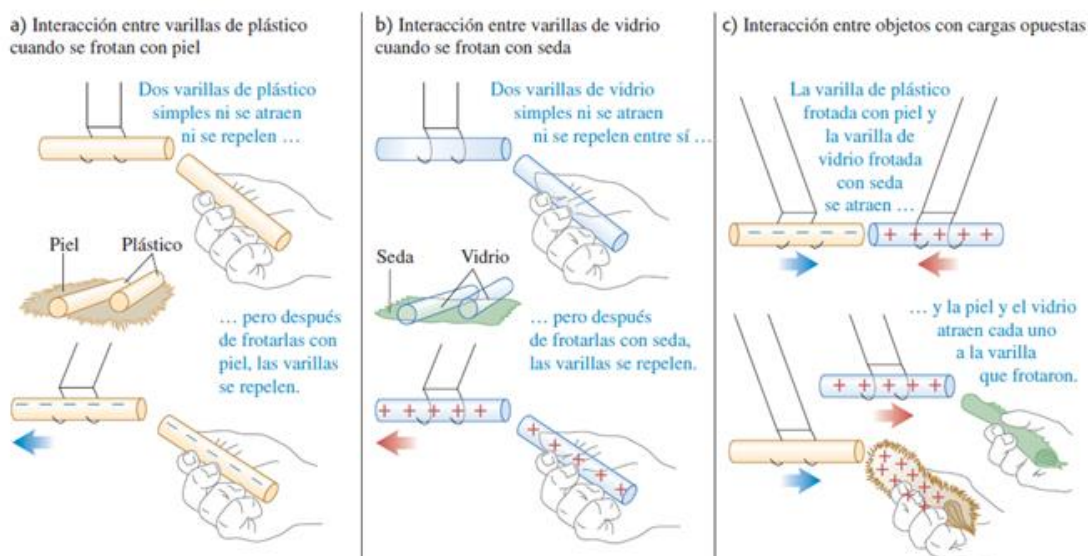
un campo eléctrico, un campo de fuerzas eléctricas. La fuerza electromagnética es una de las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza.

Las cargas eléctricas no pueden crearse ni destruirse. La cantidad de carga eléctrica en el universo es constante, no cambia con el tiempo.

Las cargas eléctricas interactúan entre sí de acuerdo a su tipo: pueden ser positivas o negativas, como las llamó Benjamín Franklin. La positiva se denota con el signo + y la negativa con el signo -, convencionalmente. Las cargas eléctricas de signos iguales se repelen. Las cargas eléctricas de signos opuestos se atraen. (Coluccio 2021).

Fig. 2.6. Experimentos de electrostática.

Experimentos de electrostática. a) Los objetos cargados negativamente se repelen entre sí. b) Los objetos cargados positivamente se repelen entre sí. c) Los objetos con carga positiva se atraen con los objetos que tienen carga negativa.



Fuente: Adaptado de Física Universitaria con física moderna (p.710), por Y. Sears y F. Zemansky, 2009, Pearson Educación, México.

2.4.2. Carga eléctrica en los agregados

Los agregados al tener masa y volumen se constituyen en materia.

La materia está constituida por unas partículas elementales llamadas átomos.

Dentro de cada átomo es posible distinguir dos zonas. La zona central llamada núcleo, concentra unas partículas subatómicas que tienen carga eléctrica positiva llamadas protones y otras partículas neutras, desde el punto de vista de la carga eléctrica, llamadas neutrones.

Rodeando al núcleo se localiza la corteza. En esta zona se mueven los electrones, que son partículas con carga eléctrica negativa, girando en orbitales que envuelven al núcleo. Los responsables de todos los fenómenos eléctricos son los electrones, porque pueden escapar de la órbita del átomo y son mucho más ligeros que las otras partículas.

En general, los materiales son neutros; es decir, el material contiene el mismo número de cargas negativas (electrones) y positivas (protones). Sin embargo, en ciertas ocasiones los electrones pueden moverse de un material a otro originando cuerpos con cargas positivas (con defecto de electrones) y cuerpos con carga negativa (con exceso de electrones), pudiendo actuar sobre otros cuerpos que también están cargados. Por tanto, para adquirir carga eléctrica, es decir, para electrizarse, los cuerpos tienen que ganar o perder electrones. (Torrez, 2014).

2.4.3. Carga eléctrica y la estructura de la materia

Cuando se carga una varilla frotándola con piel o con seda, no hay ningún cambio visible en la apariencia de la varilla. Entonces, ¿qué es lo que realmente sucede a la varilla cuando se carga? Para responder esta pregunta, debemos analizar más de cerca la estructura y las propiedades eléctricas de los átomos, que son los bloques que constituyen la materia ordinaria de todas clases.

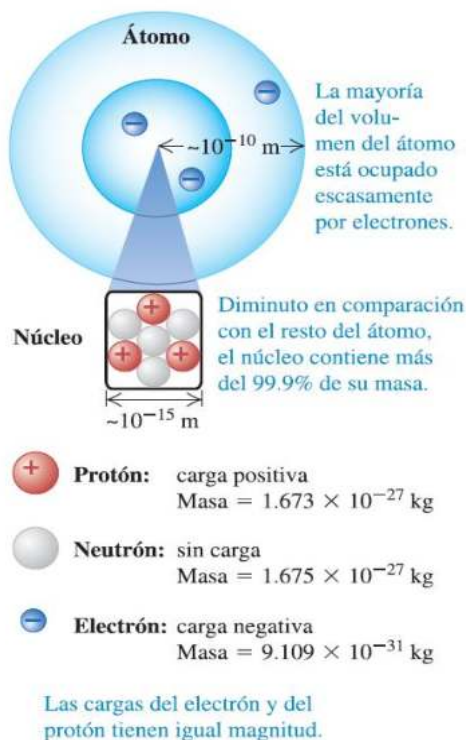
La estructura de los átomos se describe en términos de tres partículas: el electrón, con carga negativa; el protón, cuya carga es positiva; y el neutrón, sin carga.

El protón y el neutrón son combinaciones de otras entidades llamadas quarks, que tienen cargas de $\pm 1/3$ y $\pm 2/3$ de la carga del electrón. No se han observado quarks aislados, y no hay razones teóricas para suponer que en principio esto sea imposible.

Los protones y los neutrones en un átomo forman el núcleo, pequeño y muy denso, cuyas dimensiones son del orden de 10^{-15} m. Los electrones rodean al núcleo a distancias del orden de 10^{-10} m. Si un átomo midiera algunos kilómetros de diámetro, su núcleo tendría el tamaño de una pelota de tenis. Los electrones cargados negativamente se mantienen dentro del átomo gracias a fuerzas eléctricas de atracción que se extienden hasta ellos desde el núcleo con carga positiva. (Los protones y los neutrones permanecen dentro del núcleo estable de los átomos, debido al efecto de atracción de la fuerza

nuclear fuerte, que vence la repulsión eléctrica entre los protones. La fuerza nuclear fuerte es de corto alcance, por lo que sus efectos no llegan más allá del núcleo).

Fig. 2.7. Estructura de un átomo.



Fuente: Adaptado de *Física Universitaria con física moderna* (p.711), por Y. Sears y F. Zemansky, 2009, Pearson Educación, México.

La masa de las partículas individuales, con la precisión que se conoce actualmente, son:

$$\text{Masa del electrón} = m_e = 9,1093826 (16) \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{Masa del protón} = m_p = 1,67262171 (29) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Masa del neutrón} = m_n = 1,67262171 (29) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Los números entre paréntesis de la figura 2.8, son las incertidumbres en los dos últimos dígitos. Observe que las masas del protón y del neutrón son casi iguales y aproximadamente 2000 veces la masa del electrón. Más del 99,9% de la masa de cualquier átomo se concentra en el núcleo.

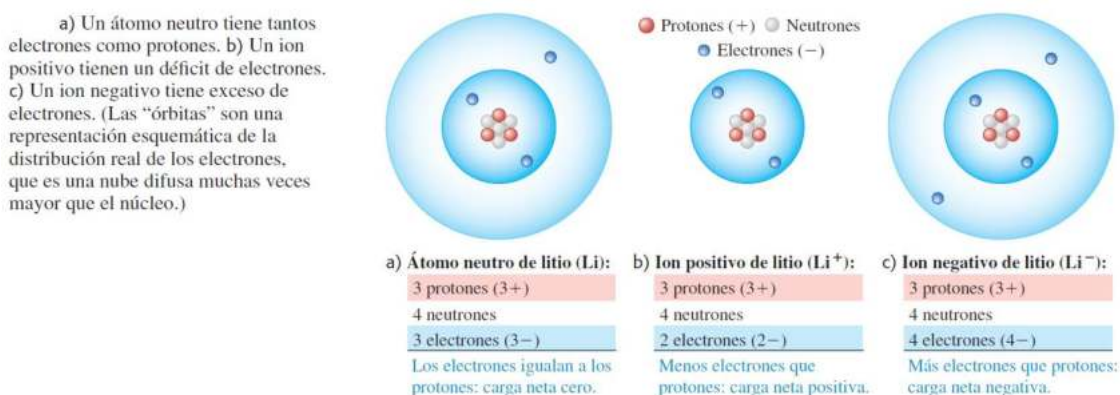
La carga negativa del electrón tiene (dentro del error experimental) exactamente la misma magnitud que la carga positiva del protón. En un átomo neutral, el número de electrones es igual al número de protones en el núcleo; en tanto que la carga eléctrica neta (la suma algebraica de todas las cargas) es exactamente igual a cero Fig. 2.8. a)

El número de protones o electrones en un átomo neutro de un elemento se denomina número atómico del tal elemento. Si se pierden uno o más electrones, la estructura con carga positiva que queda se llama ion positivo Fig. 2.8. b).

Un átomo negativo es aquel que ha ganado uno o más electrones Fig. 2.8. c).

Tal ganancia o pérdida de electrones recibe el nombre de ionización.

Fig. 2.8. *Electrones, protones y neutrones.*



Fuente: Adaptado de *Física Universitaria con física moderna* (p.712), por Y. Sears y F. Zemansky, 2009, Pearson Educación, México.

Cuando el número total de protones en un cuerpo macroscópico es igual al número total de electrones, la carga total es igual a cero y el cuerpo en su totalidad es eléctricamente neutro. Para dar a un cuerpo una carga excedente negativa, se puede tanto sumar cargas negativas como eliminar cargas positivas de dicho cuerpo. En forma similar, un exceso de carga positiva se crea cuando se agregan cargas positivas, o cuando se eliminan cargas negativas. En la mayoría de casos, se agregan o se eliminan electrones con carga negativa (y muy móviles); un "cuerpo cargado positivamente" es aquel que ha perdido algunos de su complemento normal de electrones.

Cuando hablamos de la carga de un cuerpo, siempre nos referimos a su carga neta, la cual siempre es una fracción muy pequeña (comúnmente no mayor de 10^{-12}) de la carga total positiva o negativa en el cuerpo.

La cantidad de carga depende de la naturaleza de los materiales (de su separación en la serie triboeléctrica), y del área de la superficie que entra en contacto. Otro de los factores que intervienen es el estado de las superficies, si son lisas o rugosas (entonces, la superficie de contacto es pequeña). La humedad o impurezas que contengan las

superficies proporcionan un camino para que se recombinen las cargas. La presencia de impurezas en el aire tiene el mismo efecto que la humedad. (Sears, Zemansky, 2009).

2.4.4. La carga está cuantificada y se conserva

El estudio de un fenómeno físico sugiere la elección de un modelo en el cual se apoyen las teorías desarrolladas y se comprueben mediante la experimentación. Adoptaremos entonces el modelo de átomo que ya conocemos: un núcleo central constituido por una cierta cantidad de protones y neutrones y un conjunto de electrones que se encuentran en orbitales exteriores al núcleo.

Los electrones poseen una masa muy pequeña y una carga eléctrica que, debido a la elección que fue hecha por Franklin hace más de 250 años, se les asigna un valor negativo y por otro lado los protones, con una masa 1840 veces mayor, que tienen un valor de carga eléctrica igual (al del electrón) pero de signo positivo. Un átomo estable tiene igual número de protones que de electrones y su carga neta es cero.

La cantidad de carga eléctrica que posee un electrón es la mínima posible y se la denomina carga elemental. Debido a esto las partículas (conjunto de electrones y/o protones) pueden tener una cantidad de carga total igual a un múltiplo entero de la carga elemental según cuantos electrones y/o protones lo compongan. Es por eso que se dice que la carga eléctrica está cuantizada y por este motivo la carga eléctrica total de cualquier partícula será siempre un múltiplo entero de la carga del electrón.

Por otra parte la carga eléctrica es una propiedad intrínseca del protón o del electrón, y no es posible quitarle la carga eléctrica a ninguno de ellos y dejar solo la masa, esto hace además que la carga eléctrica se conserve. Cuando se transfiere carga eléctrica de un cuerpo a otro lo que se hace es trasladar protones o electrones con su carga. Por eso a los protones o electrones se los llama portadores de carga eléctrica. Por ejemplo si tenemos un trozo de vidrio y un paño de lana ambos en equilibrio eléctrico (igual número de electrones que protones) y se frota el vidrio con el paño durante un tiempo breve hay una transferencia de electrones del vidrio al paño, y como el signo asignado a los electrones es negativo la carga neta del paño es negativa y la del vidrio positiva por el defecto de electrones ocurrido por el frotamiento. Este fenómeno sucede porque en el vidrio los

electrones de los orbitales exteriores se pueden extraer con poco esfuerzo. Hay otros materiales con estructura atómica distinta en los que es más difícil extraer electrones.

Cuando se tiene un cuerpo cargado eléctricamente por exceso o por defecto de electrones y se encuentran con átomos a los que le faltan electrones o le sobran electrones que en general no están ligados a ningún átomo, ésta es una situación de desequilibrio por la que los cuerpos expulsan con relativa facilidad los electrones que le “sobran” y atraen de los alrededores los que les “faltan”.

Este proceso de atracción o rechazo de electrones se realiza por medio de fuerzas (llamada fuerza eléctrica) que son muy importantes y que en algunos casos cuando no encuentra electrones “libres” se produce la atracción de los electrones ligados a otro cuerpo. (Vettorel, Tabares & Oliva, s.f.).

2.4.5. Materiales eléctricos

Una clasificación de los materiales en términos de su capacidad para conducir o transferir carga eléctrica. Así se distinguen los conductores: aquellos que permiten que la carga eléctrica se mueva con gran libertad, de los aisladores: aquellos donde la carga eléctrica se mueve con mucha dificultad, y los semiconductores: aquellos donde su capacidad de conducir carga es intermedia entre los dos primeros dependiendo fuertemente de las condiciones en las que éste se halle. Esta propiedad eléctrica que presenta la materia dependerá de la estructura atómica que posean dichos materiales.

En los conductores los electrones de valencia de los átomos (aquellos que se encuentran ubicados en sus orbitales externos o último nivel de energía) están débilmente ligados pudiendo librarse de los átomos y movilizarse por el conductor. Los conductores por excelencia son los metales como por ejemplo el cobre, la plata, el hierro, entre otros.

Los metales tienen la característica de que los electrones de nivel superior de sus átomos están ligados al resto del átomo con fuerzas extremadamente débiles; tan débiles que las vibraciones hacen que algunos de estos electrones exteriores pasen de un átomo a otro al azar, no permaneciendo establemente en un mismo átomo. En las redes metálicas la proximidad de los núcleos atómicos es tal que el nivel de energía más externo de cada átomo es tan próximo al de los vecinos, que los electrones más externos no pertenecen establemente a cada átomo. Es lógico que la temperatura es un factor importante que

puede influir en estos materiales, ya que al aumentar la temperatura podría incrementarse en gran medida la agitación térmica de los portadores impidiendo que estos sigan una trayectoria definida.

Los aislantes o dieléctricos también tienen estructuras cristalinas o amorfas como los metales; pero el enlace entre sus átomos es de otra naturaleza, de manera que las distancias intermoleculares son mayores que en los metales y los electrones de la capa externa de estas estructuras se encuentran ligados a sus respectivos núcleos por fuerzas importantes, en consecuencia, no se mueven libremente dentro de la materia.

Los semiconductores tienen el mismo tipo de estructura que los aislantes pero los electrones de la capa externa en estos materiales se encuentran ligados a fuerzas intermedias (es decir no tan débiles como en un conductor, ni tan fuertes como en un aislador). Esto hace que se comporte como aisladores o conductores según sean ciertas condiciones externas, que aumentan o disminuyan, respectivamente, la magnitud de las fuerzas antes mencionadas, como por ejemplo: temperatura, luz o bien campos eléctricos aplicados. Estas propiedades en el comportamiento de un semiconductor han permitido su uso en dispositivos electrónicos. El silicio y el germanio son los ejemplos más conocidos de semiconductores.

Es simple explicar estas propiedades que presentan los materiales desde la teoría de bandas. Existen, según esta teoría, tres tipos de bandas electrónicas: una llamada banda de valencia, una banda prohibida y una banda llamada de conducción.

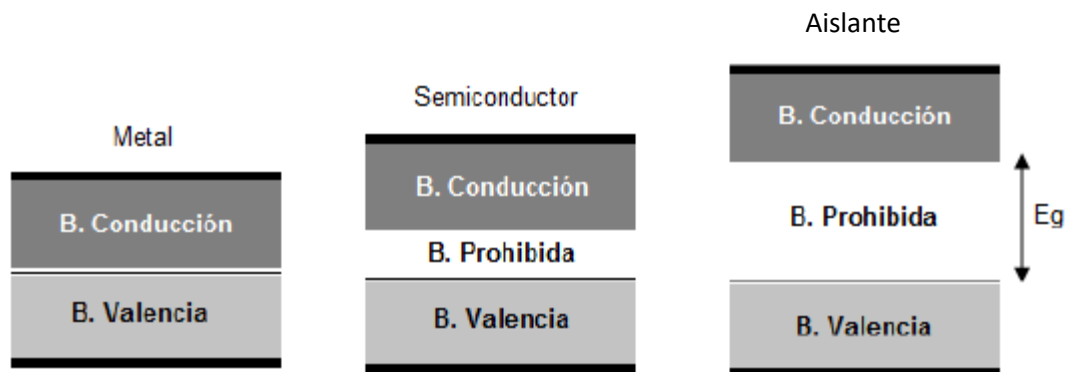
La primera está representada por el nivel energético más alto que alcanza un material en ausencia de excitación externa (incluyendo los fenómenos térmicos). En esta banda se mueven los electrones de valencia, que son los que forman los enlaces entre los átomos, pero no intervienen en la conducción eléctrica.

La tercera banda está ocupada por los electrones libres, es decir, aquellos que se han desligado de sus átomos y pueden moverse libremente en el material y cuando los electrones se encuentran en esta banda pueden transportar carga eléctrica.

La ubicación de estas dos bandas dependerá del material en estudio.

Un electrón puede pertenecer a la banda de valencia o a la banda de conducción, pero para poder migrar desde una a la otra, debe atravesar la llamada banda prohibida, en la que no pueden existir electrones. (Vettorel, Tabares & Oliva, s.f.).

Fig. 2.9. Teoría de las bandas de los materiales.



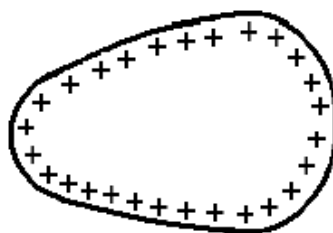
Fuente: Adaptado de *Electrostática* (p.5), por S. Vettorel, I. Tabares & A. Oliva, s.f., Instituto Politécnico Universidad Nacional de Rosario.

2.4.6. Carga y descarga de los cuerpos

El comportamiento de los cuerpos frente a las cargas eléctricas varía si se trata de conductores o dieléctricos. En el caso de los conductores imaginemos que a un cuerpo metálico se le agregan algunos electrones, como estos por una parte se repelen entre sí, recordemos que cargas de igual signo se rechazan, y por otra parte tienen movilidad, se van a distribuir por el cuerpo tratando de alejarse y separarse lo más posible unos de otros. Como consecuencia de ello después de un tiempo muy breve las cargas estarán distribuidas sobre la superficie del cuerpo.

No ocurre lo mismo con los dieléctricos, cuando se le incorporan cargas a uno de ellos, necesariamente quedan en el lugar donde se les aplicó.

Fig. 2.10. Cuerpo conductor cargado con cargas positivas. Como estas se rechazan se distribuyen en la periferia.

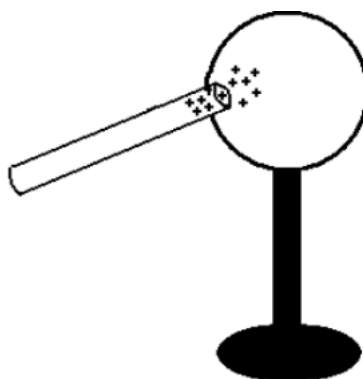


Fuente: Adaptado de *Electrostática* (p.6), por S. Vettorel, I. Tabares & A. Oliva, s.f., Instituto Politécnico Universidad Nacional de Rosario.

Pero aún hay más, si un operador de laboratorio frota una barra metálica y la acerca a la esfera no conductora de un péndulo, no se observa ninguna atracción. La barra metálica se cargó con el frotamiento, pero como es conductora, las cargas producidas van a tierra a través del cuerpo del operador que la sostiene. Si el metal está sostenido con un mango aislador, las cargas no pueden irse y la barra queda electrizada pero tampoco es observable la atracción ya que en la mayoría de los cuerpos metálicos las cargas que pueden transferirse por frotamiento son muy pocas para que se puedan apreciar sus efectos luego que se distribuyen.

En los aisladores ocurre lo contrario, si se frota una zona de una barra de material aislante, las cargas producidas permanecen en esa zona, el ejemplo clásico, es lo que ocurre cuando se frota una regla de plástico. (Vettorel, Tabares & Oliva, s.f.).

Fig. 2.11. Dieléctrico con cargas. Las mismas quedan en el lugar donde se las aplicó.



Fuente: Adaptado de Electrostática (p.6), por S. Vettorel, I. Tabares & A. Oliva, s.f., Instituto Politécnico Universidad Nacional de Rosario.

2.4.7. Conexión a tierra

Cuando un conductor cargado se conecta a tierra por medio de un alambre o tubo de conducción las cargas se redistribuyen entre el conductor y todo el planeta Tierra, esto hace que sobre el conductor que tenemos en el laboratorio queden muy pocas cargas, a los efectos prácticos el cuerpo se ha descargado. Nuevamente, las cargas no desaparecieron, se distribuyeron sobre todo el planeta por lo que su efecto no es apreciable. La tierra puede considerarse entonces un sumidero infinito al cual los electrones pueden migrar fácilmente. Del mismo modo, si un cuerpo está cargado

positivamente, la tierra le provee todos los electrones necesarios para que restablezca el equilibrio sin que se vea afectada. Con esto en mente, podemos entender como cargar un conductor por medio de un proceso conocido como inducción. (Vettorel, Tabares & Oliva, s.f.).

2.4.8. Formas de electrización

Cuando un cuerpo cargado eléctricamente se pone en contacto con otro inicialmente neutro, puede transmitirle sus propiedades eléctricas. Este tipo de electrización denominada por contacto se caracteriza porque es permanente y se produce tras un reparto de carga eléctrica que se efectúa en una proporción que depende de la geometría de los cuerpos y de su composición. Existe, no obstante, la posibilidad de electrizar un cuerpo neutro mediante otro cargado sin ponerlo en contacto con él. Se trata, en este caso, de una electrización a distancia o por inducción o influencia. Si el cuerpo cargado lo está positivamente la parte del cuerpo neutro más próximo se cargará con electricidad negativa y la opuesta con electricidad positiva. La formación de estas dos regiones o polos de características eléctricas opuestas hace que a la electrización por influencia se la denomine también polarización eléctrica. A diferencia de la anterior este tipo de electrización es transitoria y dura mientras el cuerpo cargado se mantenga suficientemente próximo al neutro. Finalmente, un cuerpo puede ser electrizado por frotamiento con otro cuerpo, como apreció Tales de Mileto en el siglo sexto antes de Cristo. (Electrotecnia, s.f.).

2.4.8.1. Electrización por frotamiento

La electrización por frotamiento se explica del siguiente modo. Por efecto de la fricción, los electrones externos de los átomos del paño de lana son liberados y cedidos a la barra de ámbar, con lo cual ésta queda cargada negativamente y aquél positivamente. En términos análogos puede explicarse la electrización del vidrio por la seda. En cualquiera de estos fenómenos se pierden o se ganan electrones, pero el número de electrones cedidos por uno de los cuerpos en contacto es igual al número de electrones aceptado por el otro, de ahí que en conjunto no hay producción ni destrucción de carga eléctrica. Esta es la explicación, desde la teoría atómica, del principio de conservación de la carga

eléctrica formulado por Franklin con anterioridad a dicha teoría sobre la base de observaciones sencillas. (Electrotecnia, s.f.).

2.4.8.2. Electrización por contacto

La electrización por contacto es considerada como la consecuencia de un flujo de cargas negativas de un cuerpo a otro. Si el cuerpo cargado es positivo es porque sus correspondientes átomos poseen un defecto de electrones, que se verá en parte compensado por la aportación del cuerpo neutro cuando ambos entran en contacto. El resultado final es que el cuerpo cargado se hace menos positivo y el neutro adquiere carga eléctrica positiva. Aun cuando en realidad se hayan transferido electrones del cuerpo neutro al cargado positivamente, todo sucede como si el segundo hubiese cedido parte de su carga positiva al primero. En el caso de que el cuerpo cargado inicialmente sea negativo, la transferencia de carga negativa de uno a otro corresponde, en este caso, a una cesión de electrones. (Electrotecnia, s.f.).

2.4.8.3. Electrización por inducción

La electrización por influencia o inducción es un efecto de las fuerzas eléctricas. Debido a que éstas se ejercen a distancia, un cuerpo cargado positivamente en las proximidades de otro neutro atraerá hacia sí a las cargas negativas, con lo que la región próxima queda cargada negativamente. Si el cuerpo cargado es negativo entonces el efecto de repulsión sobre los electrones atómicos convertirá esa zona en positiva. En ambos casos, la separación de cargas inducida por las fuerzas eléctricas es transitoria y desaparece cuando el agente responsable se aleja suficientemente del cuerpo neutro. (Electrotecnia, s.f.).

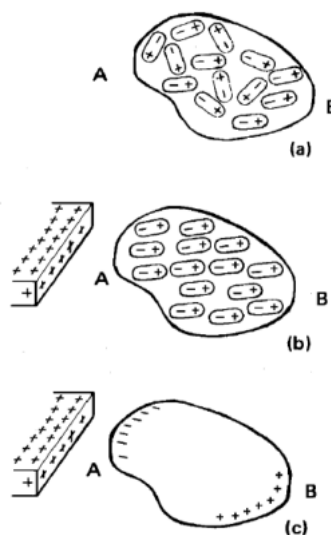
2.4.9. Polarización

En el caso de los dieléctricos el fenómeno es diferente, en cada átomo los electrones están fuertemente ligados al núcleo, en consecuencia, en condiciones normales el centro de carga positiva coincide con el centro de carga negativa, en presencia de un objeto cargado, esos centros pueden desplazarse ligeramente, lo que produce más carga positiva

en un lado del átomo o de la molécula que del otro. Este efecto es conocido como polarización.

En algunos materiales ocurre que las moléculas que la integran no son simétricas, la del agua es un ejemplo, por tal motivo tienen polarización permanente. Esta polarización no es apreciable en condiciones normales porque las moléculas están orientadas al azar, pero en presencia de un objeto cargado las moléculas se orientan y el efecto final que se aprecie es una acumulación de cargas de un signo en una cara del cuerpo y del signo opuesto en la otra cara lo que produce una carga inducida sobre la superficie del aislador, como se muestra en la figura 2.12. Como los electrones siguen vinculados al núcleo en todos estos casos el conectar un extremo a tierra no produce ningún efecto. Esta configuración se mantiene mientras no se aleje la barra cargada ya que cuando esto ocurre las moléculas vuelven a orientarse al azar y el sistema retoma su situación inicial. (Vettorel, Tabares & Oliva, s.f.).

Fig. 2.12. Material dieléctrico constituido por moléculas polares orientadas al azar. (a) Cuando se aproxima una barra cargada las moléculas tienen una pequeña reorientación (b), en esas condiciones los extremos del signo material quedan cargados con cargas de distinto. Cuando se aleja la barra el sistema retoma la configuración original.



Fuente: Adaptado de Electrostática (p.8), por S. Vettorel, I. Tabares & A. Oliva, s.f., Instituto Politécnico Universidad Nacional de Rosario.

2.4.10. Ley de Coulomb

En 1785, Charles Coulomb (1736-1806) estableció la ley fundamental que establece la fuerza eléctrica de interacción entre dos partículas cargadas en reposo.

Experimentalmente encontró que la fuerza eléctrica tiene las siguientes propiedades:

- La fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la separación entre las dos partículas, denotado con la letra r , y está dirigida a lo largo de la línea que las une.
- La fuerza es proporcional al producto de las cargas q_1 y q_2 de las partículas.
- La fuerza atrae las partículas si las cargas son de signo opuesto y las rechaza si las cargas tienen el mismo signo.

A partir de estas observaciones, Coulomb pudo expresar la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales como:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Donde k es una constante conocida como constante de Coulomb o constante eléctrica del vacío, cuyo valor depende de las unidades elegidas y del medio en el que se encuentran sumergidas las cargas. Además, usaremos el término carga puntual para referirnos a una partícula de tamaño despreciable que posee carga eléctrica.

En el Sistema Internacional la unidad correspondiente a la carga eléctrica es el coulomb (C) es decir:

$$[q] = C \text{ (Coulomb)}$$

Adoptando el Sistema Internacional para la representación de esta nueva magnitud la constante eléctrica del vacío tiene un valor de:

$$k = 8.98 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

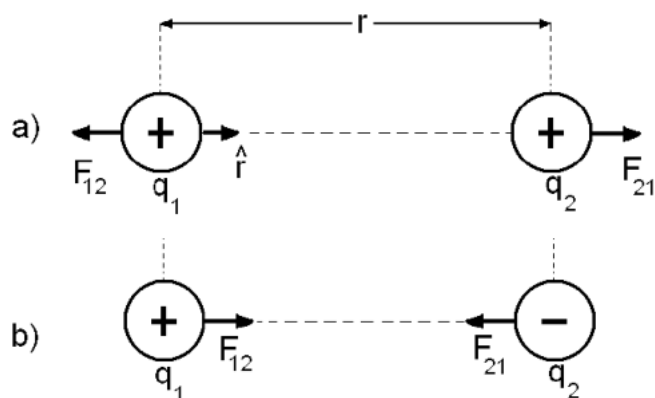
Cuyo valor se puede aproximar para la resolución de problemas en

$$k = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

Suele escribirse la constante k , por razones prácticas de ordenamiento de unidades y por su relación con otros tipos de leyes (como la Ley de Gauss), como:

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}$$

Fig. 2.13. Fuerzas de interacción para el caso de cargas de igual y de distinto signo.



Fuente: Adaptado de *Electrostática* (p.11), por S. Vettorel, I. Tabares & A. Oliva, s.f., Instituto Politécnico Universidad Nacional de Rosario.

Puesto que la Ley de Coulomb obedece a la tercera Ley de Newton o principio de acción y reacción, la fuerza eléctrica ejercida sobre \$q_1\$ por \$q_2\$ es igual en magnitud a la fuerza ejercida sobre \$q_2\$ por \$q_1\$ y en la dirección opuesta, es decir:

$$\overline{F_{12}} = -\overline{F_{21}}$$

Por último, de acuerdo con la ecuación anterior, vemos que si \$q_1\$ y \$q_2\$ tienen el mismo signo, el producto \$q_1 \cdot q_2\$ es positivo y la fuerza es repulsiva, como se ve en la figura 2.13 a). Si \$q_1\$ y \$q_2\$ son de signo opuesto, como en la figura 2.13 b), el producto \$q_1 \cdot q_2\$ es negativo y la fuerza es atractiva. (Vettorel, Tabares & Oliva, s.f.).

2.4.11. Determinación de cargas eléctricas: El electroscopio

Un electroscopio es un dispositivo utilizado para detectar la existencia de cargas eléctricas en objetos cercanos. También indica el signo de la carga eléctrica; es decir, si se trata de una carga negativa o positiva. Este instrumento está conformado por una vara metálica confinada dentro de una botella de vidrio.

Esta vara posee dos láminas metálicas muy delgadas (oro o aluminio) conectadas en su parte más baja. A su vez, esta estructura está sellada con una tapa de material aislante, y en el extremo superior tiene una pequeña esfera denominada “colector”.

Al acercarse un objeto cargado eléctricamente a un electroscopio, pueden presenciarse dos tipos de reacciones por parte de las laminillas metálicas que se encuentran en el extremo inferior de la configuración: si las laminillas se separan entre sí quiere decir que el objeto tiene la misma carga eléctrica que el electroscopio.

En cambio, si las laminillas se juntan es indicativo de que el objeto tiene una carga eléctrica opuesta a la carga del electroscopio. La clave está en cargar el electroscopio con una carga eléctrica de signo conocido; así, por descarte será factible deducir el signo de la carga eléctrica del objeto que acerquemos al dispositivo.

Los electroscopios son sumamente útiles para determinar si un cuerpo está cargado eléctricamente, además de dar indicios sobre el signo de la carga y la intensidad de la misma.

Existen diversos aparatos capaces de detectar la carga eléctrica de los cuerpos. El electroscopio es un instrumento para detectar la presencia y magnitud de carga eléctrica de un cuerpo. El primer electroscopio fue inventado precisamente por William Gilbert y consistía de una aguja de metal, la cual podía girar libremente con un eje en su centro (tal como lo hace una aguja de una brújula). Los actuales electroscopios consisten de un soporte vertical de metal conductor sobre el cual se apoya una hoja de metal conductor la cual puede pivotar sobre un eje horizontal colocado en el centro. Al frotar una de las varillas sobre el paño, ésta se cargará eléctricamente debido al efecto triboeléctrico, con una cantidad de carga cuyo signo dependerá del material de la varilla y del paño, utilizados. (Torres, 2018).

2.4.11.1. ¿Cómo funciona?

Un electroscopio es un dispositivo empleado para detectar la electricidad estática en objetos cercanos, haciendo uso del fenómeno de separación de sus laminillas internas debido a la repulsión electrostática.

La electricidad estática puede estar acumulada en la superficie externa de cualquier cuerpo, bien sea por carga natural o por frotamiento.

El electroscopio está diseñado para detectar la presencia de este tipo de cargas, debido a la transferencia de electrones de superficies muy cargadas a superficies menos cargadas eléctricamente. Además, dependiendo de la reacción de las laminillas, también pudiese proporcionar una idea de la magnitud de la carga electrostática del objeto aledaño.

La esfera localizada en la parte superior del electroscopio funciona como un ente receptor de la carga eléctrica del objeto de estudio.

Al acercar un cuerpo cargado eléctricamente al electroscopio, este adquirirá la misma carga eléctrica del cuerpo; es decir, si acercamos un objeto cargado eléctricamente con signo positivo, el electroscopio adquirirá la misma carga.

Si el electroscopio se carga previamente con una carga eléctrica conocida, sucederá lo siguiente:

- Si el cuerpo tiene la misma carga, las laminillas metálicas que se encuentran en el interior del electroscopio se separarán entre sí, ya que ambas se repelerán.
- En contraposición, si el objeto tiene carga opuesta las laminillas metálicas en el fondo de la botella se mantendrán unidas entre sí.

Las laminillas en el interior del electroscopio deben ser muy ligeras, para que el peso de las mismas se equilibre con la acción de las fuerzas de repulsión electrostática. Así, al alejar el objeto de estudio del electroscopio, las laminillas perderán la polarización y volverán a su estado natural (cerradas). (Torres, 2018).

2.4.11.2. ¿Para qué sirve?

Los electroscopios son utilizados para determinar si un cuerpo está cargado eléctricamente, y distinguir si posee carga negativa o carga positiva. Actualmente los electroscopios son utilizados en el ámbito experimental, para ejemplificar con su uso la detección de cargas electrostáticas en cuerpos cargados eléctricamente.

Algunas de las funciones más destacadas de los electroscopios son las siguientes:

- Detección de cargas eléctricas en objetos cercanos. Si el electroscopio reacciona al acercamiento de un cuerpo, es porque este último se encuentra cargado eléctricamente.

- Discriminación del tipo de carga eléctrica que poseen los cuerpos cargados eléctricamente, al evaluar la apertura o cierre de las laminillas metálicas del electroscopio, dependiendo de la carga eléctrica inicial del electroscopio.
- El electroscopio también se utiliza para medir la radiación del ambiente en caso de que exista material radioactivo alrededor, debido al mismo principio de inducción electrostática.
- Este dispositivo también puede emplearse para medir la cantidad de iones que están presentes en el aire, al evaluar la velocidad de carga y descarga del electroscopio dentro de un campo eléctrico controlado. (Torres, 2018).

2.4.11.3. ¿Cómo se carga eléctricamente?

El hecho de cargar al electroscopio eléctricamente es necesario para poder determinar la naturaleza de la carga eléctrica del objeto que acercaremos al dispositivo. Si no se conoce la carga del electroscopio con anticipación, será imposible determinar si la carga del objeto es igual u opuesta a dicha carga.

Antes de cargar el electroscopio, este debe encontrarse en estado neutro; es decir, con igual número de protones y electrones en su interior. Por esto se sugiere conectar el electroscopio a tierra antes de realizar la carga, para asegurar la neutralidad de la carga del dispositivo.

La descarga del electroscopio puede realizarse tocándolo con un objeto metálico, para que este último drene hacia tierra la carga eléctrica existente dentro del electroscopio.

Se distinguen dos modalidades para cargar a un electroscopio antes de ponerlo a prueba. (Torres, 2018).

Según Verbel (2013), a continuación se detallan los aspectos más relevantes de cada una de estas.

Por contacto:

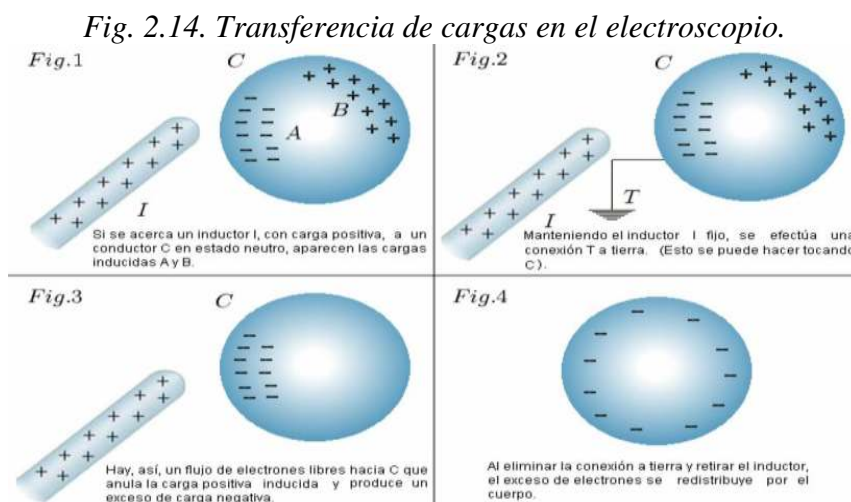
- Cargado negativamente, al ser tocado por un objeto cargado negativamente, por ejemplo una varilla de plástico frotada con un paño de seda.

No podemos cargar el electroscopio con carga positiva por contacto.

Por inducción:

- Cargado negativamente, cuando se acerca sin tocar un cuerpo cargado con carga contraria, por ejemplo una varilla de vidrio frotada con un paño de lana (carga positiva). El electroscopio al no tener carga, se encuentra en estado neutro es decir tiene igual número de electrones y protones. Se deberá conectar a tierra el electroscopio o en su defecto tocar con un dedo el aparato para que nuestro cuerpo sirva de puente para transferir a tierra las partículas que no necesitas, en este caso los protones (+). De este modo el electroscopio quedará cargado negativamente.
- Cargado positivamente, cuando se acerca sin tocar un cuerpo cargado con carga negativa, Parte de las cargas de dicho cuerpo cargado pasan al electroscopio y, como la distribución de carga espacial no es la misma, éste queda cargado en mayor cantidad con el mismo signo, lo que hace que se repelen, luego el electroscopio queda cargado positivamente.

El fenómeno de la separación de las cargas que se origina en un conductor neutro en presencia de un conductor cargado, recibe el nombre de: inducción electrostática. Frotar alternativamente las varillas de vidrio y plástico con el paño y acercarlas a la bola del electroscopio. Observamos en ambos casos que la varilla del electroscopio se desplaza. Este hecho se debe a que al acercar un objeto cargado al electroscopio, se produce una inducción de carga en el mismo. Esa inducción da lugar a una polarización: el extremo donde está la bola se carga de manera opuesta al extremo en el que está la varilla móvil.



Fuente: *Electrostática*. (s.p.). Recuperado de <https://www.famaf.unc.edu.ar/~anoardo/P1.pdf>

La repulsión electrostática hace que dicha varilla móvil gire formando un cierto ángulo, mayor cuanto mayor sea la carga. La demostración anterior pone de manifiesto la carga de las varillas frotadas, pero no distingue entre la carga de una y de la otra. Para distinguir entre cargas positivas y negativas, hay que cargar el electroscopio. Esto se puede hacer utilizando una conexión a tierra. Para ello acercaremos una de las varillas frotadas, por ejemplo, la de vidrio cargada positivamente. De esta manera la bola del electroscopio se carga con exceso de carga negativa (electrones) y el extremo de la varilla móvil con exceso de carga positiva. Manteniendo la varilla cargada cerca de la bola, tocaremos ésta con el dedo. Esto permite una “conexión a tierra” a través de nuestro cuerpo, que permite el paso de electrones que neutralizan el exceso de carga positiva en el extremo inferior del electroscopio. Esto hace que el electroscopio se quede cargado, en este caso, negativamente (sería con carga positiva si repitiéramos el proceso utilizando la varilla de plástico frotada), y por lo tanto la varilla móvil queda de manera permanente formando un ángulo con la vertical. Si ahora acercamos la varilla de vidrio frotada, el ángulo se reduce (ya que se atraen cargas negativas hacia la bola), mientras que si acercamos la varilla de plástico frotada, el ángulo aumenta (ya que hay más cargas negativas que se van hacia el extremo inferior). (Martínez, s.f.).

2.4.12. Carga triboeléctrica

Carga por contacto que involucra el intercambio de electrones. Prácticamente todos los materiales son triboeléctricos. Por ejemplo, en la mayoría de las situaciones, las personas se cargan por roce con la ropa, con los materiales que manipula y/o por contacto con objetos cargados. La carga neta de un cuerpo está asociada con un potencial electrostático respecto de tierra a través de la capacidad que este tiene de acumular carga (capacidad del cuerpo). La humedad del ambiente colabora para descargar los cuerpos cargados triboeléctricamente. (Triboelectricidad, s.f.).

2.4.12.1. Efecto triboeléctrico

El efecto triboeléctrico es un fenómeno en el cual la mayoría de los materiales tienen la tendencia de entregar electrones y quedar cargados positivamente (+) o atraerlos y quedar cargados negativamente (-) cuando son golpeados o frotados con otro material.

Aunque dependiendo de la combinación de materiales, un mismo material puede quedar cargado positiva o negativamente. La polaridad y magnitud de dicha carga difieren según el material. El efecto triboeléctrico es estudiado por primera vez por el griego Tales de Mileto (624 AC – 546 AC), a quien se lo considera como el primer filósofo de la historia de la filosofía occidental. Tales observó que al frotar un trozo de ámbar (resina vegetal fósil) con piel o con lana se obtenían pequeñas cantidades de cargas eléctricas que atraían pequeños objetos. Más tarde, gracias a trabajos realizados por el físico y médico inglés William Gilbert (1544 - 1603) surge el término electricidad para referirse a este fenómeno, que proviene de la palabra griega *élektron* que significa precisamente ámbar. En la siguiente tabla se enumeran algunos materiales que tienen la tendencia de entregar electrones, quedando cargados positivamente y otros que tienen la tendencia de absorber electrones, quedando cargados negativamente. En la columna mostrada, los primeros entregan electrones con más facilidad que los del abajo. Los elementos del final absorben electrones con más facilidad que los primeros.

Materiales que entregan electrones (Ganan carga positiva)

Materiales que absorben electrones (Ganan carga negativa). (Electrostática, s.f.).

2.4.12.2. Serie triboeléctrica

La serie triboeléctrica es una tabla que permite determinar cómo se carga un material cuando entra en contacto con otro de la tabla (propiedades de carga de materiales por fricción): Si dos materiales de la tabla se ponen en contacto, el más alto en la serie cederá electrones al otro, cargándose positivamente (mientras que el otro material adquirirá una carga negativa). Cuanto más separados se hallen los materiales mayor es la transferencia de carga, y por lo tanto, se genera una diferencia de potencial mayor. Se observa que el cuerpo humano es uno de los materiales más tribo-positivo de la serie. (Triboelectricidad, s.f.)

Tabla 2.4. Serie triboeléctrica

+ Mayor carga positiva
Aire
Piel humana
Cuero
Piel de conejo
Vidrio

Cuarzo
Mica
Pelo humano
Nylon
Lana
Plomo
Piel de gato
Seda
Aluminio
Papel (pequeña carga positiva)
Algodón (sin carga)
0
Acero (sin carga)
Madera (pequeña carga negativa)
Polimetilmetacrilato
Ámbar
Lacre
Acrílico
Poliestireno
Globo de goma
Resinas
Goma dura
Níquel, Cobre
Azufre
Bronce, Plata
Oro, Platino
Acetato, Rayón
Goma sintética
Poliéster
Espuma de poliestireno
Orlón
Papel film para embalar
Poliuretano
Polietileno (cinta Scotch)
Polipropileno
Vinilo (PVC)
Silicio
Teflón
Goma de Silicona
Ebonita
– Mayor carga negativa

Fuente: Triboelectricidad (s.f.,s.p.)

2.4.13. Potencial Zeta o potencial electrocinético

El potencial Zeta es un concepto relativamente nuevo para su uso en emulsiones asfálticas, sin embargo, el concepto de potencial zeta ha sido una herramienta de la ciencia desde 1879. Fue entonces cuando Hermann Ludwig Von Helmholtz sistematizó el potencial zeta y sentó las bases para comprender la estabilidad en sistemas coloides.

El potencial zeta está determinado por el movimiento de las partículas coloidales en un campo eléctrico, y esta movilidad electroforética se puede medir con un instrumento llamado Zeta Meter.

Existe una diferencia en el potencial eléctrico entre la superficie de una partícula coloidal dispersa y la solución acuosa a granel. Esta diferencia neta de potencial eléctrico se llama potencial zeta.

La existencia de potencial zeta es provocada por la adsorción de iones en una superficie coloidal de partículas que en este caso es asfalto. Las partículas de asfalto asumen el carácter general de los iones adsorbentes. Existe una doble capa de iones y contraiones en solución que rodea cada partícula de asfalto disperso. El grado de atracción y la cantidad de contraiones depende de la concentración, pH e intensidad iónica del emulsionante utilizado.

Esta doble capa es lo que finalmente afecta la capacidad de las partículas de asfalto cargadas y también la estabilidad del sistema de emulsión. Cuanto mayor sea la doble capa, mayor será el potencial zeta y por lo tanto, más rápido se moverá la partícula cargada en un campo eléctrico. En la mayoría de los casos, un gran potencial zeta indica grandes fuerzas repulsivas entre las partículas individuales en una emulsión y buena estabilidad. El potencial zeta impartido a la gota de asfalto por la presencia del emulsionante es, por tanto, uno de los factores importantes que ayudan a mantener las partículas de asfalto uniformemente dispersos.

El pH de la solución afecta la capacidad de las partículas coloidales para adsorber iones que afecta directamente a la doble capa y, por tanto, al potencial zeta.

La concentración del emulsionante también tiene un efecto directo sobre la doble capa. Como la concentración del emulsionante aumenta, la doble capa se comprime y el potencial zeta se reduce.

Dado que casi todos los agregados minerales naturales utilizados en la construcción de carreteras poseen una carga superficial negativa existe una relación parcialmente predictiva entre el Potencial Zeta de agregados, su área superficial y el potencial Zeta de los tensioactivos catiónicos. Dado que los tensioactivos aniónicos poseen una carga negativa, al igual que la mayoría de los agregados, y los tensioactivos no iónicos no poseen carga, ambos depositan asfalto en la superficie del agregado principalmente a través de evaporación y absorción de la fase acuosa continua de la emulsión. Cuando es suficiente, el agua se ha agotado de la capa de emulsión, se alcanza una condición inestable donde el asfalto no puede permanecer en suspensión y se desprende y se fusiona en la superficie del agregado.

El asfalto catiónicamente emulsionado, por el contrario, comienza a depositarse en la superficie de un agregado en el momento del contacto. La influencia de la carga superficial negativa del agregado y su superficie hace que el asfalto emulsionado catiónicamente sea adsorbido por el agregado por efecto catódico. Esta afinidad de un agregado por los cationes es más fuerte que su afinidad para el agua, por lo tanto, el agua se desplaza, las películas de asfalto se depositan de esta manera, ya sea de forma continua o discontinuas, son muy difíciles de eliminar por la acción del agua posterior. En efecto, el tensioactivo catiónico proporciona una acción anti-stripping similar a la obtenida con anti-stripping soluble en aceite, agentes en cemento asfáltico y recortes.

La relación entre el Potencial Zeta de emulsión catiónica y el Potencial Zeta del agregado y el área de superficie agregada en una mezcla de emulsión-agregado, puede expresarse en una forma simplificada de la siguiente manera:

- A medida que disminuye el Zeta catiónico, el Zeta agregado puede aumentar y viceversa.
- A medida que disminuye el Zeta catiónico, el área de superficie agregada puede aumentar y viceversa.

Otros factores agregados que influyen en la química de las emulsiones asfálticas catiónicas son:

- La carga de superficie agregada (Zeta) aumenta a medida que aumenta el área de superficie agregada.

- Las superficies de agregados recién cortados (triturados) requieren un período de envejecimiento para alcanzar su equilibrio de carga superficial original. (Dybaiski, 1976).

2.4.14. El electrómetro

El electrómetro funciona por el principio de la fuerza electrostática, esta es una de las cuatro fuerzas fundamentales que actúa atrayendo o repeliendo (dependiendo sus signos), cuerpos con cargas eléctricas. Estas interacciones son denominadas fenómenos magnéticos. Los primeros electrómetros ya prácticamente no se usan pero describen bien su principio.

Los electrómetros son cajas que poseen un electrodo aislado que soporta una lámina de oro; la cual se moverá sobre una escala graduada, al entrar en contacto con un elemento cargado, indicando la carga del mismo. Si los electroscopios eran más bien indicadores, los electrómetros son efectivamente medidores de cargas eléctricas.

Los electrómetros modernos funcionan con circuitos integrados, que son pequeñas estructuras semiconductoras y están construidos en totalidad en materiales sólidos. Los electrómetros pueden medir corrientes ínfimas llegando al femtoampere, base de unidad eléctrica. Hay electrómetros que para realizar las mediciones emplean amplificadores operacionales. (Materiales de laboratorio, s.f.).

2.4.14.1. ¿Para qué sirve el electrómetro?

El electrómetro es un instrumento que mide la carga eléctrica, corriente eléctrica y diferencia potencial, pero ¿qué quiere decir esto? La carga eléctrica es la propiedad de atracción y repulsión entre partículas por medio de un campo electromagnético; la corriente eléctrica es el flujo de carga que recorre un cuerpo y la diferencia potencial es el impulso que hace fluir a la carga.

El electrómetro mide las cargas en los cuerpos inducidas indirectamente. Su estructura está conformada por un vaso de Faraday, para anular el efecto de los campos externos sobre el campo electromagnético interior, un condensador para almacenar la energía y un amplificador de tensión, todas partes interconectadas para medir las cargas eléctricas.

Hay varios instrumentos que miden corriente, como los multímetros; la diferencia fundamental del electrómetro es que mide tensiones extremadamente bajas. La unidad de la carga eléctrica es el Coulomb y la de la corriente el Ampere, al medir el electrómetro en femtoamperes, está midiendo miles de electrones por segundo que fluyen en la muestra. (Materiales de laboratorio, s.f.).

2.4.14.2. Usos del electrómetro

El electrómetro es un instrumento altamente especializado. Suele usarse en los campos de espectroscopia, que estudia la relación entre la radiación electromagnética y la materia; la aceleración de partículas, la tecnología de alto vacío, que requiere gas con una presión inferior a la atmosférica y en investigación atmosférica, por mencionar las que más lo utilizan.

Para darte un ejemplo del uso del electrómetro, si haces uso de un capacitor o condensador eléctrico, que sirve para el almacenamiento de cargas eléctricas, este además de tener una corriente de carga tiene una corriente de fuga por las imperfecciones del material aislante. Esta fuga es mínima pero necesaria de determinar y para ello se emplea el electrómetro.

De hecho si se piensa en el primer electrómetro, Theodor Wulf lo ideó para medir la producción de iones que, como átomos con cargas eléctricas derivadas de la pérdida o adquisición de electrones, son medibles por el instrumento. Uno de sus usos más comunes, inicialmente, era la de detección de radiación ionizante, aunque actualmente para ello se emplea el dosímetro. (Materiales de laboratorio, s.f.).

2.4.14.3. Características de un electrómetro

A pesar de las diferencias de diseños entre los tipos de electrómetros, todos basan su medición en la desviación dada por una carga, y a través de ello medir las diferencias potenciales. Las principales características del electrómetro son los electrodos de medición y el indicador de desviación. Aunque los modernos son más bien cajas completamente digitales. (Materiales de laboratorio, s.f.).

2.4.14.4. Importancia del electrómetro

Las corrientes menores a 20 mA no son medibles con instrumentos de medición de corriente como el multímetro. Esta clase de mediciones sólo pueden realizarse con el electrómetro que posee una resolución en femtoampere. Este tipo de mediciones son necesarias en las áreas donde se trabaja con gases ionizados o conducción eléctrica en elementos al vacío para poder llevar el control exacto de las cargas y diferencias potenciales que se emplean.

El mundo de la física es sumamente extenso y emplea una interrelación entre muchas áreas; para poder llevar el control de todos sus elementos a través del tiempo se han empleado diversos instrumentos que se van perfeccionando con el tiempo.

(Materiales de laboratorio, s.f.).

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE LA CARGA ELÉCTRICA EN LOS AGREGADOS

3.1. Aplicación de la electrostática

Para determinar la carga eléctrica y su polaridad de los agregados, se eligió una metodología de medición directa a través del empleo del electroscopio y el electrómetro.

- **Equipos y materiales**

Electroscopio.

Electrómetro.

Balanza.

Probeta.

3 globos de goma pequeños.

Transportador.

Hilo.

Agregados

3.1.1. Especificaciones de los equipos

Del laboratorio de física se obtienen los datos de especificaciones de los dos equipos empleados en el proyecto para determinar las propiedades electrostáticas de los agregados.

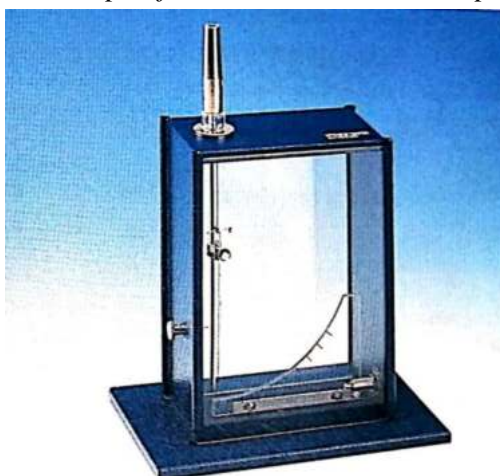
- **Electroscopio**

Fig. 3.1. Especificaciones del electroscopio.

Electroscopio, tipo Kolbe	07120.00
De alta sensibilidad, especialmente adecuado para experimentos de electricidad de fricción así como para su utilización en la cámara de ionización 07158.88 para indicar tensiones continuas y alternas. Indicador sobre cojinete de agujas, puede detenerse en la posición cero; carcasa metálica; lateral frontal y	trasero de vidrio para permitir la proyección; escala de cellon, cabezal de conexión con orificio longitudinal y transversal para clavija de 4 mm; enchufe de 4 mm para la conexión a tierra de la carcasa. Voltaje hasta aprox. 1500 V≈ Dimensiones (mm) 100x50x140

Fuente: Catálogo de equipos del Laboratorio de Física U.A.J.M.S.

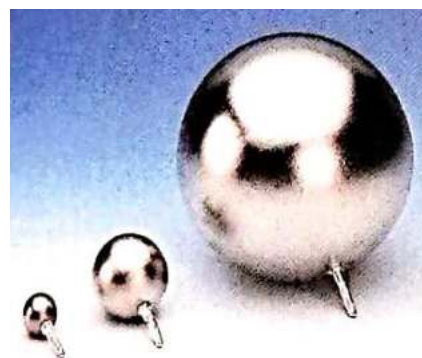
Fig. 3.2. Especificaciones del electroscopio (imagen).



Fuente: Catálogo de equipos del Laboratorio de Física U.A.J.M.S.

Fig. 3.3. Especificaciones de las esferas conductoras del electroscopio.

Esferas conductoras	
Para experimentos electrostáticos, p. ej. determinación de la capacidad de una esfera, para experimentos de inducción electrostática así como para experimentos relacionados con los hemisferios de Cavendish 062730.00. Esferas huecas, de latón revestidas de níquel con clavijas de 4 mm; pueden instalarse p. ej. sobre vástago aislante 06021.00.	
Esfera conductora, d= 20 mm	06236.00
Esfera conductora, d= 40 mm	06237.00
Esfera conductora, d= 120 mm	06238.00



Fuente: Catálogo de equipos del Laboratorio de Física U.A.J.M.S.

- **Electrómetro**

Fig. 3.4. Especificaciones del electrómetro (imagen).

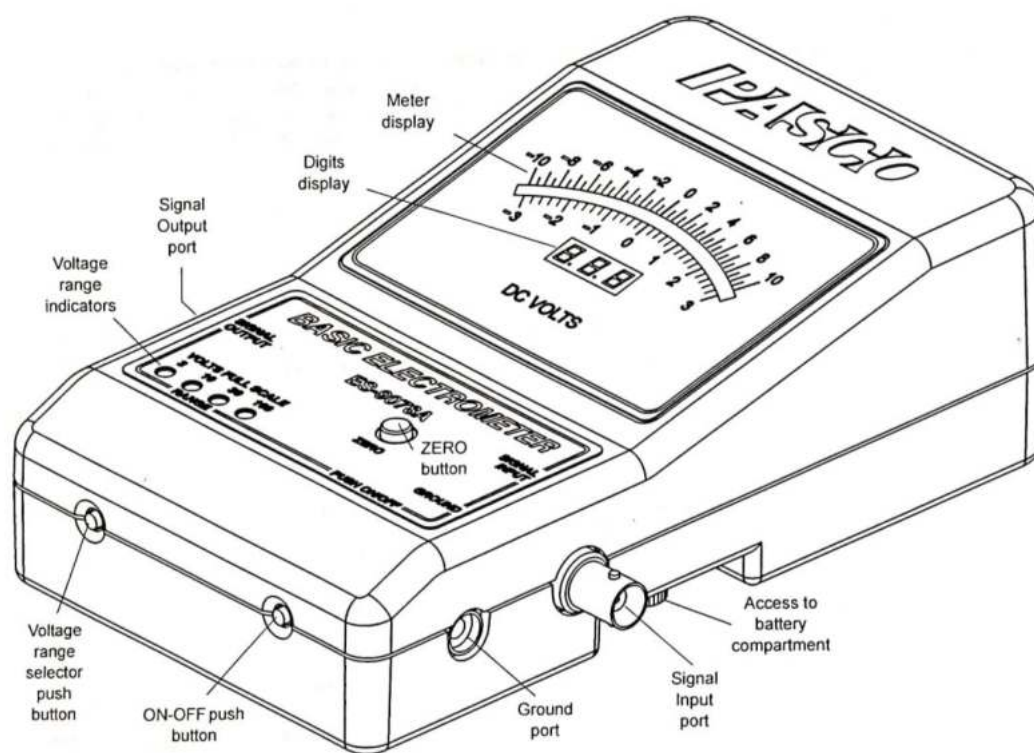
PASCO®

Instruction Manual
012-12856A



Basic Electrometer

ES-9078A



Artículos incluidos	Artículos incluidos
Electrómetro Básico	Latiguillo tipo banana*
Cable BNC a pinza de cocodrilo *	Pinza*
Cable de puesta a tierra*	Batería alcalina de celda AA (4) (no se muestra)
Cable de interfaz*	(*mostrar fuera de la página 2)

Fuente: Manual del electrómetro del Laboratorio de Física U.A.J.M.S.

Fig. 3.5. Especificaciones del electrómetro.

Especificaciones

Ítem	Valor
Rangos de entrada de voltaje	3, 10, 30, 100 voltios escala completa
Resistencia de entrada	Aproximadamente 10^{14} ohmios
Rango de salida de señal	-10 a +10 (mapas a ± 100 V)
Precisión de salida de señal	$\pm 1\%$
Baterías	Cuatro pilas "AA" (se recomiendan pilas alcalinas)
Duración de la batería	Aproximadamente 75 horas

Fuente: Manual del electrómetro del Laboratorio de Física U.A.J.M.S.

3.1.2. Calibración del electroscopio

Es importante la calibración del electroscopio dado que al tener graduaciones nos permite lecturar un valor de carga eléctrica y no simplemente la polaridad de la misma.

- **Procedimiento**

Se tienen tres globos inflados del mismo peso, se unen dos de estos globos con un hilo de 60 cm de distancia entre los mismos, de manera que quede un péndulo de 30 cm de longitud.

Se coloca el transportador en un soporte fijo que lo sostenga en el aire de tal forma que pueda colocarse el hilo en la parte central del transportador.

Se toma el par de globos unidos por el hilo y se coloca en el centro del transportador justo por la mitad del hilo de manera que queden colgando libremente ambos globos.

Se toma el tercer globo y se frota con cabello humano realizando 10 ciclos, para luego hacer contacto con los dos primeros en un tiempo igual al de los 10 ciclos realizados antes, para lograr una transferencia de carga uniforme, se aleja el tercer globo y se lectura el ángulo que forma el péndulo.

Con este procedimiento se puede obtener el valor de la carga eléctrica de cada globo.

Fig. 3.6. Toma de datos para la calibración del electroscopio.



Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo del valor de la carga eléctrica.**

Datos

Peso del globo inflado $m = 0,08 \text{ gr}$

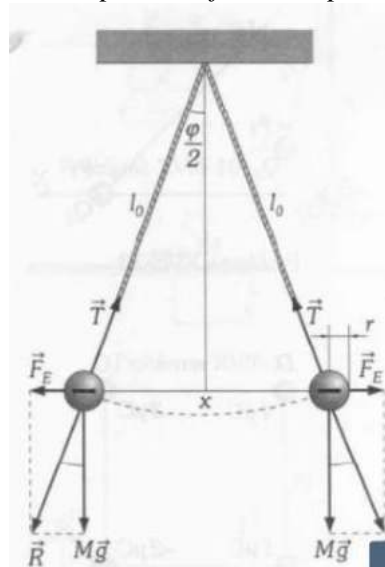
Longitud del péndulo $l_0 = 30 \text{ cm}$

Ángulo interno del péndulo $\varphi = 20^\circ$

Coefficiente de la ley de Coulomb $K = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$

Constante gravitacional $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Fig. 3.7. Diagrama del péndulo formado por dos globos.



Fuente: Recuperado de www.sc.ehu.es

La fuerza de separación de los globos se calcula por la Ley de Coulomb:

$$F = K * \frac{Q * q}{d^2}$$

La fuerza en función del peso W:

$$F = T = W * tg \frac{\varphi}{2}$$

El peso:

$$W = m * g$$

Fusionando las ecuaciones:

$$F = m * g * tg \frac{\varphi}{2}$$

Reemplazando datos:

$$F = \frac{0,08gr}{1000} * 9,81 \frac{m}{s^2} * tg 10^\circ = 0,0001383814145 \text{ N}$$

Como las cargas son iguales:

$$Q = q$$

Reemplazando en la primera ecuación:

$$0,0001383814145 \text{ N} = 9 * 10^9 \text{ N} * \frac{m^2}{C^2} * \frac{q^2}{x^2}$$

Despejando q^2 :

$$q^2 = 0,0001383814145 \text{ N} * \frac{x^2}{9 * 10^9 \text{ N} * \frac{m^2}{C^2}}$$

Calculando x:

$$\frac{x}{2} = l_0 * \sin \frac{\varphi}{2}$$

Despejando x:

$$x = 2 * l_0 * \sin \frac{\varphi}{2}$$

Reemplazando datos:

$$x = 2 * 0,30 \text{ m} * \sin \frac{20^\circ}{2} = 0,104189 \text{ m}$$

Finalmente determinado la carga:

$$q^2 = 0,0001383814145 \text{ N} * \frac{(0,104189 \text{ m})^2}{9 * 10^9 \text{ N} * \frac{m^2}{C^2}}$$

$$q = 1,291931531 * 10^{-8} C$$

$$q = 12,91931531 nC$$

Conociendo el valor de la carga eléctrica de cada globo se toma uno de ellos y se procede a frotar en cabello humano por un total de 10 ciclos para acercarlo al electroscopio y observar la graduación que alcanza.

En este caso alcanza la quinta línea por lo tanto se determina el valor de cada línea de graduación:

Fig. 3.8. Procedimiento de calibración del electroscopio.



Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Valor calibrado} = \frac{12,91931531 nC}{5}$$

$$\text{Valor calibrado} = 2,58386 nC$$

3.1.3. Determinación de la polaridad de los agregados

- **Polaridad de los agregados mediante el electroscopio**

Para determinar la polaridad de un agregado se procede a cargar el electroscopio con carga positiva; esto se logra cargándolo por inducción, para eso se elige un objeto de plástico, cuya carga es negativa.

Se realizan 10 ciclos de frotado del plástico con un pedazo de lana cuya carga es positiva y se acerca el plástico a la esfera del electroscopio sin tocarlo, manteniéndolo ahí, se toca la esfera con la mano por unos 5 a 10 segundos aproximadamente; debido a que la mano hace un efecto de tierra; el electroscopio queda cargado positivamente.

Con el electroscopio cargado positivamente se procede rápidamente a frotar el agregado con un pedazo de lana completando 10 ciclos para cada uno de ellos y se acerca al

electroscopio para observar la atracción o repulsión del mismo con el agregado ensayado.

Fig. 3.9. Procedimiento para cargar positivamente al electroscopio.



Fuente: Elaboración propia.

- **Polaridad de los agregados mediante el electrómetro**

Se emplea el electrómetro para determinar la polaridad de los agregados más pequeños ya que este instrumento nos da una lectura directa de la polaridad además del potencial “Z”, al simple contacto con la superficie de cada agregado. Es importante trabajar sobre una superficie de madera debido a que este material es aislante y no tiene ninguna influencia en las polaridades a determinar. Se debe conectar uno de los electrodos a un objeto metálico y mantenerlo lo más estático posible; el otro electrodo es el que será manipulado para hacer contacto con cada uno de los agregados.

Fig. 3.10. Procedimiento para determinar la polaridad con el electrómetro.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Determinación del valor de la carga eléctrica de los agregados

Teniendo ya calibrado el electroscopio, se realiza la lectura del valor de la carga eléctrica para cada uno de los agregados, repitiendo el procedimiento de 10 ciclos de frotado, en este caso se frota el agregado con un pedazo de lana, debido a que este último corresponde a los materiales de mayor carga positiva dentro de la serie triboeléctrica, para luego obtener la lectura del valor de la carga en el electroscopio.

Fig. 3.11. Determinación de la carga eléctrica del agregado.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Determinación del peso y volumen de los agregados.

Adicionalmente se toman los valores de peso y volumen de cada agregado para lograr tener una identidad más exacta de los agregados a través de sus propiedades físicas; para esto se pesa y registra cada valor.

El volumen se obtiene por desplazamiento de un líquido (agua), con el empleo de una probeta graduada en la que se lee el volumen que desaloja el agregado al ser introducido a un recipiente lleno de agua, en este caso debido a que se emplea una probeta pequeña, se utilizó adicionalmente un elemento que actúe como embudo para que el agua desplazada caiga directamente dentro de la probeta y de allí obtener la lectura del volumen del agregado.

Fig. 3.12. Obtención del peso de los agregados.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.13. Obtención del volumen de los agregados.



Fuente: Elaboración propia.

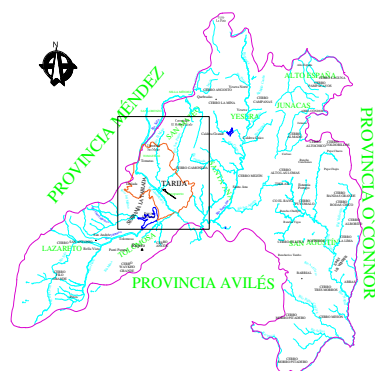
3.2. Estudio de los agregados en la zona central de Cercado

El estudio de los agregados de la zona central de Cercado involucra someter a cada uno de los agregados en cuestión a los procedimientos ya descritos en los acápite anteriores cuyos resultados serán presentados en tablas respectivamente identificadas.

3.2.1. Delimitación de la zona central de Cercado

En base a la mancha urbana de la ciudad de Tarija se delimita la zona central de Cercado.

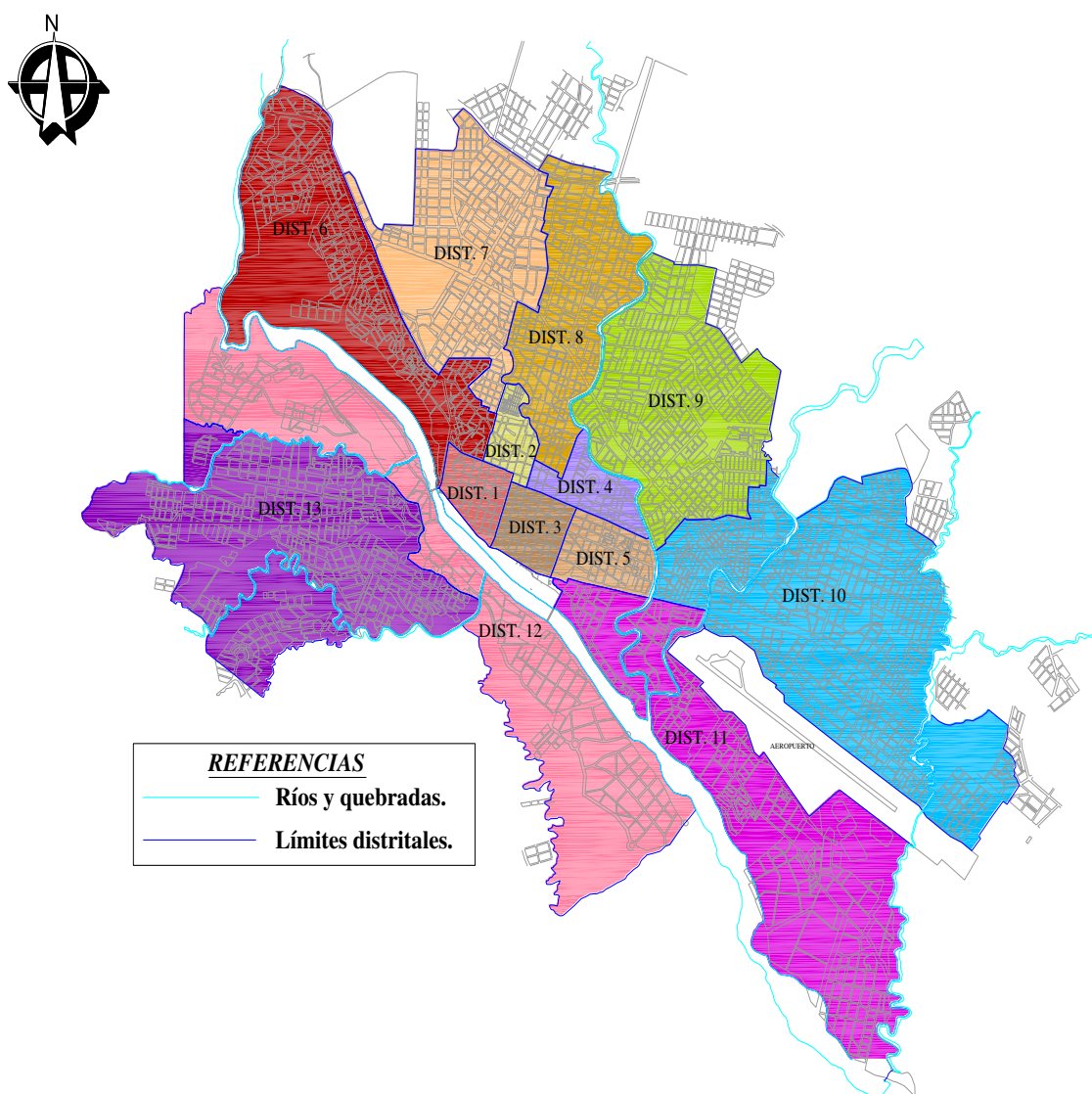
Fig. 3.14. Delimitación de la zona central de Cercado.



Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la zonificación de la zona delimitada se toma como referencia el plano de subdivisión por distritos de la ciudad de Tarija, realizando trece puntos de muestreo cada uno correspondiente a cada distrito.

Fig. 3.15. Distritos de la zona urbana de Cercado.



Fuente: <http://catastro-tarija.bo/mapas/otb>

Fig.3.16. Conjunto de agregados por distritos para zonificar la zona central de Cercado.



Fuente: Elaboración propia.

- **Distrito 1: El molino**

Fig. 3.17. Acopio de agregados en el distrito 1.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.18. Ubicación del punto de acopio en el distrito 1.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 1
Nombre	Puente San Martín
Latitud	21°31'58,7"S
Longitud	64°44'27,3"O

Tabla 3.1. Propiedades físicas de los agregados: Distrito1.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	35	14	2,584	-	-0,8
2	34	13	2,584	-	-0,1
3	69	30	5,168	-	-0,3
4	38	12	5,168	-	-0,1
5	118	48	28,422	-	-0,1
6	41	17	6,460	-	-0,7
7	43	18	5,168	-	-0,2
8	82	31	23,255	-	-0,4
9	43	21	12,919	-	-0,4
10	16	7	15,503	-	-0,5
11	56	18	15,503	-	-0,5
12	19	7	20,671	-	-0,2
13	78	34	23,255	-	-1,4
14	27	10	12,919	-	-1,5
15	19	10	5,168	-	-1,4
16	40	14	5,168	-	-1,4
17	75	32	20,671	-	-1,4
18	27	10	2,584	-	-1,4
19	18	7	5,168	-	-1,5
20	73	31	20,671	-	-1,5
21	66	26	18,087	-	-1,6
22	37	12	10,335	-	-1,7
23	40	34	12,919	-	-1,5
24	84	55	25,839	-	-1,5
25	13	5	5,168	-	-1,5
26	39	14	7,752	-	-1,6
27	31	11	5,168	-	-1,0
28	10	4,5	12,919	-	-1,8
29	13	5,5	12,919	-	-1,0
30	12	4	12,919	-	-0,7

31	8	3	1,292	-	-0,8
32	15	6	2,584	-	-0,7
33	12	6	5,168	-	-0,7
34	11	4,5	7,752	-	-1,5
35	8	3	7,752	-	-1,5
36	9	4	9,044	-	-1,6
37	9	3	2,584	-	-1,6
38	9	4	2,584	-	-1,6
39	64	26	18,087	-	-1,6
40	23	8	15,503	-	-1,4
41	27	9	10,335	-	-1,4
42	18	4	10,335	-	-1,4
43	31	14	12,919	-	-1,5
44	55	19	20,671	-	-1,8
45	41	15	15,503	-	-1,9
46	48	22	15,503	-	-0,8
47	47	16	15,503	-	-0,8
48	16	6	5,168	-	-0,9
49	41	16	10,335	-	-0,7
50	21	8	10,335	-	-0,7
51	29	11	7,752	-	-0,8
52	24	9	7,752	-	-0,9
53	29	10	7,752	-	-0,8
54	46	18,5	15,503	-	-0,8
55	28	12	6,460	-	-0,5
56	44	19	15,503	-	-0,6
57	26	70	7,752	-	-0,8
58	26	10	10,335	-	-0,7
59	25	9,5	12,919	-	-0,8
60	61	25	20,671	-	-1,5
61	17	7	5,168	-	-2,5
62	37	14	7,752	-	-2,0
63	17	7	5,168	-	-2,7
64	21	8	6,460	-	-2,4
65	16	4	5,168	-	-2,2
66	22	9	5,168	-	-2,1
67	12	5	7,752	-	-2,4
68	21	8	10,335	-	-2,5
69	14	6	5,168	-	-2,2
70	34	14	15,503	-	-0,2

71	40	15	12,919	-	-1,8
72	19	8	5,168	-	-1,9
73	14	5	7,752	-	-1,8
74	19	7	2,584	-	-1,8
75	12	5	5,168	-	-1,5
76	15	6	5,168	-	-1,9
77	7	3	1,292	-	-1,9
78	13	5	2,584	-	-1,9
79	11	4	3,876	-	-0,8
80	11	4,5	5,168	-	-0,8
81	7	3	1,292	-	-0,7
82	12	4	3,876	-	-0,7
83	12	4,5	2,584	-	-1,0
84	15	6	2,584	-	-0,8
85	6	2	1,292	-	-0,8
86	8	4	2,584	-	-0,8
87	7	3	1,292	-	-0,9
88	9	3,5	2,584	-	-0,7
89	5	2,5	2,584	-	-0,8
90	6	2	2,584	-	-0,8
91	8	3	2,584	-	-2,0
92	3	1	1,292	-	-2,5
93	6	1,5	2,584	-	-2,4
94	7	3	2,584	-	-2,2
95	10	4	5,168	-	-2,2
96	12	5	5,168	-	-2,2
97	13	5	5,168	-	-2,2
98	9	4	2,584	-	-2,1
99	7	2,5	2,584	-	-2,1
100	2	1	1,292	-	-2,1
101	11	4	2,584	-	-2,1
102	6	2	5,168	-	-2,1
103	11	4	5,168	-	-2,1
104	4	1	2,584	-	-2,5
105	5	2	1,292	-	-2,5
106	5	2	1,292	-	-2,5
107	8	3	1,292	-	-2,9
108	7	3	2,584	-	-2,5
109	7	3	2,584	-	-2,1
110	11	4	2,584	-	-0,9

111	7	3	2,584	-	-0,9
112	17	7	5,168	-	-0,9
113	8	3	2,584	-	-0,8
114	6	2,5	2,584	-	-0,7
115	9	3,5	3,876	-	-0,8
116	10	5	3,876	-	-0,8
117	31	12	15,503	-	-0,8
118	17	6	10,335	-	-0,9
119	8	3,5	2,584	-	-0,7
120	13	5	5,168	-	-0,7
121	10	4	5,168	-	-1,8
122	6	3	2,584	-	-1,8
123	7	3	1,292	-	-1,4
124	7	2	1,292	-	-1,0
125	6	3	2,584	-	-1,6
126	8	4	2,584	-	-1,5
127	7	3	2,584	-	-1,5
128	7	3	2,584	-	-1,0
129	7	2,5	2,584	-	-1,4
130	5	2	5,168	-	-1,5
131	4	1,5	5,168	-	-1,5
132	6	2,5	7,752	-	-1,6
133	8	3	6,460	-	-1,5
134	10	4	6,460	-	-1,5
135	6	2	7,752	-	-1,5
136	6	2,5	3,876	-	-1,4
137	6	2,5	5,168	-	-1,4
138	4	1	5,168	-	-1,6
139	5	2	5,168	-	-1,5
140	8	3	3,876	-	-1,5
141	6	2,5	2,584	-	-1,5
142	11	4,5	5,168	-	-1,7
143	6	2	2,584	-	-2,4
144	3	1,5	1,292	-	-2,7
145	3	1	1,292	-	-2,5
146	2	1	1,292	-	-2,4
147	3	1,5	1,292	-	-2,1
148	12	5	7,752	-	-2,0
149	17	6,5	7,752	-	-2,1
150	11	5,5	9,044	-	-2,1

151	13	6	9,044	-	-2,3
152	16	6,5	5,168	-	-0,8
153	18	7,5	3,876	-	-0,8
154	14	5,5	7,752	-	-0,7

Fuente: Elaboración propia.

- **Distrito 2: San Roque**

Fig. 3.19. Acopio de agregados en el distrito 2.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.20. Ubicación del punto de acopio en el distrito 2.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 2
Nombre	Plaza Isaac Attie-Cementerio
Latitud	21°31'35,0"S
Longitud	64°43'59,2"O

Tabla 3.2. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 2.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	41	13	2,584	-	-0,5
2	42	17	15,503	-	-0,5
3	22	7	5,168	-	-0,5
4	44	16	5,168	-	-0,1
5	44	16	28,422	-	-0,1
6	39	15,5	6,460	-	-0,7
7	39	15	5,168	-	-0,2
8	45	16	5,168	-	-0,4
9	34	12	12,919	-	-0,8
10	52	21	15,503	-	-0,7
11	31	11	15,503	-	-0,7
12	17	6	20,671	-	-1,5
13	38	16	23,255	-	-1,5
14	60	30	12,919	-	-1,6
15	18	7	5,168	-	-1,6
16	29	12	12,919	-	-1,6
17	22	8	20,671	-	-1,6
18	36	14	2,584	-	-1,4
19	31	13	5,168	-	-1,4
20	30	12	20,671	-	-1,4
21	34	11	18,087	-	-1,5
22	23	12	10,335	-	-1,8
23	32	10	12,919	-	-1,9
24	18	5	5,168	-	-0,8
25	28	11	5,168	-	-0,4
26	20	5	7,752	-	-0,5
27	63	29	18,087	-	-0,5
28	23	8	12,919	-	-0,2
29	99	40	25,839	-	-1,4
30	37	14	12,919	-	-1,5
31	23	9	7,752	-	-1,4
32	45	20	2,584	-	-1,4
33	24	7	5,168	-	-1,4
34	24	7	7,752	-	-1,4
35	32	12	7,752	-	-1,5

36	26	11	9,044	-	-1,5
37	47	17	2,584	-	-1,6
38	64	26	2,584	-	-1,7
39	28	9	18,087	-	-1,5
40	20	9	15,503	-	-1,5
41	18	7	10,335	-	-1,5
42	34	10	10,335	-	-1,6
43	96	38	5,168	-	-1,0
44	42	16	5,168	-	-1,8
45	34	12	15,503	-	-1,0
46	29	12	15,503	-	-0,7
47	24	9	15,503	-	-0,8
48	17	7	5,168	-	-0,9
49	32	12	10,335	-	-0,7
50	52	22	10,335	-	-0,7
51	29	9	7,752	-	-0,8
52	51	18	7,752	-	-0,9
53	42	17	7,752	-	-0,8
54	42	17	15,503	-	-0,8
55	53	22	18,087	-	-0,5
56	22	7	15,503	-	-0,6
57	20	7	7,752	-	-0,8
58	17	7	10,335	-	-1,8
59	16	6	12,919	-	-1,8
60	15	6	20,671	-	-1,5
61	14	6	5,168	-	-1,9
62	15	5,5	7,752	-	-1,9
63	24	7,5	5,168	-	-1,9
64	17	7	6,460	-	-0,8
65	15	6	5,168	-	-0,8
66	19	7,5	5,168	-	-0,7
67	27	13	7,752	-	-0,7
68	15	6	10,335	-	-1,0
69	15	6	5,168	-	-0,8
70	19	7,5	15,503	-	-0,8
71	21	8	12,919	-	-0,8
72	14	6	5,168	-	-0,9
73	26	12	7,752	-	-0,7
74	32	13	2,584	-	-0,8
75	13	5,5	5,168	-	-0,7

76	14	6	5,168	-	-0,8
77	15	6	1,292	-	-1,5
78	21	9	2,584	-	-2,5
79	22	9	3,876	-	-2,0
80	12	5	5,168	-	-2,7
81	35	13	1,292	-	-2,4
82	8	3	3,876	-	-2,2
83	16	6	2,584	-	-2,1
84	12	5	2,584	-	-2,4
85	10	3,5	1,292	-	-2,5
86	8	3	2,584	-	-2,2
87	13	5,5	1,292	-	-0,2
88	14	5,5	2,584	-	-1,8
89	15	6	2,584	-	-1,9
90	22	7	2,584	-	-0,8
91	11	5	2,584	-	-2,0
92	19	7	1,292	-	-2,5
93	25	10	2,584	-	-2,4
94	19	8	2,584	-	-2,2
95	17	7	5,168	-	-2,2
96	12	4,5	5,168	-	-2,2
97	14	5	5,168	-	-2,2
98	10	5	2,584	-	-2,1
99	12	4,5	2,584	-	-2,1
100	8	3	1,292	-	-2,1
101	9	4	2,584	-	-2,1
102	13	4,5	5,168	-	-2,1
103	7	2,5	5,168	-	-2,1
104	7	3	2,584	-	-2,5
105	16	7	2,584	-	-2,5
106	30	12	15,503	-	-2,5
107	14	5,5	2,584	-	-2,9
108	13	5,5	12,919	-	-2,5
109	8	3	2,584	-	-2,1
110	15	6	2,584	-	-0,9
111	14	5	2,584	-	-0,9
112	8	3,5	5,168	-	-1,8
113	12	5	2,584	-	-1,8
114	14	5,5	2,584	-	-1,4
115	5	2	3,876	-	-1,0

116	7	2,5	3,876	-	-1,6
117	5	2	15,503	-	-1,5
118	8	3	10,335	-	-1,5
119	18	7,5	2,584	-	-1,0
120	16	6,5	5,168	-	-1,4
121	4	1,5	1,292	-	-1,5
122	6	2,5	2,584	-	-1,5
123	8	3	1,292	-	-1,6
124	31	11	1,292	-	-1,5
125	15	5,5	2,584	-	-1,5
126	7	2,5	2,584	-	-1,5
127	10	4	2,584	-	-1,4
128	13	5	2,584	-	-0,9
129	6	2	2,584	-	-0,8
130	4	1,5	2,584	-	-0,7
131	4	1,5	2,584	-	-0,8
132	4	1,5	2,584	-	-0,8
133	4	1,5	2,584	-	-0,8
134	6	2,5	2,584	-	-0,9
135	4	1,5	7,752	-	-0,7
136	6	1,5	3,876	-	-0,7
137	5	2	5,168	-	-1,4
138	6	2,5	5,168	-	-1,6
139	5	2	5,168	-	-1,5
140	5	2	3,876	-	-1,5
141	5	2	2,584	-	-1,5
142	2	1	1,292	-	-1,7
143	5	2	2,584	-	-2,4
144	5	2	1,292	-	-2,7
145	7	3	1,292	-	-2,5
146	6	2	1,292	-	-2,4
147	11	4,5	1,292	-	-2,1
148	5	1,5	7,752	-	-2,0
149	4	1,5	1,292	-	-2,1
150	5	2	9,044	-	-1,5
151	4	1,5	9,044	-	-1,1
152	7	2,5	5,168	-	-1,5
153	3	1	3,876	-	-1,4
154	2	1	2,584	-	-1,4

Fuente: Elaboración propia.

- **Distrito 3: Las Panosas**

Fig. 3.21. Acopio de agregados en el distrito 3.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.22. Ubicación del punto de acopio en el distrito 3.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 3
Nombre	Puente Bicentenario
Latitud	21°32'17,2"S
Longitud	64°44'08,5"O

Tabla 3.3. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 3.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial “Z” (mV)
1	58	22	5,168	-	-0,5
2	28	10	5,168	-	-0,4
3	23	8	5,168	-	-0,7
4	42	18	12,919	-	-0,5
5	37	15	12,919	-	-0,5
6	21	7	5,168	-	-0,1
7	28	9	18,087	-	-0,2
8	22	8	12,919	-	-0,1
9	27	9	7,752	-	-0,2
10	19	7	5,168	-	-0,1
11	51	19	10,335	-	-0,1
12	17	7	10,335	-	-0,1
13	20	8	12,919	-	-0,1
14	32	12	12,919	-	-0,5
15	22	9	5,168	-	-0,4
16	40	17	7,752	-	-0,4
17	26	9	12,919	-	-0,4
18	21	7	2,584	-	-0,6
19	33	11	7,752	-	-0,4
20	22	8	7,752	-	-1,5
21	27	10	6,460	-	-1,4
22	32	11	6,460	-	-1,4
23	35	11	9,044	-	-1,5
24	51	23	20,671	-	-1,5
25	19	7	5,168	-	-1,4
26	13	5	7,752	-	-1,5
27	8	3	2,584	-	-1,5
28	14	5	5,168	-	-1,5
29	34	12	7,752	-	-1,8
30	11	5	5,168	-	-0,8
31	19	7	1,292	-	-0,8
32	28	10	15,503	-	-1,1
33	20	8	3,876	-	-1,0
34	27	9	2,584	-	-0,4
35	24	10	10,335	-	-0,7
36	18	8	2,584	-	-0,8

37	13	5	2,584	-	-0,4
38	22	8	10,335	-	-0,4
39	18	7	5,168	-	-0,5
40	56	22	5,168	-	-0,6
41	33	13	7,752	-	-0,4
42	24	10	10,335	-	-0,4
43	10	4	5,168	-	-0,5
44	33	12	5,168	-	-0,4
45	21	8	2,584	-	-0,8
46	21	8	7,752	-	-0,4
47	16	6	10,335	-	-0,4
48	18	6	15,503	-	-0,4
49	21	7	12,919	-	-0,6
50	9	3,5	2,584	-	-0,5
51	28	11	12,919	-	-0,4
52	9	4	2,584	-	-0,4
53	16	6,5	5,168	-	-1,4
54	16	6	5,168	-	-2,5
55	24	10,5	5,168	-	-2,4
56	6	2,5	12,919	-	-2,4
57	20	7	12,919	-	-2,4
58	9	3,5	2,584	-	-2,1
59	9	3	5,168	-	-2,1
60	21	8	10,335	-	-2,1
61	9	3	6,460	-	-2,5
62	9	3	9,044	-	-2,0
63	29	13	10,335	-	-2,1
64	13	4	1,292	-	-2,1
65	12	4	2,584	-	-2,0
66	24	10	5,168	-	-2,4
67	32	12	15,503	-	-2,5
68	11	4	14,211	-	-2,5
69	13	5	5,168	-	-2,6
70	9	3	2,584	-	-2,1
71	20	8	5,168	-	-1,8
72	15	6	7,752	-	-1,8
73	15	6	7,752	-	-1,4
74	44	16	5,168	-	-1,5
75	20	7	2,584	-	-2,4
76	28	11	3,876	-	-1,2

77	19	7,5	2,584	-	-1,4
78	20	7	2,584	-	-1,5
79	50	21	15,503	-	-2,4
80	24	10	12,919	-	-2,5
81	19	7	7,752	-	-1,4
82	11	4	5,168	-	-2,6
83	12	4	2,584	-	-2,4
84	14	4,5	5,168	-	-1,5
85	24	10	2,584	-	-1,0
86	26	10,5	5,168	-	-1,4
87	9	3	2,584	-	-1,5
88	6	2	2,584	-	-1,5
89	14	4	5,168	-	-1,6
90	24	9	7,752	-	-1,6
91	13	4	5,168	-	-1,5
92	16	5	7,752	-	-1,5
93	12	4	2,584	-	-0,9
94	25	9	5,168	-	-0,8
95	6	2,5	1,292	-	-0,8
96	11	3,5	2,584	-	-0,9
97	8	3	5,168	-	-0,9
98	9	3	5,168	-	-0,8
99	26	10	7,752	-	-0,8
100	22	7	12,919	-	-0,9
101	12	3,5	10,335	-	-0,7
102	10	3	5,168	-	-0,8
103	9	3	7,752	-	-1,5
104	11	3,5	2,584	-	-0,2
105	16	5	2,584	-	-1,0
106	7	2,5	2,584	-	-1,8
107	8	3	2,584	-	-0,2
108	32	13	12,919	-	-1,8
109	18	7	7,752	-	-1,9
110	7	2,5	5,168	-	-1,5
111	8	3	2,584	-	-1,1
112	8	3,5	2,584	-	-1,5
113	8	3	2,584	-	-1,5
114	7	2	1,292	-	-1,7
115	18	6	7,752	-	-1,5
116	10	4	5,168	-	-1,5

117	17	5	5,168	-	-1,6
118	12	4	5,168	-	-1,0
119	8	3	2,584	-	-1,7
120	9	3	2,584	-	-0,8
121	6	2	2,584	-	-0,9
122	5	2	1,292	-	-1,4
123	25	8	5,168	-	-1,8
124	13	4	7,752	-	-1,0
125	9	3	2,584	-	-1,9
126	8	3	2,584	-	-1,4
127	24	8	10,335	-	-0,9
128	23	8	10,335	-	-0,8
129	8	3	2,584	-	-0,7
130	9	3	2,584	-	-0,9
131	9	3,5	5,168	-	-0,2
132	35	13	7,752	-	-0,2
133	9	3	5,168	-	-0,1
134	14	4	10,335	-	-1,5
135	23	9	12,919	-	-2,5
136	9	3,5	2,584	-	-2,4
137	13	4	5,168	-	-1,4
138	7	2,5	2,584	-	-0,3
139	10	4	5,168	-	-2,4
140	8	3	2,584	-	-2,4
141	30	11	7,752	-	-2,4
142	8	3	2,584	-	-2,4
143	8	3	2,584	-	-2,1
144	4	1,5	1,292	-	-2,1
145	8	3	2,584	-	-2,0
146	10	4	5,168	-	-2,1
147	6	2	2,584	-	-2,1
148	5	2	2,584	-	-2,1
149	15	4	7,752	-	-0,9
150	9	3,5	2,584	-	-0,9
151	23	9	12,919	-	-0,8
152	6	2	2,584	-	-0,7
153	3	1	1,292	-	-0,4
154	5	2	2,584	-	-0,4

Fuente: Elaboración propia.

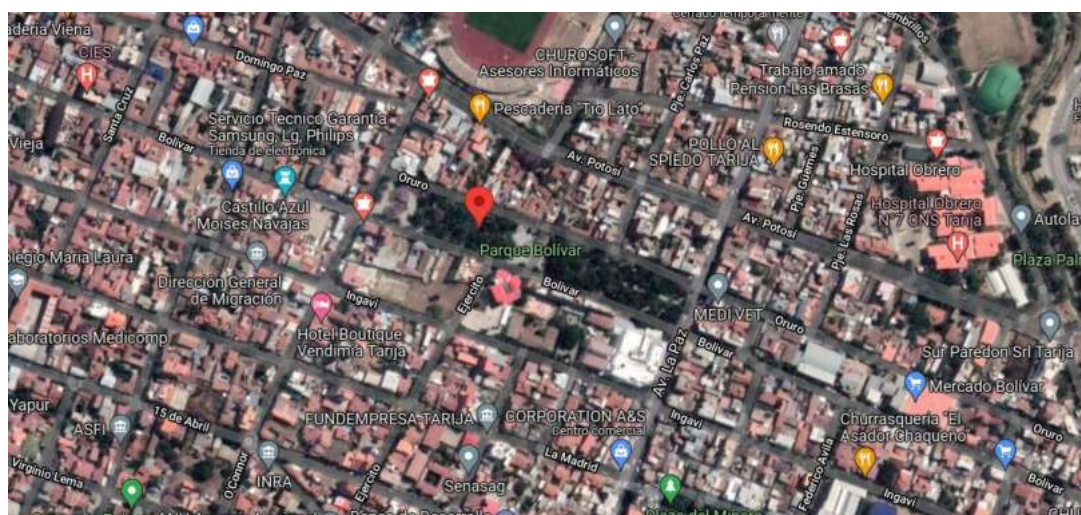
- **Distrito 4: La Pampa**

Fig. 3.23. Acopio de agregados en el distrito 4.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.24. Ubicación del punto de acopio en el distrito 4.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 4
Nombre	Parque Bolívar
Latitud	21°32'04,7"S
Longitud	64°43'30,1"O

Tabla 3.4. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 4.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	100	44	25,839	-	-0,1
2	67	36	18,087	-	-0,1

3	18	7	7,752	-	-0,1
4	12	5	5,168	-	-0,1
5	13	5	6,460	-	-0,1
6	71	30	20,671	-	-0,1
7	16	7	7,752	-	-0,1
8	44	18	12,919	-	-0,1
9	13	5,5	5,168	-	-0,2
10	33	11	10,335	-	-0,2
11	36	12	10,335	-	-0,2
12	24	10	12,919	-	-0,2
13	11	4,5	5,168	-	-0,2
14	6	2	3,876	-	-0,2
15	5	2	2,584	-	-0,2
16	6	2,5	1,292	-	-0,1
17	8	3	5,168	-	-0,1
18	3	1	2,584	-	-0,1
19	6	2	2,584	-	-0,1
20	5	2	3,876	-	-0,1
21	3	1,5	2,584	-	-0,1
22	4	1,5	2,584	-	-0,1
23	4	1,5	2,584	-	-0,3
24	9	4	5,168	-	-0,3
25	9	3,5	5,168	-	-0,3
26	2	1	1,292	-	-0,3
27	7	3	5,168	-	-0,3
28	5	2	1,292	-	-0,3
29	6	2,5	2,584	-	-0,3
30	6	2,5	2,584	-	-0,3
31	8	3	3,876	-	-0,3
32	2	1	1,292	-	-0,3
33	4	1	1,292	-	-0,3
34	4	1,5	1,292	-	-0,3
35	16	4	7,752	-	-0,3
36	17	6	9,044	-	-0,1
37	8	3	2,584	-	-0,1
38	10	4	5,168	-	-0,1
39	3	1	1,292	-	-0,1
40	4	1,5	1,292	-	-0,1
41	4	1,5	1,292	-	-0,1
42	2	1	1,292	-	-0,1

43	5	2	1,292	-	-0,5
44	7	3	2,584	-	-0,5
45	2	1	1,292	-	-0,5
46	22	8	10,335	-	-0,5
47	21	8	12,919	-	-0,5
48	28	9	10,335	-	-0,4
49	13	3,5	7,752	-	-0,4
50	12	3,5	7,752	-	-0,5
51	3	1	1,292	-	-0,5
52	9	3	2,584	-	-0,5
53	10	4	3,876	-	-0,5
54	6	2,5	2,584	-	-0,5
55	20	9	12,919	-	-0,4
56	23	9	15,503	-	-0,4
57	6	2	3,876	-	-0,5
58	10	4	5,168	-	-0,6
59	22	8	12,919	-	-0,4
60	7	3	5,168	-	-0,6
61	9	3,5	5,168	-	-0,6
62	4	1,5	2,584	-	-0,6
63	5	2	2,584	-	-0,4
64	12	6	5,168	-	-0,5
65	4	1,5	1,292	-	-0,5
66	4	1,5	1,292	-	-0,4
67	6	2	2,584	-	-0,4
68	8	3	2,584	-	-0,6
69	6	2,5	2,584	-	-0,1
70	12	5,5	5,168	-	-0,1
71	2	1	1,292	-	-0,1
72	4	1,5	1,292	-	-0,1
73	2	1	1,292	-	-0,1
74	4	1,5	1,292	-	-0,1
75	2	1	1,292	-	-0,1
76	1	0,5	1,292	-	-0,1
77	4	2	2,584	-	-0,1
78	15	6	5,168	-	-0,4
79	28	9	7,752	-	-0,4
80	13	4	5,168	-	-0,4
81	3	1	1,292	-	-0,4
82	2	1	1,292	-	-0,4

83	4	1,5	1,292	-	-0,4
84	5	2	1,292	-	-0,4
85	7	2,5	1,292	-	-0,5
86	3	1	1,292	-	-0,5
87	4	1,5	1,292	-	-0,5
88	1	0,5	1,292	-	-0,5
89	2	1	1,292	-	-0,5
90	8	3	2,584	-	-0,5
91	29	10	15,503	-	-0,5
92	13	4	5,168	-	-0,5
93	7	3,5	2,584	-	-0,5
94	5	2	2,584	-	-0,4
95	6	2,5	2,584	-	-0,4
96	2	1	1,292	-	-0,4
97	2	1	1,292	-	-0,4
98	2	1	1,292	-	-0,1
99	5	2	2,584	-	-0,1
100	4	2	2,584	-	-0,1
101	1	0,5	1,292	-	-0,1
102	5	2	3,876	-	-0,2
103	4	2	2,584	-	-0,2
104	5	2	2,584	-	-0,2
105	10	4	3,876	-	-0,2
106	10	4	3,876	-	-0,3
107	12	4	5,168	-	-0,3
108	25	9	10,335	-	-0,3
109	26	10	7,752	-	-0,3
110	54	19	18,087	-	-0,3
111	22	7	12,919	-	-0,3
112	29	11	15,503	-	-0,3
113	39	17	18,087	-	-0,3
114	8	3,5	2,584	-	-0,3
115	4	2	2,584	-	-0,1
116	22	8	5,168	-	-0,1
117	12	4	5,168	-	-0,1
118	9	3	2,584	-	-0,1
119	8	3	2,584	-	-0,1
120	13	4	3,876	-	-0,1
121	5	2	2,584	-	-0,1
122	13	4	3,876	-	-0,1

123	3	1,5	1,292	-	-0,5
124	2	1	1,292	-	-0,6
125	4	2	1,292	-	-0,6
126	4	2	1,292	-	-0,6
127	2	1	1,292	-	-0,6
128	5	2	1,292	-	-0,6
129	7	2,5	2,584	-	-0,6
130	12	4	5,168	-	-0,6
131	11	4	5,168	-	-0,6
132	7	3	2,584	-	-0,6
133	2	1	1,292	-	-0,6
134	11	4	3,876	-	0,0
135	2	1	1,292	-	-0,1
136	7	2,5	1,292	-	-0,1
137	4	1,5	1,292	-	-0,1
138	4	1,5	1,292	-	-0,1
139	4	1,5	1,292	-	-0,1
140	2	1	1,292	-	-0,1
141	3	2	1,292	-	-0,1
142	2	1	1,292	-	-0,1
143	7	3	2,584	-	-0,1
144	5	2	1,292	-	-0,1
145	3	1,5	1,292	-	-0,1
146	1	0,5	1,292	-	-0,1
147	1	0,5	1,292	-	-0,1
148	2	1	1,292	-	-0,1
149	4	1,5	1,292	-	-0,1
150	2	1	1,292	-	-0,1
151	1	0,5	1,292	-	-0,1
152	4	1,5	1,292	-	-0,1
153	2	1	1,292	-	-0,1
154	1	0,5	1,292	-	-0,1

Fuente: Elaboración propia.

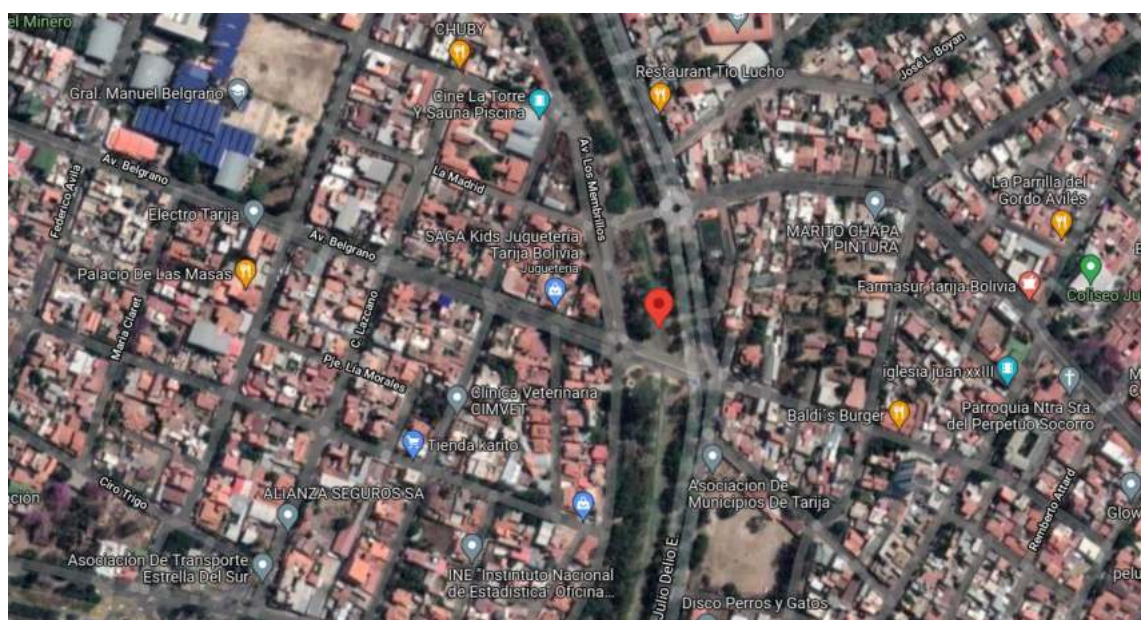
- **Distrito 5: Virgen de Fátima**

Fig. 3.25. Acopio de agregados en el distrito 5.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.26. Ubicación del punto de acopio en el distrito 5.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 5
Nombre	Rotonda Belgrano-Av. Membrillos Qda. El Monte
Latitud	21°32'22,4"S
Longitud	64°43'03,4"O

Tabla 3.5. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 5.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	48	22	18,087	-	-0,2
2	20	7	10,335	-	-0,2
3	48	21	20,671	-	-0,2
4	19	7	10,335	-	-0,2
5	8	3	3,876	-	-0,2
6	18	7	7,752	-	-0,2
7	17	6	7,752	-	-0,1
8	8	3	2,584	-	-0,1
9	13	4	5,168	-	-0,1
10	14	4,5	5,168	-	-0,1
11	18	7	5,168	-	-0,1
12	15	4,5	5,168	-	-0,1
13	10	3,5	5,168	-	-0,1
14	13	4	5,168	-	-0,1
15	8	3	3,876	-	-0,1
16	11	4	5,168	-	-0,3
17	12	4	5,168	-	-0,3
18	15	4,5	5,168	-	-0,3
19	12	4	5,168	-	-0,3
20	6	2	2,584	-	-0,4
21	7	2,5	2,584	-	-0,4
22	11	4	3,876	-	-0,4
23	13	4	5,168	-	-0,4
24	16	4,5	5,168	-	-0,4
25	10	3,5	5,168	-	-0,4
26	15	5	5,168	-	-0,4
27	13	4	5,168	-	-0,3
28	42	15	15,503	-	-0,4
29	9	3	2,584	-	-0,8
30	11	4	5,168	-	-0,8
31	13	4	5,168	-	-0,8
32	11	4	5,168	-	-0,8
33	16	5	5,168	-	-0,8
34	10	4	5,168	-	-0,9
35	11	4	5,168	-	-0,7
36	13	4,5	5,168	-	-0,7

37	6	2	3,876	-	-0,7
38	8	3	3,876	-	-1,0
39	9	3	3,876	-	-1,1
40	6	2	3,876	-	-1,1
41	10	4	5,168	-	-1,0
42	16	5,5	5,168	-	-1,1
43	8	3	3,876	-	-1,0
44	8	3	3,876	-	-1,1
45	12	4	5,168	-	-1,1
46	13	4	5,168	-	-1,1
47	13	4	3,876	-	-1,0
48	12	4	3,876	-	-1,9
49	10	3,5	3,876	-	-0,1
50	10	4	3,876	-	-0,1
51	12	4	3,876	-	-0,1
52	9	3	1,292	-	-0,4
53	11	4	2,584	-	-0,4
54	10	4	2,584	-	-0,4
55	11	4	2,584	-	-0,4
56	8	3	2,584	-	-0,4
57	20	8	12,919	-	-0,3
58	9	3	2,584	-	-0,3
59	15	5	5,168	-	-0,3
60	12	4	5,168	-	-0,3
61	9	3	3,876	-	-0,3
62	8	3	3,876	-	-0,3
63	10	4	2,584	-	-0,3
64	18	5	5,168	-	-0,3
65	16	5	5,168	-	-0,3
66	11	4	5,168	-	-0,3
67	11	3,5	5,168	-	-0,3
68	12	4	5,168	-	-0,3
69	17	5,5	5,168	-	-0,1
70	14	4,5	5,168	-	-0,1
71	12	4	5,168	-	-0,1
72	7	3	2,584	-	-0,1
73	13	4	5,168	-	-0,1
74	9	3	3,876	-	-0,1
75	8	3	3,876	-	-0,1
76	7	2,5	3,876	-	-0,1

77	6	2	1,292	-	-0,1
78	6	2	1,292	-	-0,1
79	8	3	1,292	-	-0,1
80	12	4	2,584	-	-0,1
81	11	4	3,876	-	-0,1
82	8	3	2,584	-	-0,1
83	4	2	1,292	-	-0,1
84	8	3	1,292	-	-0,1
85	17	5,5	5,168	-	-0,1
86	8	3	3,876	-	-0,4
87	14	5	3,876	-	-0,4
88	10	3,5	3,876	-	-0,4
89	7	2,5	2,584	-	-0,4
90	44	18,5	18,087	-	-0,4
91	20	6	15,503	-	-0,4
92	13	4	5,168	-	-0,4
93	16	5	5,168	-	-0,4
94	13	4,5	7,752	-	-0,4
95	6	2,5	2,584	-	-0,5
96	14	6	7,752	-	-0,5
97	6	2	3,876	-	-0,5
98	13	5	3,876	-	-0,5
99	11	4,5	5,168	-	-0,5
100	14	5	5,168	-	-0,5
101	8	3	3,876	-	-0,5
102	6	2	1,292	-	-0,3
103	9	3,5	2,584	-	-0,3
104	13	4	2,584	-	-0,3
105	12	4	5,168	-	-0,3
106	11	4	5,168	-	-0,3
107	12	4	5,168	-	-0,3
108	9	3	3,876	-	-0,1
109	12	4	5,168	-	-0,1
110	5	2	1,292	-	-0,1
111	10	3,5	2,584	-	-0,1
112	7	2,5	2,584	-	-0,1
113	12	4,5	2,584	-	-0,1
114	14	4,5	2,584	-	-0,1
115	10	4	2,584	-	-0,1
116	7	3	3,876	-	-0,1

117	13	4,5	3,876	-	-0,1
118	5	2	1,292	-	-0,1
119	11	4	5,168	-	-0,1
120	8	3	2,584	-	-0,2
121	12	4	6,460	-	-0,2
122	15	5	6,460	-	-0,2
123	9	3	2,584	-	-0,2
124	5	2	1,292	-	-0,2
125	11	4	2,584	-	-0,2
126	9	3,5	2,584	-	-0,2
127	9	3	2,584	-	-0,2
128	8	3	2,584	-	-0,2
129	19	10	6,460	-	-0,1
130	9	3	2,584	-	-0,1
131	14	4,5	5,168	-	-0,1
132	12	4	5,168	-	-0,1
133	12	4	5,168	-	-0,1
134	9	3	2,584	-	-0,1
135	12	4	5,168	-	-0,3
136	19	8	5,168	-	-0,3
137	15	5	5,168	-	-0,3
138	9	3	3,876	-	-0,3
139	9	3	3,876	-	-0,3
140	14	4,5	5,168	-	-0,3
141	10	4	5,168	-	-0,3
142	8	3	3,876	-	-0,3
143	7	2,5	2,584	-	-0,1
144	11	4	2,584	-	-0,1
145	27	11	7,752	-	-0,1
146	11	3,5	2,584	-	-0,1
147	12	4	3,876	-	-0,1
148	9	3	3,876	-	-0,1
149	7	2,5	2,584	-	-0,1
150	12	4	2,584	-	-0,1
151	15	4,5	2,584	-	-0,1
152	14	4,5	2,584	-	-0,1
153	24	9	7,752	-	-0,1
154	12	4	3,876	-	-0,1

Fuente: Elaboración propia.

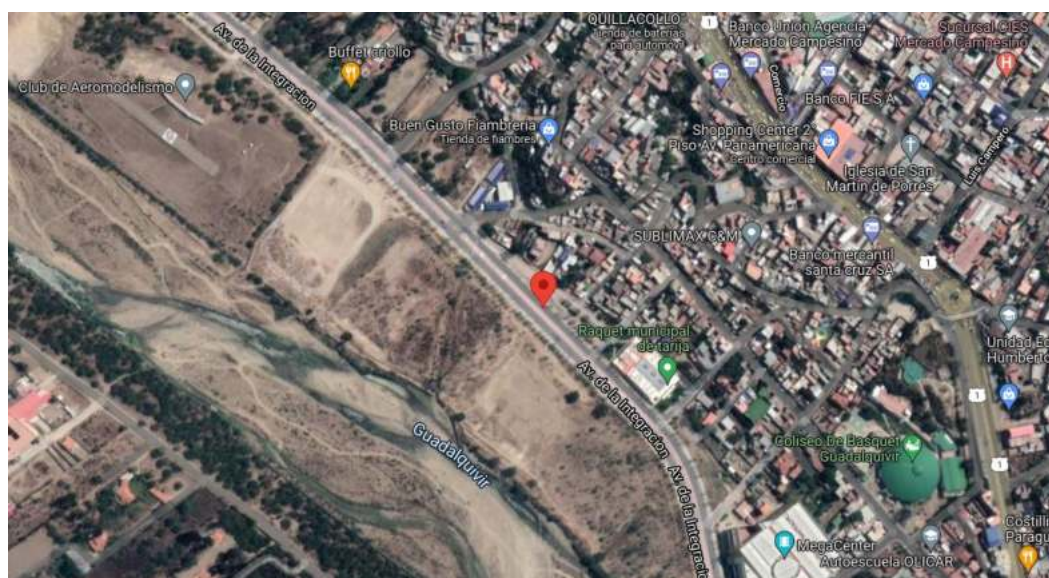
- **Distrito 6: Los Álamos, Los Olivos, El Paraíso, Carlos Wagner, Panamericano, Libertad, Juan Pablo II, Virgen de Chaguaya, 15 de noviembre, Guadalquivir, La Loma, El Carmen, Luis Pizarro, Municipal, La unión, Los mecánicos**

Fig. 3.27. Acopio de agregados en el distrito 6.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.28. Ubicación del punto de acopio en el distrito 6.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 6
Nombre	Avenida Integración
Latitud	21°31'23,3"S
Longitud	64°44'41,4"O

Tabla 3.6. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 6.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	66	26	20,671	-	-0,1
2	28	10	7,752	-	-0,1
3	22	8	7,752	-	-0,1
4	15	4	5,168	-	-0,1
5	42	17	12,919	-	-0,4
6	18	7	5,168	-	-0,4
7	25	9	12,919	-	-0,4
8	36	14	18,087	-	-0,4
9	70	23	23,255	-	-0,4
10	16	6	5,168	-	-0,4
11	34	13	10,335	-	-0,4
12	14	4	3,876	-	-0,1
13	12	4	5,168	-	-0,1
14	26	9	7,752	-	-0,1
15	56	21	15,503	-	-0,1
16	28	11	10,335	-	-0,4
17	8	3	3,876	-	-0,3
18	15	4	5,168	-	-0,3
19	24	9	10,335	-	-0,3
20	30	12	10,335	-	-0,4
21	30	12,5	10,335	-	-0,4
22	47	18	18,087	-	-0,4
23	27	9	5,168	-	-0,4
24	34	13	7,752	-	-0,2
25	30	12	7,752	-	-0,2
26	33	12,5	7,752	-	-0,2
27	22	8	5,168	-	-0,2
28	15	4,5	5,168	-	-0,2
29	45	19	10,335	-	-0,2
30	65	26	15,503	-	-0,3
31	56	21	12,919	-	-0,3
32	28	12	5,168	-	-0,1
33	15	6	2,584	-	-0,1
34	26	10	5,168	-	-0,1
35	15	5,5	3,876	-	-0,1
36	26	10	5,168	-	-0,1

37	49	18	10,335	-	-0,1
38	16	7	5,168	-	-0,1
39	27	9	7,752	-	-0,8
40	21	8	7,752	-	-0,7
41	12	4	5,168	-	-0,7
42	13	4	5,168	-	-0,7
43	9	3	3,876	-	-0,8
44	21	8	10,335	-	-0,8
45	28	12	10,335	-	-0,8
46	15	4,5	5,168	-	-0,8
47	11	5	5,168	-	-0,9
48	5	2	1,292	-	-0,9
49	20	9	5,168	-	-0,9
50	9	4	2,584	-	-1,1
51	15	6	5,168	-	-1,1
52	18	7	5,168	-	-1,0
53	13	6	5,168	-	-0,9
54	28	12	7,752	-	-0,9
55	26	10	6,460	-	-0,9
56	13	4	5,168	-	-0,9
57	18	8	7,752	-	-0,9
58	14	5	7,752	-	-0,9
59	12	4	7,752	-	-0,8
60	12	4	7,752	-	-0,8
61	20	9	9,044	-	-0,8
62	21	9	9,044	-	-0,8
63	45	21	10,335	-	-0,4
64	20	9	7,752	-	-0,4
65	10	4	5,168	-	-0,4
66	11	4	5,168	-	-0,4
67	11	4	5,168	-	-0,1
68	11	4,5	5,168	-	-0,1
69	12	4,5	5,168	-	-0,1
70	14	5	6,460	-	-0,4
71	11	4	5,168	-	-0,3
72	57	20	15,503	-	-0,3
73	9	3	3,876	-	-0,2
74	19	9	3,876	-	-0,2
75	20	9	5,168	-	-0,1
76	12	4	2,584	-	-0,4

77	19	9	2,584	-	-0,4
78	17	8	2,584	-	-0,1
79	24	10	5,168	-	-0,2
80	8	3	2,584	-	-0,2
81	14	5	5,168	-	-0,1
82	16	6	5,168	-	-0,1
83	31	12	7,752	-	-0,1
84	32	13	10,335	-	-0,1
85	37	16	12,919	-	-0,2
86	13	4	3,876	-	-0,2
87	16	5	5,168	-	-0,1
88	13	4	5,168	-	-0,2
89	10	3,5	3,876	-	-0,3
90	10	4	1,292	-	-0,3
91	17	7	1,292	-	-0,3
92	13	5	2,584	-	-0,3
93	22	10	7,752	-	-0,4
94	16	6	3,876	-	-0,4
95	33	13	12,919	-	-0,4
96	15	6	2,584	-	-0,4
97	29	12	10,335	-	-0,4
98	14	6	3,876	-	-1,4
99	24	11	10,335	-	-1,5
100	12	4	3,876	-	-0,9
101	25	10	5,168	-	-0,9
102	18	6	5,168	-	-0,9
103	35	16	10,335	-	-0,8
104	48	22	15,503	-	-0,8
105	25	9	6,460	-	-0,8
106	34	13	10,335	-	-0,6
107	16	5	3,876	-	-0,6
108	11	4	3,876	-	-0,6
109	17	6	3,876	-	-0,6
110	9	3	2,584	-	-0,9
111	11	3,5	2,584	-	-0,9
112	9	3	2,584	-	-0,1
113	23	9	7,752	-	-0,1
114	18	7	6,460	-	-0,4
115	12	4	5,168	-	-0,3
116	8	3	2,584	-	-0,2

117	40	14	18,087	-	-0,2
118	7	2,5	2,584	-	-0,2
119	13	4	3,876	-	-0,1
120	15	5	3,876	-	-0,1
121	10	4	3,876	-	-0,1
122	11	4	2,584	-	-0,1
123	13	4,5	2,584	-	-0,1
124	7	3	2,584	-	-0,2
125	16	5	3,876	-	-0,2
126	12	4	3,876	-	-0,2
127	6	2	2,584	-	-0,2
128	12	5	3,876	-	-0,2
129	5	2	1,292	-	-0,2
130	13	4	2,584	-	-0,2
131	18	7	2,584	-	-0,2
132	5	1,5	1,292	-	-0,1
133	8	3	1,292	-	-0,1
134	8	3	1,292	-	-0,1
135	13	5	2,584	-	-0,1
136	6	2	1,292	-	-0,1
137	7	3	1,292	-	-0,1
138	6	2,5	1,292	-	-0,2
139	6	2	1,292	-	-0,2
140	9	3	1,292	-	-0,2
141	7	2,5	1,292	-	-0,2
142	7	3	1,292	-	-0,2
143	7	3	1,292	-	-0,2
144	50	19	15,503	-	-0,3
145	9	3,5	2,584	-	-0,3
146	17	6,5	3,876	-	-0,3
147	8	3	1,292	-	-0,3
148	10	3,5	2,584	-	-0,2
149	7	3	1,292	-	-0,2
150	6	2,5	1,292	-	-0,2
151	4	2	1,292	-	-0,2
152	5	2	1,292	-	-0,2
153	7	2,5	1,292	-	-0,2
154	9	3	1,292	-	-0,2

Fuente: Elaboración propia.

- **Distrito 7: 4 de julio, Defensores del Chaco, IV centenario, 3 de mayo, Las Pascuas, Los Chapacos, 15 de junio, 101 familias, 20 de enero, Oscar Zamora, María de Los Ángeles, 19 de marzo, Campesino, 12 de octubre**

Fig. 3.29. Acopio de agregados en el distrito 7.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.30. Ubicación del punto de acopio en el distrito 7.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 7
Nombre	Avenida Circunvalación
Latitud	21°30'48,8"S
Longitud	64°44'19,9"O

Tabla 3.7. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 7.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	43	16	12,919	-	-0,1
2	36	13	15,503	-	-0,1
3	35	13	10,335	-	-0,1

4	28	12	12,919	-	-0,2
5	14	5	12,919	-	-0,2
6	22	10	12,919	-	-0,2
7	47	17	12,919	-	-0,2
8	49	17	12,919	-	-0,2
9	48	17	20,671	-	-0,1
10	53	18	23,255	-	-0,1
11	30	12	10,335	-	-0,2
12	22	7	7,752	-	-0,2
13	29	12	9,044	-	-0,3
14	21	7	7,752	-	-0,3
15	39	15	10,335	-	-0,3
16	46	16	12,919	-	-0,2
17	21	6	7,752	-	-0,2
18	31	13	10,335	-	-0,2
19	41	14	7,752	-	-0,2
20	25	10	5,168	-	-0,1
21	24	10	5,168	-	-0,1
22	30	12	6,460	-	-0,1
23	34	13	7,752	-	-0,1
24	53	18	12,919	-	-0,1
25	17	6	5,168	-	-0,3
26	15	5	5,168	-	-0,3
27	24	9	7,752	-	-0,3
28	18	6	5,168	-	-0,3
29	16	5	5,168	-	-0,4
30	28	12	15,503	-	-0,4
31	16	5,5	5,168	-	-0,4
32	25	10	7,752	-	-0,4
33	24	10	5,168	-	-0,4
34	12	4	5,168	-	-0,4
35	23	9	7,752	-	-0,4
36	19	7	5,168	-	-0,4
37	60	25	15,503	-	-0,4
38	29	12	5,168	-	-0,4
39	27	11	5,168	-	-0,4
40	28	12	7,752	-	-0,4
41	38	15	10,335	-	-0,4
42	16	5,5	5,168	-	-0,4
43	24	10	7,752	-	-0,6

44	11	4	5,168	-	-0,6
45	11	4	5,168	-	-0,6
46	13	5,5	5,168	-	-0,6
47	20	8	7,752	-	-0,6
48	16	6	6,460	-	-0,6
49	17	6	5,168	-	-0,6
50	25	8	6,460	-	-0,6
51	43	16	12,919	-	-0,6
52	26	10	7,752	-	-0,6
53	13	5	5,168	-	-0,6
54	22	8	6,460	-	-0,6
55	15	5	5,168	-	-0,6
56	21	8	6,460	-	-0,1
57	35	14	10,335	-	-0,1
58	33	14	10,335	-	-0,1
59	25	9	7,752	-	-0,1
60	12	4	5,168	-	-0,1
61	28	12	7,752	-	-0,1
62	13	4,5	5,168	-	-0,1
63	31	12	10,335	-	-0,2
64	21	8	5,168	-	-0,2
65	17	6	5,168	-	-0,3
66	20	7	7,752	-	-0,3
67	22	8	7,752	-	-0,4
68	17	6	5,168	-	-0,5
69	16	6	5,168	-	-0,5
70	22	8	7,752	-	-0,5
71	16	5	5,168	-	-0,2
72	17	5,5	5,168	-	-0,2
73	18	6	5,168	-	-0,2
74	22	8	7,752	-	-0,2
75	24	9	7,752	-	-0,8
76	17	6	5,168	-	-0,8
77	16	6	5,168	-	-0,8
78	15	6	5,168	-	-0,8
79	21	8	7,752	-	-0,7
80	20	7	7,752	-	-0,7
81	13	5	3,876	-	-0,7
82	19	7	5,168	-	-0,8
83	48	22	12,919	-	-0,8

84	10	4	3,876	-	-0,9
85	16	5	5,168	-	-0,9
86	30	12	10,335	-	-0,9
87	28	11	9,044	-	-1,1
88	35	13	7,752	-	-1,1
89	24	8	12,919	-	-1,1
90	24	8	12,919	-	-1,1
91	24	8,5	10,335	-	-1,1
92	28	10	10,335	-	-1,1
93	16	6	5,168	-	-1,0
94	15	6	7,752	-	-1,0
95	16	5,5	12,919	-	-0,9
96	24	8	12,919	-	-0,9
97	19	7	12,919	-	-0,9
98	17	6	2,584	-	-0,9
99	12	4	5,168	-	-1,2
100	27	9	7,752	-	-1,2
101	15	6	5,168	-	-1,3
102	11	3	12,919	-	-1,4
103	15	6	10,335	-	-1,4
104	15	6	10,335	-	-1,4
105	12	4	2,584	-	-1,5
106	11	4	2,584	-	-1,5
107	14	5	2,584	-	-0,1
108	8	3	1,292	-	-0,1
109	12	4	2,584	-	-0,1
110	12	3,5	2,584	-	-0,2
111	9	3	1,292	-	-0,2
112	6	2,5	1,292	-	-0,2
113	9	3	1,292	-	-0,2
114	12	4	2,584	-	-0,3
115	8	3	1,292	-	-0,3
116	14	5	2,584	-	-0,3
117	9	3	1,292	-	-0,4
118	9	3	1,292	-	-0,4
119	7	2,5	1,292	-	-0,4
120	5	2	1,292	-	-0,1
121	9	3	1,292	-	-0,1
122	7	2,5	1,292	-	-0,1
123	8	3	1,292	-	-0,1

124	12	4	2,584	-	-0,1
125	5	2	1,292	-	-0,1
126	7	3	1,292	-	-0,1
127	17	6	2,584	-	-0,1
128	12	4	2,584	-	-0,1
129	6	2	1,292	-	-0,1
130	44	17	15,503	-	-0,1
131	15	6	5,168	-	-0,1
132	24	8	10,335	-	-0,1
133	31	12	12,919	-	-0,1
134	33	12	12,919	-	-0,1
135	9	3	1,292	-	-0,1
136	11	4	2,584	-	-0,1
137	8	3	1,292	-	-0,1
138	5	2	1,292	-	-0,2
139	27	14	10,335	-	-0,2
140	9	3	1,292	-	-0,2
141	8	3	1,292	-	-0,2
142	12	4	2,584	-	-0,2
143	6	2	1,292	-	-0,2
144	11	4	2,584	-	-0,2
145	5	2	1,292	-	-0,1
146	6	2,5	1,292	-	-0,1
147	7	2,5	1,292	-	-0,1
148	4	1,5	1,292	-	-0,1
149	19	6,5	2,584	-	-0,1
150	9	3	1,292	-	-0,1
151	8	3	1,292	-	-0,1
152	12	4	2,584	-	-0,1
153	9	3	1,292	-	-0,1
154	7	2,5	1,292	-	-0,1

Fuente: Elaboración propia.

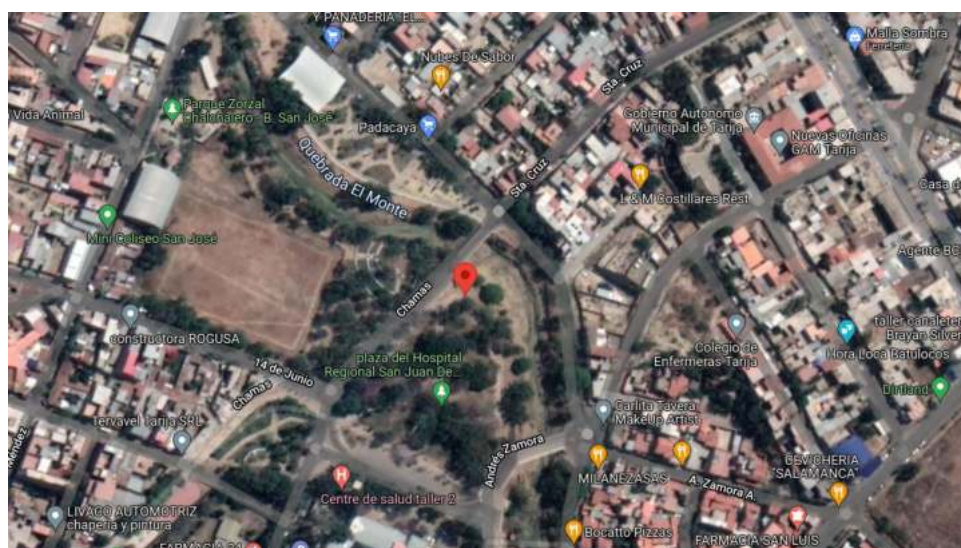
- **Distrito 8: 24 de junio, Lourdes, La Florida, Avaroa, San Marcos, San José, Oscar Alfaro**

Fig. 3.31. Acopio de agregados en el distrito 8.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.32. Ubicación del punto de acopio en el distrito 8.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 8
Nombre	Plaza Barrio San José
Latitud	21°31'39,7"S
Longitud	64°43'31,3"O

Tabla 3.8. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 8.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	83	55	23,255	-	-0,1
2	128	56	28,422	-	-0,2
3	33	14	12,919	-	-0,2
4	71	32	15,503	-	-0,1
5	69	32	18,087	-	-0,2
6	51	21	12,919	-	-0,1
7	37	14	10,335	-	-0,2
8	42	15	12,919	-	-0,2
9	54	22	15,503	-	-0,3
10	27	11	10,335	-	-0,3
11	104	41	25,839	-	-0,3
12	56	20	12,919	-	-0,3
13	65	26	15,503	-	-0,3
14	21	8	7,752	-	-0,1
15	42	17	12,919	-	-0,1
16	30	12	7,752	-	-0,1
17	34	14	10,335	-	-0,2
18	20	7	7,752	-	-0,2
19	18	7	5,168	-	-0,2
20	14	6	5,168	-	-0,1
21	19	8	5,168	-	-0,1
22	15	6	6,460	-	-0,2
23	12	4	5,168	-	-0,4
24	27	11	9,044	-	-0,4
25	62	25	18,087	-	-0,4
26	21	7	6,460	-	-0,4
27	62	26	18,087	-	-0,5
28	29	12	7,752	-	-0,5
29	20	7	6,460	-	-0,5
30	5	2	1,292	-	-0,4
31	5	2	1,292	-	-0,2
32	9	3	1,292	-	-0,2
33	32	14	5,168	-	-0,2
34	12	4	1,292	-	-0,2
35	23	8	1,292	-	-0,2
36	30	12	5,168	-	-0,2

37	13	4	1,292	-	-0,1
38	15	5	1,292	-	-0,1
39	8	3	1,292	-	-0,1
40	18	6	1,292	-	-0,2
41	64	26	7,752	-	-0,2
42	22	7	1,292	-	-0,2
43	22	7	1,292	-	-0,2
44	12	4	1,292	-	-0,1
45	38	14	6,460	-	-0,5
46	61	26	7,752	-	-0,2
47	10	4	1,292	-	-0,2
48	9	3	1,292	-	-0,4
49	11	4	1,292	-	-0,2
50	33	13	6,460	-	-0,3
51	7	2,5	1,292	-	-0,3
52	27	11	9,044	-	-0,3
53	9	3	3,876	-	-0,2
54	34	13	10,335	-	-0,2
55	11	4	5,168	-	-0,2
56	11	4	5,168	-	-0,2
57	81	35	23,255	-	-0,2
58	13	4	5,168	-	-0,2
59	18	6	5,168	-	-0,1
60	15	5	5,168	-	-0,1
61	9	3	2,584	-	-0,2
62	6	2,5	2,584	-	-0,2
63	50	19	15,503	-	-0,2
64	42	15	12,919	-	-0,1
65	11	4	3,876	-	-0,2
66	23	8	7,752	-	-0,2
67	13	4,5	2,584	-	-0,2
68	39	14	7,752	-	-0,4
69	39	15	7,752	-	-0,5
70	13	5	2,584	-	-0,6
71	26	11	5,168	-	-0,8
72	10	3,5	2,584	-	-0,7
73	16	5	2,584	-	-0,8
74	9	3	1,292	-	-0,8
75	5	2	1,292	-	-0,8
76	14	5	2,584	-	-0,8

77	8	3	1,292	-	-0,5
78	8	2,5	1,292	-	-0,5
79	9	3	1,292	-	-0,9
80	12	4	2,584	-	-0,9
81	14	5	2,584	-	-0,9
82	9	3	1,292	-	-2,1
83	11	4	2,584	-	-2,1
84	21	8	5,168	-	-2,1
85	13	4,5	2,584	-	-2,1
86	5	2	1,292	-	-2,2
87	7	2,5	1,292	-	-2,2
88	6	2	1,292	-	-2,2
89	10	4	2,584	-	-2,2
90	12	4	2,584	-	-2,1
91	9	3	1,292	-	-2,1
92	7	2,5	1,292	-	-2,1
93	9	2,5	1,292	-	-1,9
94	13	4	2,584	-	-1,9
95	7	3	1,292	-	-1,8
96	5	2	1,292	-	-1,8
97	10	4	2,584	-	-1,9
98	6	2,5	1,292	-	-1,9
99	15	6	2,584	-	-1,9
100	11	4	2,584	-	-1,9
101	6	2,5	1,292	-	-1,8
102	9	3	1,292	-	-1,9
103	7	3	1,292	-	-1,9
104	12	4	2,584	-	-1,8
105	8	3	1,292	-	-0,8
106	9	3	1,292	-	-0,9
107	14	5	2,584	-	-0,9
108	18	6	2,584	-	-0,9
109	7	3	1,292	-	-0,9
110	21	8	5,168	-	-0,5
111	9	3	1,292	-	-0,6
112	5	2	1,292	-	-0,1
113	29	12	5,168	-	-0,1
114	11	4	2,584	-	-0,1
115	14	5	2,584	-	-0,1
116	39	14	7,752	-	-0,4

117	15	6	2,584	-	-0,2
118	7	2,5	1,292	-	-0,2
119	6	2	1,292	-	-0,2
120	16	6	2,584	-	-0,3
121	7	2,5	1,292	-	-0,3
122	7	2,5	1,292	-	-0,2
123	8	3	1,292	-	-0,1
124	8	3	1,292	-	-0,4
125	11	4	2,584	-	-0,1
126	4	1,5	1,292	-	-0,1
127	10	4	2,584	-	-0,1
128	4	1,5	1,292	-	-0,1
129	8	3	1,292	-	-0,1
130	27	12	5,168	-	-0,1
131	8	3	1,292	-	-0,2
132	6	2,5	1,292	-	-0,2
133	9	3	1,292	-	-0,2
134	8	3	1,292	-	-0,2
135	34	11	7,752	-	-0,2
136	6	2,5	1,292	-	-0,3
137	6	2,5	1,292	-	-0,4
138	5	2	1,292	-	-0,4
139	4	1,5	1,292	-	-0,4
140	5	2	1,292	-	-0,4
141	10	4	2,584	-	-0,4
142	6	2,5	1,292	-	-0,5
143	11	4	2,584	-	-0,5
144	4	1,5	1,292	-	-0,1
145	6	2	1,292	-	-0,1
146	4	1,5	1,292	-	-0,2
147	5	2	1,292	-	-0,2
148	6	2,5	1,292	-	-0,3
149	6	2,5	1,292	-	-0,1
150	9	3	2,584	-	-0,2
151	5	2	1,292	-	-0,3
152	5	2	1,292	-	-0,3
153	9	3	3,876	-	-0,3
154	1	0,5	1,292	-	-0,2

Fuente: Elaboración propia.

- **Distrito 9: 2 de mayo, 1ro de mayo, El constructor, San Bernardo, Pedro Antonio Flores, 6 de agosto, La Salamanca, Luis Espinal, Narciso Campero, Aniceto Arce, Moto Méndez, Andaluz, Palmarcito, 27 de mayo Sur, 20 familias**

Fig. 3.33. Acopio de agregados en el distrito 9.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.34. Ubicación del punto de acopio en el distrito 9.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 9
Nombre	Avenida La Paz
Latitud	21°31'53,6"S
Longitud	64°43'16,6"W

Tabla 3.9. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 9.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial “Z” (mV)
1	64	26	15,503	-	-0,1
2	18	7	2,584	-	-0,1
3	59	21	12,919	-	-0,1
4	33	14	7,752	-	-0,2
5	37	14	7,752	-	-0,2
6	18	7	2,584	-	-0,4
7	13	5	2,584	-	-0,4
8	18	6	2,584	-	-0,4
9	8	3	1,292	-	-0,5
10	22	8	5,168	-	-0,5
11	16	5	2,584	-	-0,5
12	15	5	2,584	-	-0,5
13	22	7	5,168	-	-0,6
14	44	20	10,335	-	-0,3
15	28	12	5,168	-	-0,3
16	33	14	7,752	-	-0,3
17	27	10	5,168	-	-0,3
18	34	14	7,752	-	-0,4
19	17	6	3,876	-	-0,4
20	49	22	10,335	-	-0,4
21	6	2,5	1,292	-	-0,3
22	13	5	2,584	-	-0,3
23	18	6	2,584	-	-0,2
24	34	14	7,752	-	-0,1
25	15	4	2,584	-	-0,2
26	23	8	5,168	-	-0,2
27	13	4	2,584	-	-0,1
28	22	7	5,168	-	-0,1
29	8	3	1,292	-	-0,2
30	9	3,5	1,292	-	-0,3
31	11	4	2,584	-	-0,3
32	8	3	1,292	-	-0,3
33	19	7	2,584	-	-0,3
34	10	4	2,584	-	-0,3
35	15	5	2,584	-	-0,3
36	9	3	1,292	-	-0,5

37	8	3	1,292	-	-0,5
38	14	5	2,584	-	-0,6
39	18	7	2,584	-	-0,6
40	21	7	5,168	-	-0,6
41	9	3	1,292	-	-0,7
42	8	3	1,292	-	-0,8
43	12	4	2,584	-	-0,8
44	12	4	2,584	-	-0,8
45	13	4	2,584	-	-0,8
46	18	6	2,584	-	-0,9
47	29	12	5,168	-	-0,9
48	14	5	2,584	-	-0,9
49	21	7	5,168	-	-0,9
50	17	6	2,584	-	-0,9
51	53	21	12,919	-	-0,9
52	12	4	2,584	-	-1,1
53	16	5	2,584	-	-1,1
54	17	5	2,584	-	-1,1
55	28	12	5,168	-	-1,5
56	31	12	7,752	-	-1,5
57	8	3	1,292	-	-2,4
58	16	6	2,584	-	-2,4
59	12	4	2,584	-	-2,4
60	31	12	7,752	-	-2,3
61	10	4	2,584	-	-2,3
62	7	2,5	1,292	-	-2,5
63	10	4	2,584	-	-2,5
64	8	3	1,292	-	-2,5
65	20	7	5,168	-	-0,2
66	12	4	2,584	-	-0,2
67	25	10	5,168	-	-0,3
68	25	9	5,168	-	-0,3
69	5	2	1,292	-	-0,3
70	11	4	2,584	-	-0,2
71	7	2,5	1,292	-	-0,2
72	26	10	5,168	-	-0,2
73	14	5	2,584	-	-2,1
74	35	13	7,752	-	-2,1
75	25	9	6,460	-	-2,1
76	21	7	5,168	-	-2,1

77	13	5	2,584	-	-0,9
78	24	10	5,168	-	-0,9
79	96	38	23,255	-	-0,9
80	36	14	7,752	-	-0,9
81	12	4	2,584	-	-0,9
82	24	8	5,168	-	-0,9
83	45	19	10,335	-	-0,9
84	14	5	2,584	-	-1,1
85	15	5	2,584	-	-0,9
86	41	17	10,335	-	-1,1
87	20	7	5,168	-	-1,1
88	46	19	10,335	-	-1,0
89	10	4	2,584	-	-1,0
90	15	6	2,584	-	-1,0
91	8	3	1,292	-	-1,0
92	41	17	10,335	-	-1,0
93	19	7	2,584	-	-1,0
94	9	3	1,292	-	-1,0
95	32	12	7,752	-	-1,0
96	43	17	10,335	-	-1,0
97	13	4	2,584	-	-1,0
98	12	4	2,584	-	-0,9
99	14	5	2,584	-	-0,9
100	14	4,5	2,584	-	-0,9
101	48	16	10,335	-	-0,9
102	51	18	12,919	-	-0,9
103	10	4	2,584	-	-0,9
104	10	4	2,584	-	-0,9
105	15	6	2,584	-	-0,9
106	37	14	7,752	-	-0,9
107	7	2,5	1,292	-	-0,9
108	14	5	2,584	-	-0,9
109	17	5	2,584	-	-0,8
110	8	3	1,292	-	-0,8
111	41	16	10,335	-	-0,7
112	7	2,5	1,292	-	-0,7
113	7	2,5	1,292	-	-0,7
114	5	2	1,292	-	-0,6
115	5	2	1,292	-	-0,6
116	10	4	2,584	-	-0,6

117	10	4	2,584	-	-0,6
118	8	3	1,292	-	-0,6
119	9	3,5	1,292	-	-0,6
120	9	3	1,292	-	-0,6
121	11	4	2,584	-	-0,3
122	12	4	2,584	-	-0,3
123	35	13	7,752	-	-0,3
124	11	4	2,584	-	-0,3
125	13	5	2,584	-	-0,3
126	9	3	1,292	-	-0,3
127	9	3	1,292	-	-0,3
128	21	7	5,168	-	-0,3
129	53	18	12,919	-	-0,3
130	14	5	2,584	-	-0,3
131	9	3	1,292	-	-0,3
132	5	2	1,292	-	-0,3
133	13	4	2,584	-	-0,3
134	18	6	2,584	-	-0,3
135	6	2,5	1,292	-	-0,2
136	14	5	2,584	-	-0,2
137	19	7	2,584	-	-0,2
138	12	4	2,584	-	-0,2
139	5	2	1,292	-	-0,2
140	20	7	6,460	-	-0,2
141	13	4	3,876	-	-0,2
142	9	3	1,292	-	-0,2
143	6	2,5	1,292	-	-0,1
144	6	2	1,292	-	-0,1
145	10	3,5	2,584	-	-0,1
146	14	4	2,584	-	-0,1
147	11	4	2,584	-	-0,1
148	13	4	2,584	-	-0,1
149	12	4	2,584	-	-0,2
150	13	4	2,584	-	-0,2
151	6	2,5	1,292	-	-0,2
152	4	2	1,292	-	-0,3
153	7	2,5	1,292	-	-0,3
154	6	2,5	1,292	-	-0,3

Fuente: Elaboración propia.

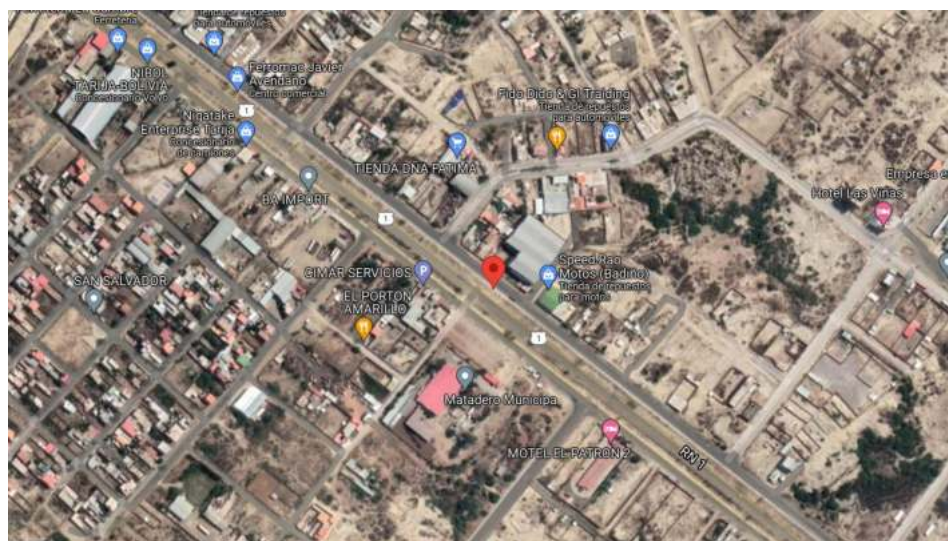
- **Distrito 10: Bartolomé Attard, Rosedal, San Pedro, Juan XXIII, 15 de abril, Aeropuerto, Morros Blancos, Simón Bolívar, San Jorge I, San Jorge II, Torrecillas, San Salvador, El Portillo**

Fig. 3.35. Acopio de agregados en el distrito 10.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.36. Ubicación del punto de acopio en el distrito 10.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 10
Nombre	Carretera al Chaco Km7
Latitud	21°33'37,9"S
Longitud	64°40'48,7"O

Tabla 3.10. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 10.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	60	30	18,087	-	-0,1
2	56	21	15,503	-	-0,1
3	69	30	18,087	-	-0,2
4	41	17	12,919	-	-0,2
5	38	13	10,335	-	-0,3
6	33	11	10,335	-	-0,3
7	39	16	11,627	-	-0,3
8	51	18,5	15,503	-	-0,4
9	18	7	5,168	-	-0,4
10	29	12	7,752	-	-0,5
11	27	11	7,752	-	-0,5
12	33	12	10,335	-	-0,6
13	45	16	12,919	-	-0,4
14	19	7	5,168	-	-0,4
15	37	16	10,335	-	-0,4
16	42	17	12,919	-	-0,4
17	48	18	12,919	-	-0,5
18	29	12	9,044	-	-0,4
19	21	7	7,752	-	-0,4
20	25	8	11,627	-	-0,1
21	39	13	10,335	-	-0,2
22	47	18	12,919	-	-0,2
23	34	11	11,627	-	-0,4
24	30	10	10,335	-	-0,4
25	27	8	7,752	-	-0,5
26	17	7	5,168	-	-0,5
27	33	12	10,335	-	-0,5
28	20	8	7,752	-	-0,5
29	73	31	20,671	-	-0,5
30	27	12	9,044	-	-0,5
31	45	15	12,919	-	-0,5
32	43	14	12,919	-	-0,5
33	19	7	5,168	-	-0,7
34	14	6	5,168	-	-0,7
35	35	13	10,335	-	-0,7
36	22	8	7,752	-	-0,7

37	32	12	10,335	-	-0,7
38	20	7	7,752	-	-0,7
39	8	3	2,584	-	-0,7
40	14	5	5,168	-	-0,7
41	74	30	20,671	-	-0,7
42	13	4	5,168	-	-0,8
43	23	8	7,752	-	-0,4
44	22	7	7,752	-	-0,5
45	23	7	7,752	-	-0,4
46	22	7	7,752	-	-0,4
47	44	15	12,919	-	-0,5
48	73	31	20,671	-	-0,5
49	24	8	7,752	-	-0,5
50	15	6	5,168	-	-0,3
51	18	7	5,168	-	-1,0
52	39	14	10,335	-	-1,3
53	19	7	5,168	-	-1,2
54	32	12	10,335	-	-1,2
55	18	7	5,168	-	-1,2
56	18	6,5	5,168	-	-0,9
57	37	13	10,335	-	-0,9
58	22	8	7,752	-	-0,9
59	23	7	7,752	-	-0,9
60	15	6	6,460	-	-0,9
61	32	12	10,335	-	-0,9
62	14	5	5,168	-	-0,8
63	7	3	1,292	-	-0,8
64	26	10	7,752	-	-0,8
65	13	4	2,584	-	-0,8
66	27	11	7,752	-	-0,8
67	15	5	2,584	-	-0,8
68	22	7	7,752	-	-1,1
69	36	14	10,335	-	-1,1
70	9	3	1,292	-	-1,0
71	24	10	5,168	-	-1,0
72	14	4,5	5,168	-	-1,0
73	19	7	6,460	-	-1,0
74	20	7	7,752	-	0,0
75	68	30	18,087	-	-1,0
76	19	7,5	5,168	-	-1,0

77	7	3	1,292	-	-1,0
78	15	5,5	5,168	-	-1,0
79	15	5	5,168	-	-1,0
80	14	5	5,168	-	-1,1
81	16	6	6,460	-	-1,1
82	32	11	10,335	-	-1,1
83	19	7	6,460	-	-1,1
84	14	5	5,168	-	-1,1
85	7	3	1,292	-	-1,0
86	7	3	1,292	-	-1,0
87	11	4	2,584	-	-1,0
88	52	22	15,503	-	-0,9
89	19	7	2,584	-	-0,9
90	21	7	5,168	-	-0,9
91	21	8	5,168	-	-0,9
92	11	4	2,584	-	-0,9
93	14	5	2,584	-	-0,9
94	9	3	1,292	-	-0,9
95	47	18	12,919	-	-0,8
96	13	4	2,584	-	-0,8
97	18	6	2,584	-	-0,8
98	19	6	3,876	-	-0,8
99	38	12	10,335	-	-0,8
100	37	12	10,335	-	-0,8
101	22	7	7,752	-	-2,1
102	32	11	10,335	-	-2,4
103	13	4	5,168	-	-2,1
104	14	5	5,168	-	-2,1
105	22	7	7,752	-	-2,2
106	16	5	5,168	-	-2,2
107	38	12	10,335	-	-2,2
108	11	4	2,584	-	-2,1
109	22	7	7,752	-	-2,1
110	21	7	7,752	-	-2,1
111	16	5	5,168	-	-2,1
112	12	4	5,168	-	-2,2
113	18	6	5,168	-	-2,2
114	14	5	5,168	-	-2,0
115	32	12	10,335	-	-2,0
116	25	9	7,752	-	-2,0

117	12	4	3,876	-	-2,0
118	7	3	1,292	-	-1,1
119	11	4	2,584	-	-1,1
120	13	4,5	2,584	-	-1,1
121	39	13	7,752	-	-1,1
122	15	5,5	2,584	-	-1,1
123	8	3	1,292	-	-1,1
124	30	12	10,335	-	-1,1
125	35	13	11,627	-	-1,1
126	18	7	2,584	-	-1,1
127	39	12	10,335	-	-1,1
128	19	8	5,168	-	-1,1
129	15	7	5,168	-	-0,9
130	86	32	23,255	-	-0,9
131	26	10	7,752	-	-0,9
132	10	4	5,168	-	-0,9
133	13	4,5	5,168	-	-0,9
134	25	10	6,460	-	-0,8
135	10	4,5	2,584	-	-0,8
136	8	3	2,584	-	-0,8
137	19	7	2,584	-	-0,5
138	7	2	1,292	-	-0,5
139	7	3	1,292	-	-0,5
140	7	2,5	1,292	-	-0,3
141	9	3	1,292	-	-0,2
142	13	4,5	2,584	-	-0,2
143	4	2	1,292	-	-0,3
144	11	4	2,584	-	-0,4
145	8	3	1,292	-	-0,5
146	9	3	1,292	-	-0,2
147	7	2,5	1,292	-	-0,1
148	5	2	12,919	-	-0,1
149	4	1,5	1,292	-	-0,2
150	4	1,5	1,292	-	-0,2
151	8	3	1,292	-	-0,1
152	9	3	1,292	-	-0,2
153	4	2	1,292	-	-0,2
154	8	3	1,292	-	-0,1

Fuente: Elaboración propia.

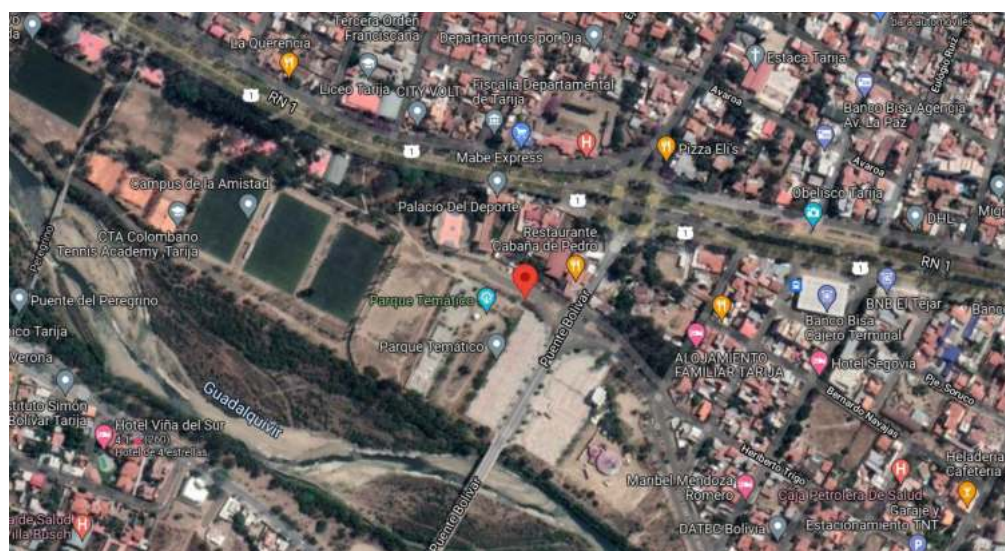
- **Distrito 11: San Jerónimo, El Tejar, San Luis, Petrolero, El temporal**

Fig. 3.37. Acopio de agregados en el distrito 11.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.38. Ubicación del punto de acopio en el distrito 11.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 11
Nombre	Parque Temático
Latitud	21°32'30,4"S
Longitud	64°43'42,0"O

Tabla 3.11. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 11.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	40	17	7,752	-	-0,5
2	29	9	12,919	-	-0,1
3	25	10	20,671	-	-0,2
4	42	16	12,919	-	-0,1
5	25	9	0,000	-	-0,1
6	18	8,5	10,335	-	-0,2
7	19	8	12,919	-	-0,2
8	15	6	2,584	-	-0,4
9	18	7	2,584	-	-0,4
10	21	8,5	5,168	-	-0,5
11	19	7,5	5,168	-	-0,5
12	11	4,5	12,919	-	-0,2
13	27	8	10,335	-	-0,1
14	18	6	2,584	-	-0,1
15	33	13	2,584	-	-0,1
16	12	5	12,919	-	-0,3
17	47	16	5,168	-	-0,3
18	10	5	5,168	-	-0,3
19	14	5	6,460	-	-0,3
20	26	9	2,584	-	-0,3
21	11	5	5,168	-	-0,3
22	1	4	10,335	-	-0,1
23	23	13	12,919	-	-0,1
24	20	7	12,919	-	-0,2
25	26	15	10,335	-	-0,2
26	20	7	3,876	-	-0,2
27	32	12	5,168	-	-0,7
28	22	8	6,460	-	-0,8
29	16	6	16,795	-	-0,9
30	33	12	12,919	-	-0,7
31	43	17	10,335	-	-0,8
32	13	5	10,335	-	-0,7
33	32	13	10,335	-	-0,7
34	28	10	12,919	-	-1,5
35	33	11	12,919	-	-1,5
36	21	8	10,335	-	-1,6

37	13	4	20,671	-	-1,6
38	12	4	12,919	-	-1,6
39	14	5	7,752	-	-1,6
40	24	9	20,671	-	-1,4
41	14	3	15,503	-	-1,4
42	20	7,5	10,335	-	-1,4
43	18	7	12,919	-	-1,5
44	11	5	12,919	-	-1,5
45	14	5	12,919	-	-1,4
46	13	5	10,335	-	-0,5
47	25	11	10,335	-	-1,5
48	29	9,5	12,919	-	-2,2
49	12	5	12,919	-	-2,8
50	14	5	5,168	-	-2,8
51	19	7	12,919	-	-2,9
52	12	5	18,087	-	-2,4
53	20	7	12,919	-	-2,4
54	18	6	20,671	-	-2,1
55	9	3,5	12,919	-	-2,1
56	11	4	12,919	-	-2,1
57	24	8	5,168	-	-2,0
58	24	7	2,584	-	-2,1
59	14	6	5,168	-	-2,7
60	10	4	10,335	-	-2,5
61	16	6	10,335	-	-2,5
62	26	8	2,584	-	-2,0
63	10	3,5	7,752	-	-2,7
64	7	3	2,584	-	-2,4
65	12	4	5,168	-	-2,2
66	58	21	5,168	-	-2,1
67	22	8	5,168	-	-2,4
68	31	12	2,584	-	-2,5
69	13	6	2,584	-	-2,2
70	42	15	20,671	-	-0,2
71	15	5,5	10,335	-	-1,8
72	15	5	5,168	-	-1,9
73	19	7	6,460	-	-1,8
74	10	4	7,752	-	-1,8
75	26	6	7,752	-	-1,5
76	39	15	9,044	-	-1,9

77	15	6	7,752	-	-1,9
78	18	7	12,919	-	-1,9
79	16	6,5	12,919	-	-0,8
80	29	7	2,584	-	-0,8
81	22	10	2,584	-	-0,7
82	11	4	2,584	-	-0,7
83	43	17	3,876	-	-1,0
84	21	7	5,168	-	-0,8
85	16	6	5,168	-	-0,8
86	19	8	5,168	-	-0,8
87	7	2	6,460	-	-0,9
88	34	13	23,255	-	-0,7
89	19	8	2,584	-	-0,8
90	16	6	2,584	-	-0,8
91	14	5,5	10,335	-	-0,5
92	14	6	12,919	-	-0,5
93	11	4	5,168	-	-0,2
94	7	3	12,919	-	-0,5
95	12	5	5,168	-	-0,9
96	46	19	2,584	-	-0,8
97	18	6	2,584	-	-1,5
98	14	5	7,752	-	-1,5
99	32	10	6,460	-	-1,5
100	15	5	6,460	-	-1,6
101	12	5	6,460	-	-1,5
102	14	5,5	15,503	-	-1,5
103	15	6	7,752	-	-1,5
104	10	3,5	5,168	-	-1,7
105	12	5	2,584	-	-1,5
106	19	8	2,584	-	-1,6
107	10	4	2,584	-	-1,7
108	31	9	2,584	-	-0,9
109	14	6	3,876	-	-0,8
110	14	6	3,876	-	-0,9
111	39	15	20,671	-	-0,9
112	26	10	15,503	-	-0,9
113	18	7	12,919	-	-0,8
114	12	5	12,919	-	-0,7
115	15	6	10,335	-	-0,8
116	12	5	10,335	-	-0,8

117	9	4	12,919	-	-0,8
118	24	10	10,335	-	-0,9
119	12	5	2,584	-	-0,7
120	16	6	2,584	-	-0,7
121	13	5	5,168	-	-1,8
122	15	6	12,919	-	-1,8
123	13	5	18,087	-	-1,4
124	12	4	20,671	-	-1,0
125	10	4	10,335	-	-1,6
126	9	4	2,584	-	-1,5
127	15	6	2,584	-	-1,5
128	7	3	2,584	-	-1,0
129	8	3	10,335	-	-1,4
130	12	5	12,919	-	-1,5
131	12	5	2,584	-	-1,5
132	8	3	5,168	-	-1,6
133	9	4	6,460	-	-1,5
134	12	4	5,168	-	-0,7
135	11	4	5,168	-	-0,5
136	10	4,5	9,044	-	-0,2
137	5	2	2,584	-	-0,1
138	12	5	3,876	-	-0,5
139	16	8,5	1,292	-	-0,2
140	8	3	1,292	-	-0,9
141	15	6,5	5,168	-	-2,5
142	20	8	2,584	-	-2,4
143	11	4	2,584	-	-2,4
144	11	4	10,335	-	-2,7
145	14	5,5	2,584	-	-2,5
146	11	4,5	5,168	-	-2,4
147	14	6	5,168	-	-2,1
148	18	7	7,752	-	-2,0
149	24	9	5,168	-	-2,1
150	17	4	5,168	-	-2,1
151	28	13	5,168	-	-2,3
152	29	11	3,876	-	-2,6
153	20	7	2,584	-	-2,6
154	20	10	7,752	-	-2,4

Fuente: Elaboración propia.

- **Distrito 12: San Blas, Miraflores, German Busch, San Martín**

Fig. 3.39. Acopio de agregados en el distrito 12.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.40. Ubicación del punto de acopio en el distrito 12.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 12
Nombre	San Blas-Río Guadalquivir
Latitud	21°33'31,4"S
Longitud	64°42'57,7"O

Tabla 3.12. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 12.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	31	11	18,087	-	-0,2
2	48	16	20,671	-	-0,2
3	51	19	10,335	-	-0,1
4	15	6	2,584	-	-0,3
5	56	15	15,503	-	-0,5
6	49	19	20,671	-	-0,2
7	38	12	12,919	-	-0,3
8	21	7	12,919	-	-0,1
9	29	10	12,919	-	-0,1
10	31	10	10,335	-	-0,2
11	35	12	10,335	-	-0,2
12	27	10	12,919	-	-0,2
13	42	17	12,919	-	-0,3
14	31	10,5	12,919	-	-0,2
15	22	8	12,919	-	-0,1
16	59	20	10,335	-	-0,1
17	45	15	10,335	-	-0,1
18	24	9	11,627	-	-0,2
19	19	7	7,752	-	-0,2
20	48	19	10,335	-	-0,2
21	17	4	12,919	-	-0,3
22	61	25	20,671	-	-0,3
23	15	6	12,919	-	-0,2
24	32	13	15,503	-	-0,1
25	27	12	18,087	-	-0,1
26	25	9	20,671	-	-0,1
27	26	10	10,335	-	-0,1
28	18	8	10,335	-	-0,2
29	25	9	15,503	-	-0,2
30	28	10	10,335	-	-0,5
31	16	4	12,919	-	-0,5
32	20	7	12,919	-	-0,6
33	15	4	12,919	-	-0,6
34	59	20	10,335	-	-0,6
35	21	7	12,919	-	-0,4
36	33	13	12,919	-	-0,4

37	25	9	10,335	-	-0,5
38	14	5	15,503	-	-0,5
39	37	13	15,503	-	-0,8
40	35	12	18,087	-	-0,8
41	13	5	20,671	-	-0,7
42	29	11	12,919	-	-0,9
43	31	11	10,335	-	-0,9
44	24	9	15,503	-	-0,9
45	25	9	10,335	-	-0,1
46	36	13	12,919	-	-0,1
47	17	5	5,168	-	-0,9
48	58	20	5,168	-	-0,9
49	16	6	6,460	-	-0,9
50	10	4	5,168	-	-0,9
51	18	7	7,752	-	-0,9
52	32	12	15,503	-	-1,1
53	31	12,5	10,335	-	-1,0
54	39	14	12,919	-	-1,0
55	33	12	18,087	-	-1,0
56	22	8	10,335	-	-1,0
57	26	10	12,919	-	-1,5
58	51	19	5,168	-	-1,5
59	17	5	7,752	-	-1,5
60	49	22	12,919	-	-1,9
61	47	21	10,335	-	-1,9
62	34	13	15,503	-	-2,1
63	16	5,5	12,919	-	-2,4
64	10	4	10,335	-	-2,4
65	31	12	10,335	-	-2,1
66	15	4	12,919	-	-2,1
67	14	4	20,671	-	-2,6
68	21	7	10,335	-	-2,6
69	20	7	18,087	-	-1,8
70	27	10	15,503	-	-1,8
71	19	7	12,919	-	-0,5
72	23	8	12,919	-	-0,5
73	34	13	14,211	-	-0,5
74	26	11	10,335	-	-0,5
75	31	12	7,752	-	-1,1
76	30	12	12,919	-	-1,0

77	35	13	20,671	-	-1,1
78	14	5	18,087	-	-1,1
79	21	8	12,919	-	-1,0
80	36	13	12,919	-	-1,1
81	22	8	12,919	-	-1,1
82	25	9	10,335	-	-1,0
83	14	5	5,168	-	-1,0
84	15	6	15,503	-	-1,0
85	12	4	12,919	-	-1,0
86	28	11	18,087	-	-0,7
87	21	7	10,335	-	-0,5
88	18	7	20,671	-	-0,5
89	41	16	15,503	-	-0,6
90	36	13	10,335	-	-0,6
91	61	25	23,255	-	-0,6
92	58	21	7,752	-	-0,5
93	57	20	15,503	-	-0,5
94	48	16	10,335	-	-0,5
95	22	9	12,919	-	-0,4
96	38	13	10,335	-	-0,5
97	27	11	12,919	-	-0,5
98	29	11	15,503	-	-0,4
99	39	14	5,168	-	-0,4
100	21	7	5,168	-	-0,4
101	42	16	5,168	-	-0,5
102	15	6	5,168	-	-0,6
103	45	16	10,335	-	-0,6
104	41	15	12,919	-	-0,6
105	39	15	12,919	-	-0,1
106	51	19,5	7,752	-	-0,2
107	62	26	5,168	-	-0,2
108	21	7	12,919	-	-0,2
109	25	9	10,335	-	-0,1
110	19	6,5	15,503	-	-0,1
111	15	5	2,584	-	-0,1
112	12	4	2,584	-	-0,1
113	17	6	2,584	-	-0,1
114	24	10	12,919	-	-0,2
115	20	8	10,335	-	-0,2
116	29	12	15,503	-	-0,3

117	17	6	3,876	-	-0,3
118	15	5	5,168	-	-0,3
119	15	5	3,876	-	-0,3
120	31	13	5,168	-	-0,7
121	30	12	7,752	-	-0,7
122	25	9	10,335	-	-0,7
123	12	4	12,919	-	-0,7
124	24	10	10,335	-	-0,8
125	23	9	10,335	-	-0,8
126	20	7	5,168	-	-0,8
127	19	7	7,752	-	-0,8
128	31	11	5,168	-	-0,8
129	29	11	5,168	-	-0,9
130	10	4	1,292	-	-0,9
131	15	6	2,584	-	-0,9
132	19	7	1,292	-	-0,9
133	25	8	7,752	-	-0,9
134	31	12	5,168	-	-0,4
135	28	11	7,752	-	-0,5
136	27	11	10,335	-	-0,5
137	41	16	10,335	-	-0,2
138	59	22	11,627	-	-0,2
139	62	25	23,255	-	-0,2
140	37	14	10,335	-	-0,3
141	59	21	12,919	-	-0,3
142	41	16	7,752	-	-0,3
143	67	27	18,087	-	-0,3
144	31	12	1,292	-	-0,3
145	47	16	1,292	-	-0,1
146	57	22	3,876	-	-0,1
147	35	14	3,876	-	-0,2
148	29	11	3,876	-	-0,1
149	38	13	1,292	-	-0,2
150	34	12	1,292	-	-0,1
151	20	7	1,292	-	-0,4
152	29	11	2,584	-	-0,4
153	43	16	2,584	-	-0,3
154	38	14	2,584	-	-0,3

Fuente: Elaboración propia.

- **Distrito 13 – Tabladita I, Méndez Arcos, Senac, Luis de Fuentes, San Antonio, Catedral, Tabladita II, Alto Senac, Las Palmas**

Fig. 3.41. Acopio de agregados en el distrito 13.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.42. Ubicación del punto de acopio en el distrito 13.



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Distrito 13
Nombre	Plaza Mirador Héroes de la Independencia
Latitud	21°32'14,7"S
Longitud	64°44'36,5"O

Tabla 3.13. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 13.

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	20	7,5	5,168	-	-1,2
2	14	6	5,168	-	-2,5
3	24	10	3,876	-	-1,5
4	18	7,5	7,752	-	-1,0
5	27	8	7,752	-	-0,2
6	14	5,5	9,044	-	-0,3
7	22	7,5	9,044	-	-0,5
8	23	7,5	3,876	-	-0,4
9	20	7	12,919	-	-1,1
10	16	6,5	12,919	-	-1,5
11	17	6,5	5,168	-	-1,4
12	15	6	5,168	-	-1,8
13	12	4,5	7,752	-	-0,8
14	11	4,5	5,168	-	-1,5
15	12	5,5	9,044	-	-0,2
16	27	10	20,671	-	-0,3
17	17	6,5	5,168	-	-0,5
18	15	6	3,876	-	-1,5
19	18	8	7,752	-	-2,5
20	14	5,5	10,335	-	-2,4
21	18	7	6,460	-	-2,1
22	13	5	12,919	-	-0,8
23	18	7	5,168	-	-0,7
24	17	6	5,168	-	-0,2
25	15	6	9,044	-	-2,5
26	16	6	5,168	-	-1,4
27	26	11	6,460	-	-1,6
28	11	5	5,168	-	-1,7
29	14	5	2,584	-	-1,5
30	15	6	10,335	-	-2,5
31	11	4	7,752	-	-1,2
32	18	7	12,919	-	-2,6
33	12	5	7,752	-	-2,5
34	28	11	10,335	-	-2,4
35	15	6	7,752	-	-1,4

36	9	4	2,584	-	-1,5
37	13	5	7,752	-	-1,8
38	21	7,5	7,752	-	-1,8
39	9	3,5	5,168	-	-1,8
40	14	5,5	5,168	-	-1,9
41	14	5	5,168	-	-0,2
42	13	5	6,460	-	-0,5
43	11	4,5	12,919	-	-0,6
44	19	8	10,335	-	-0,5
45	10	3,5	2,584	-	-1,5
46	12	4,5	5,168	-	-1,5
47	11	4,5	7,752	-	-1,6
48	7	2,5	5,168	-	-1,5
49	6	2,5	3,876	-	-1,0
50	8	3	2,584	-	-1,8
51	15	6	5,168	-	-1,5
52	17	7	6,460	-	-1,0
53	16	6	7,752	-	-1,9
54	18	7	10,335	-	-1,8
55	12	5	7,752	-	-0,9
56	10	4	7,752	-	-0,7
57	15	6	18,087	-	-0,8
58	12	4,5	7,752	-	-1,0
59	17	7	7,752	-	-1,5
60	9	3,5	7,752	-	-1,4
61	17	6,5	2,584	-	-1,8
62	24	10	20,671	-	-1,8
63	11	4	12,919	-	-0,8
64	18	7	2,584	-	-0,8
65	10	4	5,168	-	-0,4
66	10	4	3,876	-	-0,2
67	17	7	6,460	-	-0,7
68	19	7	7,752	-	-0,8
69	20	8	15,503	-	-1,7
70	12	4,5	10,335	-	-1,5
71	14	6	5,168	-	-1,1
72	15	5,5	5,168	-	-1,5
73	15	5,5	6,460	-	-1,0
74	15	6	7,752	-	-1,5
75	22	9	5,168	-	-2,0

76	13	5	10,335	-	-2,1
77	22	9	7,752	-	-0,8
78	14	5,5	15,503	-	-1,8
79	15	5	5,168	-	-1,4
80	18	7,5	5,168	-	-1,5
81	25	9,5	12,919	-	-1,4
82	11	4,5	5,168	-	-1,5
83	19	7,5	5,168	-	-1,5
84	21	8	6,460	-	-1,4
85	22	9	7,752	-	-0,5
86	20	8	6,460	-	-0,5
87	14	5	12,919	-	-0,4
88	13	4	6,460	-	-0,5
89	30	13	18,087	-	-0,8
90	20	7	5,168	-	-0,4
91	9	4	3,876	-	-0,5
92	13	6	5,168	-	-0,5
93	24	9	20,671	-	-1,5
94	15	6	7,752	-	-1,0
95	16	6	3,876	-	-1,5
96	14	6	5,168	-	-1,6
97	24	10	10,335	-	-1,9
98	9	4	7,752	-	-1,5
99	19	8	12,919	-	-0,5
100	21	9	9,044	-	-0,5
101	14	6	6,460	-	-0,4
102	12	4,5	10,335	-	-0,7
103	8	3,5	2,584	-	-0,8
104	13	3,5	6,460	-	-2,5
105	9	5	6,460	-	-1,8
106	8	5	2,584	-	-2,8
107	12	6	3,876	-	-2,7
108	12	7	3,876	-	-1,4
109	17	6	7,752	-	-1,5
110	19	6,5	15,503	-	-1,6
111	24	11	12,919	-	-1,0
112	15	4,5	20,671	-	-0,9
113	12	4	6,460	-	-0,8
114	5	2	1,292	-	-1,5
115	10	4	5,168	-	-2,5

116	16	6	6,460	-	-2,9
117	23	10	5,168	-	-2,7
118	14	5,5	3,876	-	-2,4
119	16	6	3,876	-	-1,5
120	17	6,5	7,752	-	-0,9
121	18	7	18,087	-	-1,5
122	14	5	10,335	-	-1,0
123	16	6	10,335	-	-1,5
124	14	5,5	7,752	-	-0,9
125	16	6	5,168	-	-2,0
126	16	6,5	10,335	-	-1,6
127	14	6	10,335	-	-0,3
128	14	6	7,752	-	-0,4
129	12	4,5	5,168	-	-0,5
130	16	6	3,876	-	-1,0
131	15	5,5	7,752	-	-0,9
132	14	5,5	12,919	-	-0,8
133	19	6	7,752	-	-0,4
134	11	4	3,876	-	-0,4
135	10	4	6,460	-	-0,8
136	9	3	10,335	-	-1,5
137	12	5	3,876	-	-1,8
138	7	2,5	5,168	-	-1,5
139	13	5	7,752	-	-1,0
140	19	6,5	10,335	-	-2,4
141	15	6	2,584	-	-1,5
142	14	5,5	12,919	-	-2,6
143	13	5,5	18,087	-	-2,6
144	16	6	7,752	-	-2,7
145	16	6	7,752	-	-1,5
146	18	7	15,503	-	-1,6
147	21	9	10,335	-	-1,6
148	15	6	5,168	-	-0,5
149	14	5,5	12,919	-	-0,6
150	14	6	6,460	-	-1,5
151	24	9	12,919	-	-2,5
152	14	6	5,168	-	-1,9
153	38	15	20,671	-	-2,1
154	22	9	7,752	-	-0,1

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Plantas trituradoras dentro de la zona central de Cercado

Con enfoque en la delimitación de la zona central de Cercado se recurrió a las tres plantas trituradoras existentes dentro de esta delimitación, para conocer la procedencia del árido que se extraen para su procesamiento; dando lugar con esto a la selección de tres plantas trituradoras para el estudio de los agregados y sus propiedades electrostáticas, siendo estas las siguientes:

- Áridos “16 de enero”.
- Áridos “San Blas”.
- Áridos “Garzón”.

3.3.1. Estudio de las propiedades electrostáticas de los agregados triturados

Se estudian los agregados triturados de las tres plantas trituradoras ubicadas dentro de la zona delimitada.

a) Áridos “16 de enero”

Planta trituradora ubicada en la zona de San Blas de la ciudad de Tarija. Es la primera planta seleccionada, el lugar de extracción del agregado que procesa es el Río Tolomosa, por lo tanto corresponde al método de extracción de áridos en lechos de río.

Fig. 3.43. Ubicación de la planta trituradora “16 de enero”.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.44. Acopio de agregado triturado: Áridos "16 de enero".



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.45. Estudio de los agregados triturados: Áridos "16 de enero".



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Planta trituradora
Nombre	Áridos "16 de enero"
Latitud	21°34'06,8"S
Longitud	64°42'36,0"O

Tabla 3.14. Propiedades físicas del agregado triturado: Áridos "16 de enero".

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	10	5	2,584	-	-1,4
2	4	1	2,584	-	-1,4
3	2	0,5	1,292	-	-1,5
4	9	2,5	2,584	-	-2,7

5	4	1,5	2,584	-	-2,8
6	9	4	1,292	-	-0,6
7	4	1,5	3,876	-	-0,5
8	4	1	6,460	-	-0,9
9	4	2	1,292	-	-1,2
10	7	3	1,292	-	-1,6
11	2	1	1,292	-	-1,7
12	4	2	2,584	-	-1,7
13	3	2	5,168	-	-1,7
14	2	1	2,584	-	-1,8
15	2	1	1,292	-	-2,0
16	5	2	5,168	-	-0,6
17	5	2	6,460	-	-0,6
18	3	1	1,292	-	-0,6
19	6	2,5	5,168	-	-0,7
20	5	2	6,460	-	-1,4
21	5	1,5	3,876	-	-1,8
22	5	2	2,584	-	-1,6
23	5	2	3,876	-	-1,6
24	3	1	3,876	-	-2,1
25	3	1	3,876	-	-2,3
26	3	1	5,168	-	-0,1
27	7	2,5	3,876	-	-0,3
28	4	1,5	3,876	-	-0,3
29	3	1,5	5,168	-	-0,4
30	7	2,5	5,168	-	-0,4
31	3	1	2,584	-	-0,2
32	6	2,5	5,168	-	-0,4
33	3	1	3,876	-	-0,5
34	6	2,5	3,876	-	-0,5
35	8	4	3,876	-	-0,5
36	11	4	1,292	-	-1,8
37	5	1,5	2,584	-	-1,7
38	6	3	1,292	-	-1,6
39	3	1	3,876	-	-1,6
40	6	2,5	5,168	-	-1,6
41	4	2	2,584	-	-1,8
42	2	1,5	6,460	-	-1,7
43	5	2	1,292	-	-1,6
44	12	4,5	6,460	-	-1,8

45	2	0,5	1,292	-	-0,9
46	6	2,5	5,168	-	-1,1
47	4	1,5	2,584	-	-1,1
48	8	2,5	2,584	-	-1,1
49	3	1,5	2,584	-	-1,1
50	3	1	3,876	-	-1,3
51	7	2	1,292	-	-0,8
52	6	2,5	3,876	-	-0,9
53	3	1	2,584	-	-1,0
54	3	1	3,876	-	-1,0
55	9	2,5	7,752	-	-1,9
56	2	1	3,876	-	-0,9
57	2	1	2,584	-	-1,1
58	4	1,5	2,584	-	-1,2
59	4	1,5	1,292	-	-1,3
60	7	2,5	5,168	-	-1,4
61	4	1,5	1,292	-	-1,4
62	6	2	1,292	-	-1,6
63	6	2	2,584	-	-1,6
64	3	1	2,584	-	-1,6
65	3	1	3,876	-	-1,6
66	6	2	5,168	-	-0,2
67	13	5	1,292	-	-0,2
68	6	2	3,876	-	-0,2
69	10	4,5	1,292	-	-0,3
70	4	1,5	2,584	-	-0,3
71	3	1	1,292	-	-0,1
72	4	1,5	5,168	-	-0,2
73	2	1	2,584	-	-0,2
74	4	1,5	7,752	-	-0,3
75	3	1	1,292	-	-0,5
76	19	7,5	3,876	-	-0,5
77	2	1	1,292	-	-0,6
78	3	1	2,584	-	-0,6
79	11	5,5	6,460	-	-0,6
80	5	2	3,876	-	-0,6
81	4	1,5	1,292	-	-0,6
82	4	2	2,584	-	-0,6
83	2	1	7,752	-	-0,6
84	4	1	3,876	-	-0,7

85	3	1	2,584	-	-0,8
86	2	1	2,584	-	-0,2
87	4	1,5	1,292	-	-0,3
88	5	2	1,292	-	-0,4
89	2	0,5	1,292	-	-0,6
90	3	1	2,584	-	-0,6
91	2	1	1,292	-	-0,6
92	5	2	1,292	-	-0,5
93	2	1	1,292	-	-0,8
94	4	1,5	5,168	-	-0,3
95	2	0,5	1,292	-	-0,3
96	7	3	1,292	-	-0,4
97	6	2,5	1,292	-	-0,6
98	4	1,5	2,584	-	-0,4
99	4	1,5	2,584	-	-0,6
100	4	1,5	1,292	-	-0,8
101	3	1,5	1,292	-	-0,8
102	4	1,5	2,584	-	-0,3
103	3	1	1,292	-	-0,1
104	2	0,5	1,292	-	-0,1
105	2	1	1,292	-	-0,2
106	3	1	2,584	-	-0,9
107	12	4,5	2,584	-	-1,9
108	10	4	2,584	-	-1,0
109	5	2	2,584	-	-0,8
110	4	1,5	5,168	-	-0,9
111	8	3	1,292	-	-1,0
112	6	2,5	7,752	-	-0,9
113	6	2,5	1,292	-	-1,1
114	6	2	2,584	-	-1,0
115	11	4	3,876	-	-1,1
116	4	1,5	2,584	-	-1,3
117	4	1,5	5,168	-	-1,0
118	2	1	7,752	-	-1,0
119	4	1,5	2,584	-	-1,0
120	3	1	1,292	-	-0,9
121	2	1	2,584	-	-1,6
122	1	0,5	1,292	-	-1,4
123	2	1	6,460	-	-1,3
124	7	3,5	1,292	-	-1,2

125	6	2,5	2,584	-	-1,2
126	2	0,5	1,292	-	-0,1
127	2	1	5,168	-	-0,2
128	1	0,5	2,584	-	-0,2
129	1	0,5	5,168	-	-0,2
130	3	1	1,292	-	-0,3
131	3	1	1,292	-	-0,7
132	2	0,5	7,752	-	-0,9
133	4	1,5	5,168	-	-1,2
134	3	1,5	2,584	-	-1,8
135	4	2	2,584	-	-2,0
136	2	0,5	3,876	-	-1,5
137	4	1,5	7,752	-	-1,5
138	2	0,5	2,584	-	-1,6
139	6	2	2,584	-	-1,8
140	4	1,5	1,292	-	-1,8
141	2	0,5	3,876	-	-1,8
142	2	0,5	5,168	-	-1,8
143	5	2	3,876	-	-1,8
144	6	2,5	1,292	-	-1,8
145	5	2	7,752	-	-1,8
146	1	0,5	1,292	-	-0,3
147	4	1,5	3,876	-	-0,1
148	4	2	7,752	-	-0,2
149	2	1	5,168	-	-0,2
150	5	2	5,168	-	-0,2
151	3	1,5	1,292	-	-0,2
152	1	0,5	2,584	-	-0,3
153	3	1,5	6,460	-	-0,3
154	9	3,5	3,876	-	-0,4

Fuente: Elaboración propia.

b) Áridos “Garzón”

Planta trituradora ubicada en la zona de San Mateo de la ciudad de Tarija. Es la segunda planta seleccionada; la zona de extracción del agregado que procesa es el Río Sella, por lo tanto corresponde al método de extracción de áridos en lechos de río.

Punto de estudio	Planta trituradora
Nombre	Áridos "Garzón"
Latitud	21°28'14,19"S
Longitud	64°45'3,09"O

Tabla 3.15. Propiedades físicas del agregado triturado: Áridos "Garzón".

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	3	1,0	3,876	-	-3,0
2	2	1,0	3,876	-	-3,0
3	2	1,0	2,584	-	-2,6
4	3	1,5	2,584	-	-3,0
5	2	0,8	5,168	-	-3,0
6	2	0,5	2,584	-	-3,0
7	2	2,5	3,876	-	-1,9
8	2	1,0	5,168	-	-2,3
9	5	1,0	5,168	-	-2,3
10	3	2,0	2,584	-	-1,9
11	2	1,5	3,876	-	-1,6
12	2	1,0	2,584	-	-2,1
13	2	1,0	2,584	-	-1,4
14	3	2,0	5,168	-	-1,5
15	4	1,5	5,168	-	-0,7
16	3	1,5	3,876	-	-0,6
17	2	1,5	2,584	-	-0,7
18	1	1,0	2,584	-	-1,1
19	3	1,0	5,168	-	-0,3
20	2	1,0	3,876	-	-0,4
21	2	1,0	2,584	-	-0,1
22	2	0,8	3,876	-	-0,7
23	2	0,8	1,292	-	-3,0
24	2	0,5	2,584	-	-0,6
25	2	1,0	3,876	-	-0,5
26	2	0,8	5,168	-	-0,5
27	2	0,9	2,584	-	-0,2
28	2	1,8	2,584	-	-0,6
29	2	1,0	5,168	-	-0,4

30	5	2,0	2,584	-	0,6
31	2	0,7	2,584	-	-0,5
32	2	1,0	7,752	-	-0,6
33	1	1,0	2,584	-	-2,3
34	1	0,8	5,168	-	-2,2
35	2	0,7	3,876	-	-2,1
36	2	0,5	2,584	-	-2,0
37	2	0,5	2,584	-	-2,0
38	2	1,0	2,584	-	-1,9
39	2	0,7	2,584	-	-0,8
40	2	0,5	3,876	-	-0,7
41	2	0,5	5,168	-	-0,9
42	3	1,0	6,460	-	-0,9
43	2	1,5	2,584	-	-1,0
44	2	1,0	2,584	-	-0,6
45	1	0,6	3,876	-	-0,7
46	2	1,0	3,876	-	-0,6
47	4	1,0	3,876	-	-0,5
48	1	1,0	2,584	-	-0,4
49	2	1,0	3,876	-	-0,2
50	2	1,0	2,584	-	-0,2
51	2	1,1	2,584	-	-0,2
52	2	0,5	3,876	-	-0,2
53	2	0,5	5,168	-	-1,0
54	1	0,6	5,168	-	-0,3
55	1	0,5	5,168	-	-0,2
56	2	1,5	6,460	-	0,3
57	3	2,0	2,584	-	-0,1
58	10	4,0	3,876	-	-0,2
59	5	3,0	2,584	-	-1,2
60	2	1,0	5,168	-	-1,1
61	1	1,1	6,460	-	-0,8
62	3	1,0	5,168	-	-0,6
63	2	1,0	3,876	-	-0,5
64	2	0,5	3,876	-	-0,6
65	2	1,0	3,876	-	-0,4
66	2	1,2	3,876	-	-0,3
67	3	2,0	2,584	-	-0,2
68	2	1,0	1,292	-	-0,1
69	3	2,0	1,292	-	-1,0

70	2	1,0	2,584	-	-1,0
71	2	1,0	1,292	-	-0,4
72	2	0,8	1,292	-	-0,2
73	1	0,5	3,876	-	-0,2
74	2	0,7	1,292	-	-0,8
75	2	0,3	0,000	-	-0,8
76	2	0,7	5,168	-	-0,7
77	2	1,0	5,168	-	-0,4
78	2	0,5	2,584	-	-0,2
79	1	0,5	3,876	-	-1,3
80	2	1,0	2,584	-	-1,2
81	2	1,0	2,584	-	-0,7
82	2	0,5	2,584	-	-0,5
83	2	0,5	3,876	-	-0,2
84	4	3,0	3,876	-	-0,2
85	2	1,0	1,292	-	-0,4
86	2	1,0	2,584	-	-0,5
87	1	0,7	1,292	-	-0,5
88	2	0,4	1,292	-	-0,7
89	1	0,5	1,292	-	-0,4
90	2	0,7	5,168	-	-0,1
91	2	0,8	5,168	-	-0,1
92	1	1,0	3,876	-	-0,1
93	2	1,0	3,876	-	-0,2
94	1	1,0	3,876	-	-2,1
95	2	1,0	3,876	-	-1,7
96	2	0,5	1,292	-	-1,2
97	2	0,5	1,292	-	-1,0
98	2	0,3	2,584	-	-0,9
99	2	1,0	1,292	-	-1,3
100	2	1,0	1,292	-	-1,1
101	2	1,0	1,292	-	-0,8
102	1	1,0	2,584	-	-0,5
103	2	0,7	2,584	-	-0,4
104	2	0,3	3,876	-	-1,1
105	2	0,7	2,584	-	-1,0
106	2	0,5	2,584	-	-0,8
107	2	0,5	2,584	-	-0,5
108	1	0,3	2,584	-	-0,3
109	2	1,0	1,292	-	-1,2

110	1	0,5	1,292	-	-1,1
111	2	1,0	1,292	-	-1,0
112	1	0,5	1,292	-	-0,7
113	2	1,0	1,292	-	-0,6
114	2	1,0	2,584	-	-1,5
115	2	1,0	3,876	-	-1,4
116	3	1,0	3,876	-	-1,0
117	4	2,0	2,584	-	-0,8
118	2	1,0	2,584	-	-0,6
119	2	1,0	2,584	-	-1,5
120	2	1,0	2,584	-	-1,4
121	2	1,0	1,292	-	-1,2
122	3	1,5	2,584	-	-1,1
123	2	1,0	2,584	-	-0,6
124	3	1,0	1,292	-	-0,4
125	2	1,0	2,584	-	-0,3
126	1	0,5	2,584	-	-0,2
127	1	0,5	2,584	-	-0,8
128	2	1,0	2,584	-	-0,2
129	2	1,0	2,584	-	-0,1
130	2	1,0	1,292	-	-0,3
131	2	1,0	1,292	-	-0,3
132	2	1,0	1,292	-	-0,6
133	3	1,5	3,876	-	-0,5
134	2	1,0	3,876	-	-0,5
135	2	1,0	3,876	-	-0,5
136	3	1,5	3,876	-	-0,4
137	2	1,0	2,584	-	-0,3
138	2	1,0	2,584	-	-0,2
139	2	1,0	2,584	-	-0,7
140	1	0,7	2,584	-	-0,5
141	1	0,3	1,292	-	-0,1
142	2	1,0	1,292	-	-0,7
143	2	1,0	1,292	-	-0,6
144	2	1,0	1,292	-	-0,4
145	2	1,0	2,584	-	-0,4
146	1	0,5	2,584	-	-0,3
147	2	1,0	2,584	-	-0,2
148	1	0,7	3,876	-	-0,2
149	1	0,5	5,168	-	-2,6

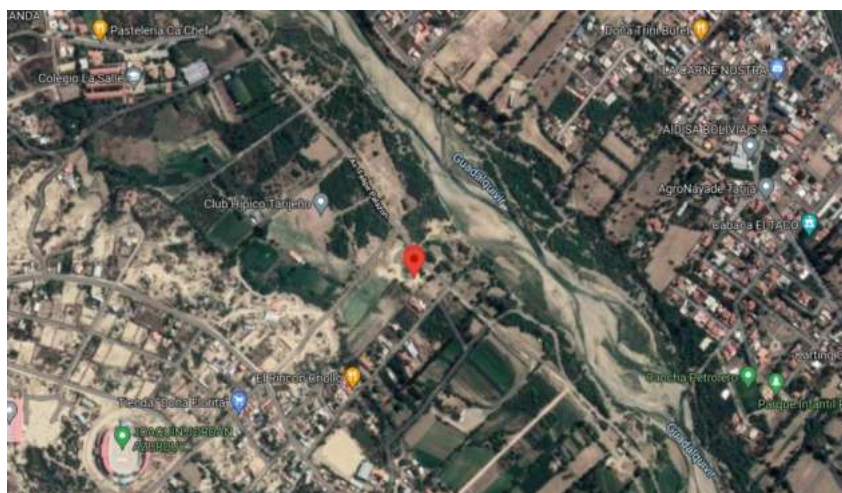
150	2	1,0	5,168	-	-2,4
151	2	1,0	3,876	-	-2,0
152	2	1,0	5,168	-	-1,5
153	2	1,0	5,168	-	-0,7
154	2	1,0	1,292	-	-1,4

Fuente: Elaboración propia.

c) Áridos “San Blas”

Planta trituradora ubicada en la zona de San Blas de la ciudad de Tarija. Es la tercera planta seleccionada, el lugar de extracción del agregado que procesa es el Río Guerrahuayco, por lo tanto corresponde al método de extracción de áridos en lechos de río.

Fig. 3.49. Ubicación planta trituradora: Áridos “San Blas”.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.50. Acopio de agregado triturado: Áridos “San Blas”.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.51. Estudio de agregado triturado: Áridos "San Blas".



Fuente: Elaboración propia.

Punto de estudio	Planta trituradora
Nombre	Áridos "San Blas"
Latitud	21°33'35,96"S
Longitud	64°43'0,38"O

Tabla 3.16. Propiedades físicas del agregado triturado: Áridos "San Blas".

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	7	2,5	3,876	-	-2,6
2	13	3,5	3,876	-	-2,8
3	9	3	2,584	-	-2,3
4	5	2	1,292	-	-1,0
5	8	2,5	2,584	-	-0,8
6	13	5	1,292	-	-0,6
7	5	1,5	5,168	-	-0,8
8	11	4	1,292	-	-0,9
9	6	3	2,584	-	-0,6
10	11	5	5,168	-	-0,7
11	7	3	6,460	-	-1,4
12	6	2	5,168	-	-1,5
13	7	3	1,292	-	-1,6
14	4	1	2,584	-	-1,6
15	12	5	1,292	-	-1,8
16	14	6	3,876	-	-1,5

17	6	3	3,876	-	-1,5
18	10	4	2,584	-	-2,5
19	4	2	1,292	-	-2,4
20	7	3	5,168	-	-0,9
21	9	4	6,460	-	-0,8
22	7	2,5	5,168	-	-1,1
23	8	5	5,168	-	0,5
24	5	1,5	1,292	-	-0,6
25	10	3,5	1,292	-	-1,5
26	6	2,5	2,584	-	-2,5
27	8	3	2,584	-	-2,5
28	8	4	3,876	-	-2,4
29	9	4	3,876	-	-2,0
30	11	4,5	1,292	-	-0,9
31	9	3,5	2,584	-	-1,1
32	8	3	3,876	-	-0,8
33	6	2	3,876	-	-0,9
34	9	3,5	1,292	-	-1,0
35	8	4	1,292	-	-1,1
36	7	2	5,168	-	-1,2
37	5	2	3,876	-	-2,5
38	4	1,5	2,584	-	-1,5
39	8	3	5,168	-	-2,5
40	6	2,5	5,168	-	-2,4
41	9	4	3,876	-	-0,9
42	4	1,5	1,292	-	-0,8
43	7	3	7,752	-	-1,7
44	5	2	6,460	-	-0,7
45	5	2	7,752	-	-0,2
46	7	2,5	3,876	-	-1,1
47	15	6	1,292	-	-1,5
48	8	3	2,584	-	-1,4
49	5	2	3,876	-	-1,4
50	3	1,5	1,292	-	-1,4
51	10	4,5	2,584	-	-0,9
52	9	3	5,168	-	-0,8
53	8	3	3,876	-	-0,8
54	3	1	2,584	-	-0,9
55	4	2	3,876	-	-1,1
56	3	1	2,584	-	-1,1

57	5	2	1,292	-	-0,9
58	5	2	5,168	-	-2,5
59	5	2	1,292	-	-1,1
60	5	1	6,460	-	-0,8
61	4	1,5	6,460	-	-0,9
62	5	1,5	7,752	-	-0,8
63	10	4,5	6,460	-	-0,9
64	9	4	2,584	-	-0,7
65	9	3	7,752	-	-0,9
66	5	2	6,460	-	-0,9
67	6	2,5	5,168	-	-0,9
68	8	3	6,460	-	-0,9
69	8	3	2,584	-	-0,7
70	10	4	1,292	-	-0,4
71	8	3,5	2,584	-	-0,2
72	9	4	2,584	-	-0,2
73	3	1	2,584	-	-0,1
74	6	2	1,292	-	-1,1
75	9	3,5	1,292	-	-1,9
76	8	3	3,876	-	-1,1
77	9	3,5	3,876	-	-1,4
78	4	1,5	5,168	-	-1,1
79	5	2	6,460	-	-1,4
80	7	2,5	7,752	-	-1,4
81	3	1	9,044	-	-1,1
82	4	2	1,292	-	-1,1
83	3	1	3,876	-	-1,2
84	4	1,5	5,168	-	-0,9
85	5	1,5	6,460	-	-0,8
86	2	1	2,584	-	-0,7
87	5	2	2,584	-	-1,8
88	5	1,5	2,584	-	-1,9
89	7	3	2,584	-	-1,8
90	7	2,5	2,584	-	-1,8
91	5	1,5	1,292	-	-1,8
92	5	2	5,168	-	-1,8
93	7	2,5	6,460	-	-1,1
94	7	3	5,168	-	-1,1
95	8	3	2,584	-	-1,1
96	8	3,5	1,292	-	-1,0

97	2	1	7,752	-	-0,9
98	8	3	6,460	-	-0,7
99	15	6,5	2,584	-	-0,8
100	6	2	1,292	-	-0,8
101	6	2	2,584	-	-1,1
102	6	2,5	2,584	-	-1,1
103	5	2	1,292	-	-1,1
104	5	2	2,584	-	-1,4
105	8	3	6,460	-	-1,1
106	5	2	2,584	-	-1,8
107	6	2,5	2,584	-	-1,9
108	3	1	1,292	-	-0,9
109	9	3,5	5,168	-	-0,8
110	4	1	1,292	-	-0,8
111	7	2,5	2,584	-	-1,7
112	6	2	2,584	-	-1,5
113	2	1	1,292	-	-1,5
114	5	2	2,584	-	-1,9
115	3	1	1,292	-	-1,5
116	3	1	1,292	-	-1,4
117	14	5,5	9,044	-	-1,1
118	6	1,5	5,168	-	-1,1
119	2	1	1,292	-	-1,1
120	6	1,5	2,584	-	-1,1
121	5	2	2,584	-	-1,0
122	4	1,5	2,584	-	-0,1
123	3	1	1,292	-	-0,2
124	6	2,5	2,584	-	-0,1
125	3	1	2,584	-	-0,3
126	5	2	2,584	-	-0,3
127	3	1,5	1,292	-	-0,3
128	7	2,5	6,460	-	-1,5
129	8	3	5,168	-	-1,4
130	1	0,5	1,292	-	-1,5
131	5	1,5	2,584	-	-1,5
132	4	1,5	2,584	-	-1,5
133	4	2	2,584	-	-1,5
134	4	1,5	2,584	-	-1,0
135	7	2,5	6,460	-	-1,4
136	5	2	5,168	-	-1,4

137	9	3,5	3,876	-	-1,5
138	6	2	3,876	-	-1,4
139	4	2	2,584	-	-1,0
140	6	2,5	6,460	-	-1,1
141	6	2	7,752	-	-1,0
142	4	2	2,584	-	-0,9
143	3	1,5	1,292	-	-0,9
144	5	2	2,584	-	-0,9
145	7	2,5	5,168	-	-0,8
146	3	1	2,584	-	-0,8
147	2	1	2,584	-	-1,1
148	3	1,5	2,584	-	-1,0
149	7	2,5	5,168	-	-1,2
150	8	3	5,168	-	-1,2
151	9	3,5	2,584	-	-1,3
152	10	4	6,460	-	-1,4
153	4	1,5	2,584	-	-1,0
154	5	2	2,584	-	-2,5

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Procedencia del agregado de cada planta trituradora

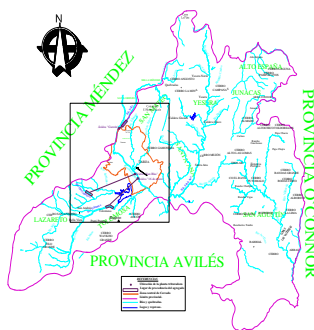
Dentro de la zona central de Cercado delimitada, actualmente no está permitida la explotación de agregados por cuestiones ambientales y de protección a los ríos y su biósfera; sin embargo existen tres plantas trituradoras cuyos métodos de extracción corresponden a la explotación en ríos; dichos ríos se encuentran fuera de la zona central delimitada.

Tabla 3.17. Procedencia de los agregados que procesan las plantas trituradoras.

Planta trituradora	Lugar de extracción
Áridos “16 de enero”	Río Tolomosa
Áridos “Garzón”	Río Sella
Áridos “San Blas”	Río Guerrahuayco

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.52. Procedencia del agregado de cada planta trituradora.



Fuente: Elaboración propia.

3.5. Puntos de estudio en los lugares de procedencia de los agregados

3.5.1. Río Tolomosa

Fig. 3.53. Ubicación de los puntos de estudio en el Río Tolomosa.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.1. Primer punto

Punto de estudio	Río Tolomosa
Nombre	Punto 1 T.
Latitud	21°37'24,45"S
Longitud	64°46'6,93"O

Fig. 3.54. Acopio de material en el primer punto del Río Tolomosa.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.18. Propiedades físicas de los agregados: Primer punto (Río Tolomosa).

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	68	23	10,335	-	-0,1
2	50	18	5,168	-	-0,1
3	34	11	2,584	-	-0,2
4	78	29	10,335	-	-0,2
5	57	24	2,584	-	-0,2
6	39	12	7,752	-	-0,1
7	68	24	10,335	-	-0,1
8	93	35	7,752	-	-0,1
9	46	28	10,335	-	-0,1
10	62	23	2,584	-	-0,1
11	46	15	2,584	-	-0,1
12	59	27	2,584	-	-0,2
13	39	12	10,335	-	-0,2
14	69	27	10,335	-	-0,2
15	89	35	20,671	-	-0,2
16	90	40	5,168	-	-0,1
17	50	20	10,335	-	-0,3
18	49	28	18,087	-	-0,1
19	64	23	5,168	-	-0,1
20	79	30	7,752	-	-0,1
21	81	33	7,752	-	-0,1
22	122	50	10,335	-	-0,1
23	140	55	12,919	-	-0,3
24	111	44	15,503	-	-0,3
25	130	55	2,584	-	-0,3
26	56	22	5,168	-	-0,4
27	48	18	7,752	-	-0,4
28	71	28	18,087	-	-0,4
29	40	16	10,335	-	-0,5
30	15	6	2,584	-	-0,5
31	26	11	2,584	-	-0,1
32	28	9	5,168	-	-0,1
33	68	25	15,503	-	-0,1
34	55	18	12,919	-	-0,1
35	57	23	5,168	-	-0,1
36	69	27	5,168	-	-0,1

37	78	30	7,752	-	-0,5
38	78	29	10,335	-	-0,5
39	94	35	12,919	-	-0,5
40	75	29	10,335	-	-0,5
41	152	60	5,168	-	-0,2
42	114	45	20,671	-	-0,1
43	167	70	25,839	-	-0,1
44	155	64	23,255	-	-0,2
45	127	56	7,752	-	-0,2
46	117	48	18,087	-	-0,2
47	53	19	5,168	-	-0,2
48	61	23	15,503	-	-0,2
49	52	21	10,335	-	-0,1
50	48	22	2,584	-	-0,1
51	60	21	12,919	-	-0,1
52	42	16	6,460	-	-0,1
53	44	15	2,584	-	-0,6
54	76	30	10,335	-	-0,6
55	78	30	10,335	-	-0,6
56	43	18	15,503	-	-0,6
57	54	25	2,584	-	-0,6
58	64	29	2,584	-	-0,5
59	83	46	2,584	-	-0,5
60	51	22	5,168	-	-0,5
61	48	18	2,584	-	-0,5
62	60	23	15,503	-	-0,1
63	65	25	10,335	-	-0,1
64	53	23	10,335	-	-0,1
65	98	42	15,503	-	-0,1
66	116	49	5,168	-	-0,2
67	99	40	10,335	-	-0,2
68	105	44	5,168	-	-0,2
69	141	53	23,255	-	-0,3
70	133	54	20,671	-	-0,1
71	73	33	20,671	-	-0,1
72	34	16	5,168	-	-0,1
73	31	11	3,876	-	-0,1
74	28	11	3,876	-	-0,1
75	42	15	7,752	-	-0,1
76	38	11	6,46	-	-0,2

77	41	11	2,584	-	-0,2
78	52	16	10,335	-	-0,2
79	38	14	15,503	-	-0,8
80	38	15	12,919	-	-0,8
81	45	19	2,584	-	-0,8
82	71	32	5,168	-	-0,8
83	74	27	23,255	-	-1,1
84	56	18	15,503	-	-1,1
85	88	33	7,752	-	-1,1
86	79	35	15,503	-	-1,1
87	54	19	12,919	-	-1,1
88	95	35	15,503	-	-0,7
89	58	21	7,752	-	-0,7
90	122	48	10,335	-	-0,7
91	126	55	18,087	-	-0,8
92	109	41	18,087	-	-0,7
93	91	37	12,919	-	-0,7
94	124	53	7,752	-	-0,5
95	233	93	18,087	-	-0,5
96	175	80	15,503	-	-0,5
97	81	32	7,752	-	-0,4
98	65	25	3,876	-	-0,5
99	66	24	12,919	-	-0,5
100	80	31	15,503	-	-0,6
101	66	24	5,168	-	-0,6
102	133	57	15,503	-	-0,6
103	74	29	5,168	-	-0,6
104	106	41	5,168	-	-0,2
105	78	30	3,876	-	-0,1
106	100	43	20,671	-	-0,1
107	77	30	15,503	-	-0,1
108	67	25	18,087	-	-0,2
109	59	21	15,503	-	-0,1
110	46	14	12,919	-	-0,2
111	33	13	2,584	-	-0,2
112	58	25	5,168	-	-0,2
113	164	64	7,752	-	-0,2
114	134	58	20,671	-	-0,1
115	93	36	7,752	-	-0,1
116	82	29	5,168	-	-0,3

117	100	37	23,255	-	-0,5
118	124	42	25,839	-	-0,5
119	141	57	20,671	-	-0,5
120	74	27	18,087	-	-0,5
121	99	37	7,752	-	-0,5
122	101	41	20,671	-	-0,4
123	41	12	2,584	-	-0,4
124	32	11	10,335	-	-0,4
125	31	13	2,584	-	-0,4
126	24	10	2,584	-	-0,4
127	26	9	12,919	-	-0,4
128	40	12	5,168	-	-0,4
129	31	13	2,584	-	-0,4
130	39	14	18,087	-	-0,1
131	42	12	10,335	-	-0,1
132	65	37	10,335	-	-0,1
133	72	38	10,335	-	-0,1
134	92	33	18,087	-	-0,1
135	81	25	20,671	-	-0,1
136	113	44	25,839	-	-0,1
137	44	15	7,752	-	-0,1
138	60	22	5,168	-	-0,2
139	82	35	23,255	-	-0,2
140	81	31	12,919	-	-0,2
141	116	43	23,255	-	-0,5
142	74	26	23,255	-	-0,5
143	91	38	7,752	-	-0,5
144	57	18	3,876	-	-0,4
145	103	39	12,919	-	-0,4
146	51	17	2,584	-	-0,4
147	41	18	5,168	-	-0,4
148	40	11	5,168	-	-0,4
149	39	15	7,752	-	-0,4
150	58	20	10,335	-	-0,4
151	40	11	5,168	-	-0,2
152	67	24	12,919	-	-0,2
153	98	31	18,087	-	-0,2
154	33	11	10,335	-	-0,2

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.2. Segundo punto

Punto de estudio	Río Tolomosa
Nombre	Punto 2 T.
Latitud	21°37'24,65"S
Longitud	64°47'9,47"O

Fig. 3.55. Acopio de material en el segundo punto del Río Tolomosa.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.19. Propiedades físicas de los agregados: Segundo punto (Río Tolomosa).

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	69	27	18,087	-	-0,1
2	65	24	9,044	-	-0,1
3	48	16	18,087	-	-0,1
4	96	38	23,255	-	-0,1
5	47	17	7,752	-	-0,1
6	48	16	15,503	-	-0,1
7	79	29	15,503	-	-0,2
8	129	47	15,503	-	-0,2
9	130	52	15,503	-	-0,2
10	79	31	7,752	-	-0,1
11	61	22	15,503	-	-0,1
12	42	14	5,168	-	-0,1
13	68	26	23,255	-	-0,1
14	77	28	15,503	-	-0,1
15	77	32	23,255	-	-0,1
16	81	31	15,503	-	-0,3
17	90	26	25,839	-	-0,3

18	69	29	3,876	-	-0,3
19	79	27	18,087	-	-0,3
20	75	23	5,168	-	-0,3
21	59	24	18,087	-	-0,1
22	40	12	2,584	-	-0,1
23	66	24	18,087	-	-0,1
24	128	50	10,335	-	-0,1
25	77	29	2,584	-	-0,1
26	59	20	10,335	-	-0,1
27	67	25	12,919	-	-0,1
28	75	26	10,335	-	-0,5
29	75	30	18,087	-	-0,5
30	79	29	10,335	-	-0,5
31	88	24	20,671	-	-0,5
32	46	14	10,335	-	-0,5
33	77	27	10,335	-	-0,1
34	127	45	10,335	-	-0,4
35	34	10	7,752	-	-0,4
36	64	26	20,671	-	-0,4
37	59	21	15,503	-	-0,1
38	37	11	5,168	-	-0,1
39	53	17	15,503	-	-0,1
40	54	24	15,503	-	-0,1
41	68	23	20,671	-	-0,8
42	47	17	2,584	-	-0,8
43	63	23	5,168	-	-0,8
44	82	31	2,584	-	-0,8
45	72	27	18,087	-	-0,9
46	50	13	6,46	-	-0,9
47	64	22	12,919	-	-0,4
48	84	29	18,087	-	-0,4
49	82	29	15,503	-	-0,4
50	49	13	15,503	-	-1,1
51	89	34	11,627	-	-1,1
52	60	20	12,919	-	-1,1
53	63	19	7,752	-	-0,8
54	61	23	15,503	-	-0,8
55	48	16	15,503	-	-0,8
56	39	14	10,335	-	-0,8
57	97	33	10,335	-	-0,8

58	63	18	20,671	-	-0,8
59	83	27	20,671	-	-0,5
60	62	26	18,087	-	-0,5
61	79	32	18,087	-	-0,5
62	143	54	20,671	-	-0,5
63	100	36	15,503	-	-0,5
64	106	39	23,255	-	-0,5
65	63	22	3,876	-	-0,5
66	87	37	18,087	-	-0,2
67	22	6	5,168	-	-0,2
68	41	14	5,168	-	-0,2
69	78	27	20,671	-	-0,2
70	81	28	20,671	-	-0,2
71	54	15	15,503	-	-0,2
72	57	18	11,627	-	-0,1
73	64	21	7,752	-	-0,1
74	68	22	5,168	-	-0,1
75	56	17	7,752	-	-0,1
76	82	29	23,255	-	-0,1
77	68	25	7,752	-	-0,1
78	42	15	5,168	-	-0,1
79	51	19	2,584	-	-0,1
80	58	14	15,503	-	-0,1
81	47	19	5,168	-	-0,2
82	85	24	18,087	-	-0,2
83	116	43	12,919	-	-0,2
84	101	37	5,168	-	-0,2
85	65	23	10,335	-	-0,1
86	46	15	5,168	-	-0,1
87	103	37	15,503	-	-0,1
88	117	42	10,335	-	-0,1
89	109	38	23,255	-	-0,1
90	131	48	28,422	-	-0,1
91	101	39	15,503	-	-0,1
92	156	59	23,255	-	-0,1
93	111	39	20,671	-	-0,1
94	80	31	2,584	-	-0,3
95	128	54	20,671	-	-0,3
96	45	20	7,752	-	-0,3
97	83	25	20,671	-	-0,5

98	114	44	15,503	-	-0,5
99	99	38	7,752	-	-0,2
100	63	24	12,919	-	-0,1
101	44	16	7,752	-	-0,1
102	101	38	18,087	-	-0,1
103	115	43	12,919	-	-0,1
104	107	39	25,839	-	-0,2
105	129	49	31,006	-	-0,2
106	99	40	18,087	-	-0,5
107	154	60	25,839	-	-0,5
108	109	40	23,255	-	-0,5
109	78	32	5,168	-	-0,1
110	126	55	23,255	-	-0,1
111	196	80	28,422	-	-0,1
112	163	65	20,671	-	-0,3
113	153	57	7,752	-	-0,3
114	122	51	23,255	-	-0,3
115	98	39	11,627	-	-0,3
116	119	50	28,422	-	-0,3
117	88	34	25,839	-	-0,1
118	96	40	7,752	-	-0,1
119	88	37	20,671	-	-0,1
120	102	35	7,752	-	-0,1
121	104	40	3,876	-	-0,1
122	99	35	15,503	-	-0,1
123	122	44	18,087	-	-0,1
124	101	34	12,919	-	-0,1
125	89	30	7,752	-	-0,2
126	70	21	23,255	-	-0,2
127	65	24	7,752	-	-0,2
128	48	19	7,752	-	-0,1
129	45	15	10,335	-	-0,1
130	52	21	12,919	-	-0,1
131	69	27	20,671	-	-0,1
132	43	13	2,584	-	-0,2
133	76	29	5,168	-	-0,2
134	85	35	10,335	-	-0,2
135	52	19	5,168	-	-0,2
136	29	7	2,584	-	-0,2
137	50	22	15,503	-	-0,2

138	61	23	18,087	-	-0,1
139	112	40	18,087	-	-0,1
140	114	34	18,087	-	-0,1
141	82	41	2,584	-	-0,1
142	113	27	10,335	-	-0,1
143	78	39	2,584	-	-0,1
144	115	12	7,752	-	-0,1
145	44	28	10,335	-	-0,1
146	69	24	5,168	-	-0,1
147	67	27	20,671	-	-0,1
148	66	24	2,584	-	-0,1
149	74	26	15,503	-	-0,1
150	82	31	2,584	-	-0,1
151	69	26	2,584	-	-0,1
152	48	17	12,919	-	-0,5
153	100	44	15,503	-	-0,5
154	99	46	10,335	-	-0,5

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.3. Tercer punto

Punto de estudio	Río Tolomosa
Nombre	Punto 3 T.
Latitud	21°38'9,29"S
Longitud	64°49'2,16"O

Fig. 3.56. Acopio de material en el tercer punto del Río Tolomosa.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.20. Propiedades físicas de los agregados: Tercer punto (Río Tolomosa).

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	52	29	18,087	-	-0,2
2	67	24	5,168	-	-0,2
3	82	31	7,752	-	-0,2
4	84	34	7,752	-	-0,2
5	125	51	10,335	-	-0,2
6	143	56	12,919	-	-0,2
7	114	45	15,503	-	-0,1
8	133	56	2,584	-	-0,1
9	59	23	5,168	-	-0,1
10	51	19	7,752	-	-0,1
11	74	29	18,087	-	-0,1
12	43	17	10,335	-	-0,1
13	62	28	2,584	-	-0,1
14	42	13	10,335	-	-0,1
15	72	28	10,335	-	-0,1
16	92	36	20,671	-	-0,2
17	93	41	5,168	-	-0,2
18	53	21	10,335	-	-0,2
19	18	7	2,584	-	-0,3
20	29	12	2,584	-	-0,3
21	31	10	5,168	-	-0,3
22	71	26	15,503	-	-0,3
23	58	19	12,919	-	-0,2
24	60	24	5,168	-	-0,2
25	72	28	5,168	-	-0,2
26	81	31	7,752	-	-0,2
27	81	30	10,335	-	-0,2
28	97	36	12,919	-	-0,5
29	78	30	10,335	-	-0,5
30	155	61	5,168	-	-0,5
31	117	46	20,671	-	-0,5
32	170	71	25,839	-	-0,2
33	158	65	23,255	-	-0,2
34	130	57	7,752	-	-0,4
35	120	49	18,087	-	-0,4
36	56	20	5,168	-	-0,4

37	64	24	15,503	-	-0,2
38	55	22	10,335	-	-0,2
39	51	23	2,584	-	-0,2
40	63	22	12,919	-	-0,2
41	45	17	6,46	-	-0,1
42	47	16	2,584	-	-0,1
43	79	31	10,335	-	-0,1
44	81	31	10,335	-	-0,1
45	46	19	15,503	-	-0,1
46	57	26	2,584	-	-0,2
47	67	30	2,584	-	-0,2
48	86	47	2,584	-	-0,2
49	79	30	5,168	-	-0,2
50	79	29	7,752	-	-0,2
51	95	35	10,335	-	-0,2
52	76	29	7,752	-	-0,2
53	153	60	2,584	-	-0,2
54	115	45	18,087	-	-0,2
55	168	70	23,255	-	-0,2
56	156	64	20,671	-	-0,2
57	128	56	5,168	-	-0,2
58	118	48	15,503	-	-0,2
59	54	19	2,584	-	-0,2
60	62	23	12,919	-	-0,2
61	53	21	7,752	-	-0,3
62	49	22	2,584	-	-0,3
63	61	21	10,335	-	-0,3
64	43	16	3,876	-	-0,3
65	45	15	2,584	-	-0,3
66	77	30	7,752	-	-0,3
67	79	30	7,752	-	-0,5
68	44	18	12,919	-	-0,5
69	55	25	2,584	-	-0,5
70	65	29	12,919	-	-0,5
71	84	46	10,335	-	-0,5
72	52	22	10,335	-	-0,2
73	49	18	15,503	-	-0,2
74	61	23	12,919	-	-0,2
75	66	25	7,752	-	-0,2
76	54	23	7,752	-	-0,1

77	99	42	12,919	-	-0,1
78	117	49	2,584	-	-0,1
79	100	40	7,752	-	-0,1
80	106	44	2,584	-	-0,1
81	142	53	20,671	-	-0,1
82	134	54	18,087	-	-0,1
83	74	33	18,087	-	-0,1
84	35	16	2,584	-	-0,1
85	42	11	5,168	-	-0,1
86	53	16	12,919	-	-0,2
87	39	14	18,087	-	-0,2
88	39	15	15,503	-	-0,2
89	46	19	5,168	-	-0,2
90	72	32	7,752	-	-0,2
91	75	27	25,839	-	-0,2
92	57	18	18,087	-	-0,3
93	89	33	10,335	-	-0,3
94	80	35	18,087	-	-0,3
95	55	19	15,503	-	-0,3
96	96	35	18,087	-	-0,2
97	59	21	10,335	-	-0,6
98	123	48	12,919	-	-0,6
99	127	55	20,671	-	-0,6
100	110	41	20,671	-	-0,6
101	92	37	15,503	-	-0,7
102	125	53	10,335	-	-0,4
103	234	93	20,671	-	-0,8
104	176	80	18,087	-	-0,8
105	82	32	10,335	-	-0,2
106	66	25	6,46	-	-0,2
107	67	24	15,503	-	-0,2
108	81	31	18,087	-	-0,2
109	67	24	7,752	-	-0,2
110	134	57	18,087	-	-0,2
111	75	29	7,752	-	-0,2
112	107	41	7,752	-	-0,2
113	79	30	6,46	-	-0,1
114	101	43	23,255	-	-0,1
115	78	30	18,087	-	-0,1
116	133	57	23,255	-	-0,1

117	92	35	10,335	-	-0,1
118	81	28	7,752	-	-0,1
119	99	36	25,839	-	-0,2
120	123	41	28,422	-	-0,2
121	140	56	23,255	-	-0,2
122	73	26	20,671	-	-0,2
123	98	36	10,335	-	-0,2
124	100	40	23,255	-	-0,2
125	40	11	5,168	-	-0,2
126	31	10	12,919	-	-0,2
127	30	12	5,168	-	-0,3
128	23	9	5,168	-	-0,3
129	25	8	15,503	-	-0,3
130	39	11	7,752	-	-0,3
131	30	12	5,168	-	-0,3
132	38	13	20,671	-	-0,2
133	41	11	12,919	-	-0,2
134	64	36	12,919	-	-0,2
135	41	12	7,752	-	-0,2
136	32	13	5,168	-	-0,2
137	40	14	20,671	-	-0,2
138	43	12	12,919	-	-0,2
139	66	37	12,919	-	-0,1
140	73	38	12,919	-	-0,1
141	93	33	20,671	-	-0,1
142	92	38	10,335	-	-0,1
143	58	18	6,46	-	-0,1
144	104	39	15,503	-	-0,1
145	52	17	5,168	-	-0,2
146	42	18	7,752	-	-0,2
147	82	25	23,255	-	-0,2
148	114	44	28,422	-	-0,2
149	45	15	10,335	-	-0,2
150	61	22	7,752	-	-0,2
151	83	35	25,839	-	-0,1
152	82	31	15,503	-	-0,1
153	117	43	25,839	-	-0,1
154	75	26	25,839	-	-0,1

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.4. Cuarto punto

Punto de estudio	Río Tolomosa
Nombre	Punto 4 T.
Latitud	21°38'29,10"S
Longitud	64°49'54,33"O

Fig. 3.57. Acopio de material en el cuarto punto del Río Tolomosa.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.21. Propiedades físicas de los agregados: Cuarto punto (Río Tolomosa).

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	57	21	2,584	-	-1,4
2	44	12	10,335	-	-1,5
3	55	25	18,087	-	-0,7
4	69	24	23,255	-	-0,6
5	48	18	3,876	-	-0,7
6	64	24	7,752	-	-1,1
7	83	32	2,584	-	-0,3
8	73	28	20,671	-	-0,4
9	70	30	6,46	-	-3,0
10	80	28	20,671	-	-3,0
11	76	24	7,752	-	-2,6
12	60	25	20,671	-	-3,0
13	41	13	2,584	-	-3,0
14	67	25	20,671	-	-3,0
15	76	27	12,919	-	-1,9
16	76	31	20,671	-	-2,3

17	80	30	12,919	-	-2,3
18	89	25	23,255	-	-1,9
19	47	15	12,919	-	-1,6
20	78	28	12,919	-	-2,1
21	128	46	12,919	-	-0,1
22	129	51	12,919	-	-0,7
23	78	30	5,168	-	-3,0
24	60	21	12,919	-	-0,6
25	68	26	15,503	-	-0,5
26	64	23	6,46	-	-0,5
27	47	15	15,503	-	-0,2
28	95	37	20,671	-	-1,9
29	46	16	5,168	-	-0,8
30	33	9	5,168	-	-0,7
31	63	25	18,087	-	-0,9
32	58	20	12,919	-	-0,9
33	36	10	2,584	-	-1,0
34	52	16	12,919	-	-0,6
35	62	23	5,168	-	-0,7
36	67	24	18,087	-	-0,6
37	72	24	12,919	-	-0,5
38	48	14	3,876	-	-0,4
39	85	37	15,503	-	-0,6
40	20	6	2,584	-	-0,4
41	39	14	2,584	-	0,6
42	76	27	18,087	-	-0,5
43	79	28	18,087	-	-0,6
44	52	15	12,919	-	-2,3
45	55	18	9,044	-	-2,2
46	62	21	5,168	-	-2,1
47	95	33	7,752	-	-2,0
48	61	18	18,087	-	-2,0
49	81	27	18,087	-	-0,2
50	60	26	15,503	-	-0,2
51	77	32	15,503	-	-0,2
52	141	54	18,087	-	-0,2
53	98	36	12,919	-	-1,0
54	104	39	20,671	-	-0,3
55	48	13	3,876	-	-0,2
56	62	22	10,335	-	-0,3

57	82	29	15,503	-	-0,1
58	80	29	12,919	-	-0,2
59	47	13	12,919	-	-1,0
60	87	34	9,044	-	-1,0
61	58	20	10,335	-	-0,4
62	78	31	7,752	-	-0,2
63	72	24	25,839	-	-0,2
64	110	43	12,919	-	-0,8
65	115	45	20,671	-	-0,8
66	97	36	5,168	-	-0,7
67	107	41	5,168	-	-1,2
68	106	40	7,752	-	-1,1
69	66	21	20,671	-	-0,8
70	108	47	7,752	-	-0,6
71	73	30	7,752	-	-0,5
72	70	26	10,335	-	-0,6
73	68	24	5,168	-	-0,4
74	118	45	18,087	-	-0,3
75	114	44	18,087	-	-0,2
76	110	43	25,839	-	-0,1
77	108	43	25,839	-	-0,4
78	106	45	25,839	-	-0,2
79	87	30	5,168	-	-1,3
80	52	15	9,044	-	-1,2
81	51	14	5,168	-	-0,7
82	46	14	15,503	-	-0,2
83	63	20	7,752	-	-2,1
84	61	24	15,503	-	-1,7
85	48	17	15,503	-	-1,2
86	39	15	10,335	-	-1,0
87	68	23	5,168	-	-0,9
88	56	18	7,752	-	-1,3
89	82	30	23,255	-	-1,1
90	68	26	7,752	-	-0,5
91	42	16	5,168	-	-0,2
92	51	20	2,584	-	-0,2
93	58	15	15,503	-	-0,4
94	47	20	5,168	-	-0,5
95	85	25	18,087	-	-0,5
96	116	44	12,919	-	-0,7

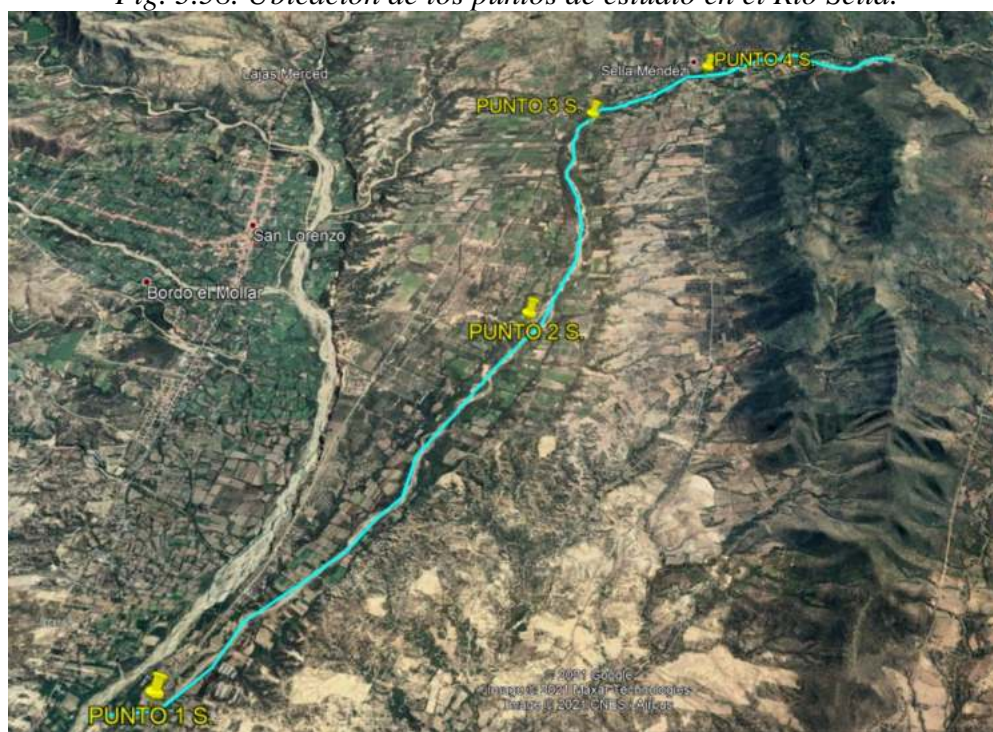
97	101	38	5,168	-	-0,4
98	65	24	10,335	-	-0,1
99	46	16	5,168	-	-0,1
100	103	38	15,503	-	-0,1
101	117	43	10,335	-	-1,0
102	109	39	23,255	-	-0,8
103	131	49	28,422	-	-0,6
104	101	40	15,503	-	-1,5
105	156	60	23,255	-	-1,4
106	111	40	20,671	-	-1,2
107	80	32	2,584	-	-1,1
108	128	55	20,671	-	-0,6
109	198	80	25,839	-	-0,4
110	165	65	18,087	-	-0,3
111	155	57	5,168	-	-0,2
112	124	51	20,671	-	-0,8
113	100	39	9,044	-	-0,5
114	121	50	25,839	-	-0,4
115	90	34	23,255	-	-1,1
116	98	40	5,168	-	-1,0
117	90	37	18,087	-	-0,8
118	91	33	7,752	-	-0,5
119	103	36	10,335	-	-0,3
120	105	41	6,46	-	-1,2
121	100	36	18,087	-	-1,1
122	123	45	20,671	-	-1,0
123	102	35	15,503	-	-0,7
124	90	31	10,335	-	-0,6
125	71	22	25,839	-	-1,5
126	66	25	10,335	-	-1,4
127	49	20	10,335	-	-0,8
128	46	16	12,919	-	-0,2
129	53	22	15,503	-	-0,1
130	70	28	23,255	-	-0,3
131	44	14	2,584	-	-0,3
132	77	30	7,752	-	-0,6
133	86	36	12,919	-	-0,5
134	53	20	7,752	-	-0,5
135	30	8	5,168	-	-0,5
136	51	23	18,087	-	-0,2

137	62	24	20,671	-	-0,2
138	70	25	7,752	-	-2,6
139	68	28	23,255	-	-2,4
140	67	25	5,168	-	-2,0
141	75	27	18,087	-	-1,5
142	83	32	5,168	-	-0,7
143	70	27	2,584	-	-1,4
144	49	18	15,503	-	-0,4
145	101	45	18,087	-	-0,3
146	100	47	12,919	-	-0,2
147	113	41	20,671	-	-0,7
148	115	35	20,671	-	-0,5
149	83	42	5,168	-	-0,1
150	114	28	12,919	-	-0,7
151	79	40	5,168	-	-0,6
152	116	13	10,335	-	-0,4
153	45	29	12,919	-	-0,4
154	101	47	23,255	-	-0,3

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Río Sella

Fig. 3.58. Ubicación de los puntos de estudio en el Río Sella.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2.1. Primer punto

Punto de estudio	Río Sella
Nombre	Punto 1 S.
Latitud	21°28'9,06"S
Longitud	64°44'49,09"O

Fig. 3.59. Acopio de material en el primer punto del Río Sella.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.22. Propiedades físicas de los agregados: Primer punto (Río Sella).

Nº	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	65	26	7,752	-	-0,7
2	112	41	18,087	-	-1,4
3	221	79	31,006	-	-1,5
4	64	24	20,671	-	-1,6
5	42	15	12,919	-	-1,6
6	79	40	23,255	-	-1,8
7	94	40	11,627	-	-1,5
8	54	16	25,839	-	-2,6
9	112	45	12,919	-	-2,8
10	139	53	10,335	-	-2,3
11	150	61	10,335	-	-1,0
12	81	29	7,752	-	-0,8
13	52	14	20,671	-	-0,6
14	110	43	7,752	-	-0,8
15	137	51	5,168	-	-0,9
16	148	59	5,168	-	-0,6
17	79	27	2,584	-	-2,5
18	63	24	2,584	-	-2,5

19	110	39	12,919	-	-2,4
20	72	25	2,584	-	-2,0
21	96	37	7,752	-	-0,9
22	124	44	23,255	-	-1,1
23	116	47	7,752	-	-1,5
24	46	15	3,876	-	-2,5
25	71	26	18,087	-	-2,4
26	77	38	18,087	-	-0,9
27	92	38	6,46	-	-0,8
28	84	31	20,671	-	-1,1
29	123	47	23,255	-	0,5
30	58	17	7,752	-	-0,6
31	74	24	2,584	-	-1,5
32	70	31	5,168	-	-0,8
33	39	16	10,335	-	-1,7
34	219	77	25,839	-	-0,7
35	62	22	15,503	-	-0,2
36	40	13	7,752	-	-1,1
37	68	30	3,876	-	-1,5
38	51	15	2,584	-	-1,4
39	60	20	20,671	-	-1,4
40	88	32	12,919	-	-0,8
41	68	20	9,044	-	-0,9
42	37	13	5,168	-	-1,0
43	39	15	7,752	-	-1,1
44	109	43	12,919	-	-1,2
45	93	32	2,584	-	-2,5
46	77	39	12,919	-	-1,5
47	80	31	15,503	-	-2,5
48	144	47	12,919	-	-2,4
49	99	40	23,255	-	-0,9
50	54	16	7,752	-	-1,1
51	128	51	5,168	-	-0,8
52	69	25	5,168	-	-0,9
53	77	31	7,752	-	-0,8
54	77	39	2,584	-	-0,9
55	87	34	18,087	-	-0,7
56	108	42	20,671	-	-0,9
57	73	28	25,839	-	-0,9
58	49	27	10,335	-	-0,9

59	57	19	20,671	-	-0,9
60	58	21	10,335	-	-1,4
61	74	27	5,168	-	-0,9
62	62	20	20,671	-	-0,8
63	76	26	12,919	-	-0,8
64	82	27	20,671	-	-0,9
65	72	26	10,335	-	-1,1
66	66	24	7,752	-	-1,1
67	44	15	5,168	-	-0,9
68	22	9	5,168	-	-2,5
69	27	7	5,168	-	-0,7
70	36	11	7,752	-	-0,4
71	46	14	12,919	-	-0,2
72	47	16	5,168	-	-0,2
73	33	6	7,752	-	-0,1
74	109	38	18,087	-	-1,2
75	76	28	15,503	-	-0,9
76	145	55	25,839	-	-0,8
77	90	47	7,752	-	-0,7
78	76	27	12,919	-	-1,8
79	63	23	7,752	-	-1,9
80	32	9	7,752	-	-1,8
81	106	42	15,503	-	-1,8
82	168	64	7,752	-	-1,1
83	73	28	2,584	-	-1,9
84	68	29	5,168	-	-1,1
85	46	21	2,584	-	-1,4
86	33	13	5,168	-	-1,1
87	87	35	18,087	-	-1,4
88	60	24	12,919	-	-1,4
89	117	39	15,503	-	-1,1
90	54	21	12,919	-	-1,1
91	64	23	7,752	-	-1,8
92	149	60	25,839	-	-1,8
93	50	15	10,335	-	-1,1
94	75	27	5,168	-	-1,1
95	70	28	7,752	-	-1,1
96	48	20	5,168	-	-1,0
97	75	29	20,671	-	-0,9
98	72	21	18,087	-	-0,9

99	88	35	15,503	-	-0,8
100	57	18	15,503	-	-0,8
101	62	24	5,168	-	-1,7
102	147	61	23,255	-	-1,5
103	104	43	12,919	-	-1,5
104	166	65	5,168	-	-1,9
105	113	46	12,919	-	-1,5
106	135	56	5,168	-	-1,4
107	152	64	5,168	-	-0,7
108	149	60	18,087	-	-0,8
109	53	21	10,335	-	-0,8
110	63	23	5,168	-	-1,1
111	148	60	23,255	-	-1,1
112	105	42	12,919	-	-1,1
113	110	43	23,255	-	-1,4
114	45	16	2,584	-	-1,1
115	130	43	23,255	-	-1,8
116	21	7	2,584	-	-1,9
117	36	14	5,168	-	-1,1
118	80	26	7,752	-	-1,1
119	31	18	2,584	-	-1,1
120	73	30	18,087	-	-1,1
121	70	22	15,503	-	-1,0
122	86	36	12,919	-	-0,1
123	55	19	12,919	-	-1,5
124	31	14	2,584	-	-1,4
125	85	36	15,503	-	-1,0
126	58	25	10,335	-	-1,1
127	115	40	12,919	-	-1,0
128	52	22	10,335	-	-0,9
129	167	64	5,168	-	-1,5
130	120	47	12,919	-	-1,5
131	48	17	5,168	-	-1,5
132	143	69	25,839	-	-1,0
133	71	24	5,168	-	-1,4
134	103	39	10,335	-	-1,4
135	91	32	10,335	-	-0,2
136	68	23	2,584	-	-0,1
137	223	85	23,255	-	-0,3
138	81	25	7,752	-	-0,3

139	32	17	2,584	-	-0,3
140	120	44	18,087	-	-1,5
141	125	48	10,335	-	-1,4
142	141	53	15,503	-	-1,5
143	71	23	7,752	-	-0,9
144	122	47	5,168	-	-0,9
145	111	41	18,087	-	-1,3
146	114	45	12,919	-	-1,4
147	136	55	5,168	-	-1,0
148	153	63	5,168	-	-2,5
149	150	59	18,087	-	-0,8
150	111	42	23,255	-	-0,8
151	46	15	2,584	-	-1,1
152	131	42	23,255	-	-1,0
153	22	6	2,584	-	-1,2
154	37	13	5,168	-	-1,2

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2.2. Segundo punto

Punto de estudio	Río Sella
Nombre	Punto 2 S.
Latitud	21°25'49,77"S
Longitud	64°43'3,62"O

Fig. 3.60. Acopio de material en el segundo punto del Río Sella.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.23. Propiedades físicas de los agregados: Segundo punto (Río Sella).

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	115	54	10,335	-	-0,5
2	95	36	23,255	-	-0,9
3	157	62	25,839	-	-1,2
4	92	33	15,503	-	-1,6
5	73	26	5,168	-	-1,7
6	97	38	10,335	-	-1,7
7	125	45	25,839	-	-1,7
8	117	48	10,335	-	-1,8
9	47	16	6,46	-	-2,0
10	72	27	20,671	-	-1,4
11	78	39	20,671	-	-1,4
12	93	39	9,044	-	-1,5
13	53	15	23,255	-	-2,7
14	111	44	10,335	-	-2,8
15	138	52	7,752	-	-0,6
16	149	60	7,752	-	-0,6
17	80	28	5,168	-	-0,6
18	64	25	5,168	-	-0,6
19	111	40	15,503	-	-0,7
20	220	78	28,422	-	-1,4
21	63	23	18,087	-	-1,8
22	41	14	10,335	-	-1,6
23	69	31	6,46	-	-1,6
24	52	16	5,168	-	-2,1
25	61	21	23,255	-	-2,3
26	89	33	15,503	-	-0,5
27	69	21	11,627	-	-0,5
28	85	32	23,255	-	-1,8
29	66	23	5,168	-	-1,7
30	77	29	5,168	-	-1,6
31	92	34	10,335	-	-1,6
32	43	16	5,168	-	-1,6
33	72	26	6,46	-	-1,8
34	102	42	15,503	-	-1,7
35	79	39	5,168	-	-0,1
36	148	63	10,335	-	-0,3

37	124	46	25,839	-	-0,3
38	59	16	10,335	-	-0,4
39	75	23	5,168	-	-0,4
40	71	30	7,752	-	-0,2
41	40	15	12,919	-	-0,4
42	38	12	7,752	-	-0,5
43	40	14	10,335	-	-1,6
44	110	42	15,503	-	-1,8
45	94	31	5,168	-	-0,9
46	78	38	15,503	-	-1,0
47	70	24	7,752	-	-1,0
48	78	30	10,335	-	-1,9
49	78	38	5,168	-	-0,9
50	88	33	20,671	-	-1,1
51	109	41	23,255	-	-1,2
52	81	30	18,087	-	-1,3
53	145	46	15,503	-	-0,2
54	100	39	25,839	-	-0,2
55	55	15	10,335	-	-0,3
56	129	50	7,752	-	-0,3
57	61	22	18,087	-	-1,4
58	128	46	7,752	-	-1,4
59	175	75	15,503	-	-1,6
60	113	45	12,919	-	-1,6
61	96	49	10,335	-	-1,6
62	42	14	10,335	-	-1,6
63	56	19	10,335	-	-0,2
64	21	10	2,584	-	-1,1
65	26	8	2,584	-	-1,1
66	35	12	5,168	-	-1,1
67	45	15	10,335	-	-1,1
68	46	17	2,584	-	-1,3
69	32	7	5,168	-	-0,8
70	75	27	10,335	-	-0,9
71	81	28	18,087	-	-0,1
72	71	27	7,752	-	-0,2
73	65	25	5,168	-	-0,2
74	43	16	2,584	-	-0,3
75	72	29	23,255	-	-0,5
76	48	28	7,752	-	-0,5

77	56	20	18,087	-	-0,7
78	57	22	7,752	-	-0,8
79	73	28	2,584	-	-0,2
80	61	21	18,087	-	-0,3
81	108	39	15,503	-	-0,4
82	75	29	12,919	-	-0,8
83	144	56	23,255	-	-0,3
84	89	48	5,168	-	-0,3
85	75	28	10,335	-	-0,4
86	62	24	5,168	-	-0,6
87	31	10	5,168	-	-0,4
88	49	16	7,752	-	-0,6
89	74	28	2,584	-	-0,6
90	69	29	5,168	-	-0,6
91	47	21	2,584	-	-0,6
92	74	30	18,087	-	-0,5
93	71	22	15,503	-	-0,6
94	87	36	12,919	-	-0,6
95	56	19	12,919	-	-0,6
96	32	14	2,584	-	-0,6
97	86	36	15,503	-	-0,6
98	59	25	10,335	-	-0,6
99	116	40	12,919	-	-0,6
100	53	22	10,335	-	-0,8
101	63	24	5,168	-	-0,8
102	148	61	23,255	-	-0,3
103	105	43	12,919	-	-0,1
104	167	65	5,168	-	-0,1
105	114	46	12,919	-	-0,2
106	136	56	5,168	-	-0,9
107	153	64	5,168	-	-1,1
108	150	60	18,087	-	-1,3
109	111	43	23,255	-	-1,0
110	46	16	2,584	-	-1,0
111	131	43	23,255	-	-1,0
112	22	7	2,584	-	-1,9
113	37	14	5,168	-	-1,0
114	81	26	7,752	-	-0,8
115	32	18	2,584	-	-0,9
116	120	45	18,087	-	-1,0

117	125	49	10,335	-	-0,9
118	141	54	15,503	-	-1,1
119	71	24	7,752	-	-1,0
120	122	48	5,168	-	-0,9
121	111	42	18,087	-	-1,6
122	120	48	12,919	-	-1,4
123	48	18	5,168	-	-1,3
124	143	70	25,839	-	-1,2
125	71	25	5,168	-	-1,2
126	103	40	10,335	-	-1,8
127	91	33	10,335	-	-2,0
128	68	24	2,584	-	-1,5
129	223	86	23,255	-	-1,5
130	87	30	7,752	-	-1,6
131	120	49	12,919	-	-1,8
132	76	29	15,503	-	-1,8
133	160	65	7,752	-	-1,8
134	106	40	23,255	-	-0,1
135	113	43	10,335	-	-0,2
136	71	29	23,255	-	-0,2
137	80	26	15,503	-	-0,2
138	89	33	7,752	-	-0,3
139	86	28	10,335	-	-0,7
140	61	26	2,584	-	-0,9
141	104	41	2,584	-	-1,2
142	69	27	7,752	-	-1,8
143	102	39	18,087	-	-1,8
144	116	41	12,919	-	-1,8
145	132	51	15,503	-	-0,2
146	83	29	10,335	-	-0,3
147	108	43	20,671	-	-0,3
148	87	38	15,503	-	-0,4
149	104	40	7,752	-	-1,8
150	24	9	2,584	-	-0,3
151	86	34	12,919	-	-0,1
152	110	40	23,255	-	-0,2
153	107	46	7,752	-	-0,2
154	145	56	23,255	-	-0,2

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2.3. Tercer punto

Punto de estudio	Río Sella
Nombre	Punto 3 S.
Latitud	21°23'56,79"S
Longitud	64°42'38,64"O

Fig. 3.61. Acopio de material en el tercer punto del Río Sella.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.24. Propiedades físicas de los agregados: Tercer punto (Río Sella).

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	110	36	10,335	-	-1,6
2	156	55	25,839	-	-1,6
3	134	39	15,503	-	-1,8
4	127	50	20,671	-	-1,5
5	91	27	7,752	-	-2,6
6	102	35	23,255	-	-2,8
7	82	29	12,919	-	-2,3
8	49	11	11,627	-	-1,0
9	68	19	16,795	-	-0,8
10	110	38	10,335	-	-0,6
11	33	9	5,168	-	-0,8
12	56	22	10,335	-	-0,7
13	75	24	20,671	-	-1,4
14	83	30	23,255	-	-1,5
15	67	18	20,671	-	-2,5
16	110	42	12,919	-	-2,4

17	106	40	5,168	-	-0,9
18	103	45	18,087	-	-0,8
19	192	53	25,839	-	-1,1
20	58	18	5,168	-	-0,5
21	65	25	3,876	-	-0,9
22	31	10	2,584	-	-0,6
23	83	28	12,919	-	-2,5
24	51	20	6,46	-	-2,5
25	60	21	16,795	-	-2,4
26	47	10	6,46	-	-2,0
27	78	32	6,46	-	-0,9
28	95	35	23,255	-	-1,1
29	69	27	12,919	-	-1,5
30	40	13	7,752	-	-0,6
31	49	15	7,752	-	-1,5
32	131	51	15,503	-	-0,8
33	65	14	6,46	-	-1,7
34	62	30	10,335	-	-0,7
35	105	35	7,752	-	-0,9
36	72	28	7,752	-	-1,0
37	82	35	15,503	-	-1,1
38	74	24	16,795	-	-1,2
39	52	13	9,044	-	-2,5
40	110	41	15,503	-	-1,5
41	76	18	6,46	-	-2,5
42	107	44	7,752	-	-2,4
43	47	14	3,876	-	-0,9
44	62	28	9,044	-	-1,1
45	67	19	10,335	-	-0,8
46	51	17	6,46	-	-0,9
47	59	24	9,044	-	-0,8
48	118	41	20,671	-	-0,1
49	56	18	18,087	-	-1,2
50	63	22	7,752	-	-0,9
51	98	27	16,795	-	-0,8
52	71	20	23,255	-	-0,7
53	57	21	6,46	-	-1,8
54	77	34	11,627	-	-0,9
55	53	18	6,46	-	-0,7
56	46	16	12,919	-	-0,9

57	65	22	18,087	-	-0,9
58	59	15	12,919	-	-0,9
59	89	38	20,671	-	-0,9
60	145	52	9,044	-	-1,4
61	56	12	6,46	-	-1,1
62	43	17	6,46	-	-1,4
63	76	35	9,044	-	-1,4
64	33	13	2,584	-	-1,1
65	79	31	6,46	-	-0,9
66	89	41	6,46	-	-2,5
67	71	30	15,503	-	-0,7
68	106	52	23,255	-	-0,4
69	64	27	15,503	-	-0,2
70	41	12	9,044	-	-0,2
71	54	22	7,752	-	-1,4
72	28	14	10,335	-	-0,9
73	45	15	9,044	-	-0,8
74	54	25	9,044	-	-0,8
75	36	14	12,919	-	-0,9
76	95	45	7,752	-	-1,1
77	56	20	5,168	-	-1,1
78	49	14	12,919	-	-1,9
79	67	24	10,335	-	-1,8
80	36	18	10,335	-	-1,8
81	82	31	9,044	-	-1,1
82	72	35	15,503	-	-1,9
83	33	10	7,752	-	-1,1
84	39	12	9,044	-	-1,1
85	57	26	12,919	-	-1,8
86	87	37	23,255	-	-1,8
87	107	42	15,503	-	-1,1
88	43	16	18,087	-	-1,1
89	45	14	5,168	-	-1,1
90	91	39	23,255	-	-1,0
91	69	22	12,919	-	-0,9
92	92	32	12,919	-	-0,9
93	95	36	25,839	-	-0,8
94	56	20	5,168	-	-0,8
95	63	26	11,627	-	-1,4
96	76	32	18,087	-	-0,7

97	74	21	7,752	-	-0,8
98	42	12	38,758	-	-0,8
99	42	13	2,584	-	-1,1
100	82	28	12,919	-	-1,1
101	62	23	15,503	-	-1,1
102	113	44	20,671	-	-1,5
103	154	55	28,422	-	-1,5
104	58	22	6,46	-	-1,9
105	69	30	7,752	-	-1,5
106	46	12	5,168	-	-1,4
107	97	38	18,087	-	-1,1
108	46	12	5,168	-	-1,8
109	105	47	9,044	-	-1,9
110	91	33	15,503	-	-1,1
111	68	28	5,168	-	-1,0
112	105	55	7,752	-	-0,1
113	64	28	20,671	-	-1,5
114	72	32	15,503	-	-1,4
115	105	47	15,503	-	-1,0
116	167	60	31,006	-	-1,1
117	149	66	18,087	-	-1,0
118	86	40	10,335	-	-1,1
119	101	37	7,752	-	-1,1
120	73	30	10,335	-	-1,1
121	47	22	9,044	-	-0,9
122	85	32	7,752	-	-1,5
123	50	20	5,168	-	-1,5
124	52	19	15,503	-	-1,5
125	69	26	6,46	-	-1,0
126	144	66	12,919	-	-1,4
127	124	56	9,044	-	-1,4
128	110	51	5,168	-	-0,2
129	87	38	7,752	-	-1,1
130	75	34	20,671	-	-1,5
131	73	32	10,335	-	-1,4
132	124	57	15,503	-	-1,4
133	43	20	6,46	-	-0,8
134	46	18	5,168	-	-1,4
135	42	20	3,876	-	-1,5
136	50	19	9,044	-	-0,9

137	42	17	10,335	-	-0,9
138	39	19	5,168	-	-1,3
139	39	20	3,876	-	-1,4
140	40	14	10,335	-	-1,0
141	30	8	2,584	-	-2,5
142	48	19	10,335	-	-2,1
143	40	15	7,752	-	-0,3
144	60	24	10,335	-	-1,5
145	73	32	20,671	-	-0,8
146	60	27	7,752	-	-0,8
147	54	25	12,919	-	-1,1
148	41	23	6,46	-	-1,0
149	45	21	3,876	-	-1,2
150	31	11	6,46	-	-1,2
151	66	35	18,087	-	-0,2
152	46	15	5,168	-	-0,1
153	24	8	2,584	-	-0,3
154	59	22	12,919	-	-0,3

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.4. Cuarto punto

Punto de estudio	Río Sella
Nombre	Punto 4 S.
Latitud	21°23'24,93"S
Longitud	64°41'44,21"O

Fig. 3.62. Acopio de material en el cuarto punto del Río Sella.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.25. Propiedades físicas de los agregados: Cuarto punto (Río Sella).

Nº	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	92	30	11,627	-	-1,1
2	186	72	20,671	-	-1,2
3	122	50	15,503	-	-0,9
4	156	64	23,255	-	-0,9
5	60	24	10,335	-	-0,9
6	31	14	6,46	-	-0,9
7	29	13	5,168	-	-0,8
8	112	48	18,087	-	-0,8
9	49	22	3,876	-	-0,7
10	46	21	10,335	-	-0,1
11	88	37	11,627	-	-0,1
12	56	22	7,752	-	-0,1
13	96	40	20,671	-	-1,1
14	57	20	23,255	-	-0,9
15	51	21	9,044	-	-0,9
16	58	22	10,335	-	-0,9
17	146	57	23,255	-	-0,9
18	60	28	15,503	-	-1,1
19	50	20	10,335	-	-1,1
20	182	74	12,919	-	-1,1
21	186	79	15,503	-	-0,8
22	34	14	5,168	-	-0,8
23	52	21	10,335	-	-0,8
24	76	33	10,335	-	-0,8
25	120	50	7,752	-	-0,8
26	47	20	5,168	-	-0,8
27	54	22	12,919	-	-0,7
28	84	31	18,087	-	-0,7
29	64	24	20,671	-	-0,9
30	50	19	5,168	-	-0,5
31	31	10	3,876	-	-0,5
32	101	44	20,671	-	-0,2
33	50	19	5,168	-	-0,2
34	24	13	2,584	-	-0,4

35	51	20	20,671	-	-0,4
36	81	30	7,752	-	-0,4
37	28	12	9,044	-	-0,2
38	62	26	20,671	-	-0,2
39	34	19	18,087	-	-0,2
40	49	22	9,044	-	-0,2
41	64	26	15,503	-	-0,1
42	96	40	25,839	-	-0,1
43	123	51	18,087	-	-0,1
44	162	61	25,839	-	-0,1
45	32	13	2,584	-	-0,1
46	29	10	5,168	-	-0,2
47	80	33	9,044	-	-0,2
48	65	18	3,876	-	-0,2
49	93	40	7,752	-	-0,2
50	94	31	5,168	-	-0,2
51	114	44	7,752	-	-0,2
52	67	23	10,335	-	-0,2
53	40	10	5,168	-	-0,2
54	49	19	7,752	-	-0,2
55	64	21	18,087	-	-0,2
56	49	20	10,335	-	-0,2
57	51	21	12,919	-	-0,2
58	58	24	18,087	-	-0,2
59	80	32	18,087	-	-0,2
60	56	20	11,627	-	-0,2
61	89	30	19,379	-	-0,3
62	56	23	5,168	-	-0,3
63	40	18	6,46	-	-0,3
64	36	14	6,46	-	-0,3
65	78	30	15,503	-	-0,3
66	73	25	10,335	-	-0,3
67	85	31	12,919	-	-0,5
68	89	29	25,839	-	-0,5
69	51	19	12,919	-	-0,5
70	71	27	7,752	-	-0,5
71	55	18	9,044	-	-0,5
72	43	18	12,919	-	-0,2

73	95	34	20,671	-	-0,2
74	51	20	10,335	-	-0,2
75	95	36	23,255	-	-0,2
76	28	10	2,584	-	-0,1
77	39	17	5,168	-	-0,1
78	35	14	3,876	-	-0,1
79	21	6	3,876	-	-0,1
80	26	9	5,168	-	-0,1
81	41	14	5,168	-	-0,1
82	25	10	5,168	-	-0,1
83	34	14	5,168	-	-0,1
84	57	25	5,168	-	-0,1
85	37	12	6,46	-	-0,1
86	41	18	3,876	-	-0,2
87	55	21	12,919	-	-0,2
88	63	22	18,087	-	-0,2
89	55	21	7,752	-	-0,2
90	39	17	7,752	-	-0,2
91	141	58	9,044	-	-0,2
92	135	57	18,087	-	-0,3
93	98	43	25,839	-	-0,3
94	121	52	25,839	-	-0,3
95	80	29	15,503	-	-0,3
96	59	22	23,255	-	-0,2
97	45	15	7,752	-	-0,6
98	103	41	7,752	-	-0,6
99	52	17	20,671	-	-0,6
100	91	37	18,087	-	-0,6
101	64	21	12,919	-	-0,7
102	106	45	23,255	-	-0,4
103	132	52	25,839	-	-0,8
104	80	33	15,503	-	-0,8
105	119	50	15,503	-	-0,2
106	85	30	7,752	-	-0,2
107	133	32	10,335	-	-0,2
108	85	24	15,503	-	-0,2
109	63	17	9,044	-	-0,2
110	45	18	7,752	-	-0,2

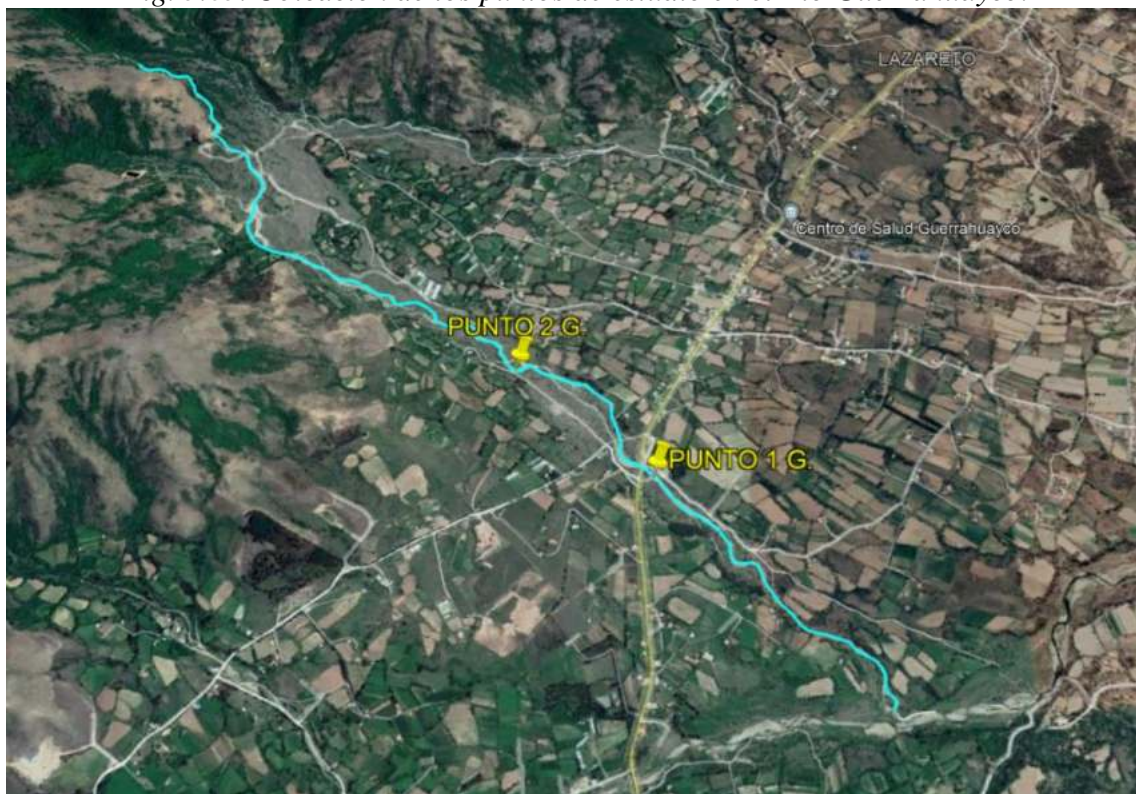
111	90	31	23,255	-	-0,2
112	94	34	20,671	-	-0,2
113	73	20	12,919	-	-0,1
114	60	19	9,044	-	-0,1
115	152	46	25,839	-	-0,1
116	121	48	10,335	-	-0,1
117	74	28	11,627	-	-0,1
118	89	38	10,335	-	-0,1
119	39	11	18,087	-	-0,2
120	35	14	5,168	-	-0,2
121	55	22	7,752	-	-0,2
122	76	32	18,087	-	-0,2
123	44	17	5,168	-	-0,2
124	36	20	12,919	-	-0,2
125	55	25	5,168	-	-0,2
126	63	24	10,335	-	-0,2
127	35	10	7,752	-	-0,3
128	56	18	3,876	-	-0,3
129	33	10	7,752	-	-0,3
130	68	27	5,168	-	-0,3
131	128	52	12,919	-	-0,3
132	74	28	18,087	-	-0,2
133	78	30	10,335	-	-0,2
134	131	52	15,503	-	-0,2
135	118	46	10,335	-	-0,2
136	108	45	10,335	-	-0,2
137	104	41	18,087	-	-0,2
138	119	48	12,919	-	-0,2
139	201	79	25,839	-	-0,1
140	164	59	7,752	-	-0,1
141	233	85	25,839	-	-0,1
142	165	63	9,044	-	-0,1
143	165	64	10,335	-	-0,1
144	65	22	3,876	-	-0,1
145	90	33	6,46	-	-0,2
146	116	42	15,503	-	-0,2
147	74	27	7,752	-	-0,2
148	42	13	3,876	-	-0,2

149	86	30	10,335	-	-0,2
150	69	23	11,627	-	-0,2
151	124	45	12,919	-	-0,1
152	434	146	23,255	-	-0,1
153	104	40	18,087	-	-0,1
154	62	22	12,919	-	-0,1

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Río Guerrahuayco

Fig. 3.63. Ubicación de los puntos de estudio en el Río Guerrahuayco.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.64. Acopio de material en el primer punto del Río Guerrahuayco.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.3.1. Primer punto

Punto de estudio	Río Guerrahuayco
Nombre	Punto 1 G.
Latitud	21°35'59,37"S
Longitud	64°48'59,66"O

Tabla 3.26. Propiedades físicas de los agregados: Primer punto (Río Guerrahuayco).

N°	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	35	16	10,335	-	-0,7
2	25	13	3,876	-	-0,6
3	28	14	2,584	-	-0,7
4	12	4,5	3,876	-	-0,8
5	14	5,5	7,752	-	-0,8
6	15	6	3,876	-	-0,8
7	12	5	2,584	-	-0,7
8	17	6,5	5,168	-	-0,9
9	11	5,5	6,460	-	-1,1
10	13	6	3,876	-	-1,1
11	16	6,5	1,292	-	-1,2
12	18	7,5	2,584	-	-0,8
13	14	5,5	3,876	-	-0,1
14	23	10	9,044	-	-1,0
15	18	7,5	3,876	-	-1,1

16	19	8	7,752	-	-1,1
17	31	15	5,168	-	-0,7
18	42	19	25,839	-	-0,8
19	55	25	10,335	-	-1,5
20	8	4	3,876	-	-1,1
21	29	15	6,460	-	-1,4
22	31	15,5	15,503	-	-1,5
23	32	15	2,584	-	-1,1
24	18	8,5	3,876	-	-0,8
25	32	13,5	7,752	-	-0,7
26	15	6	3,876	-	-0,3
27	32	14,5	2,584	-	-0,9
28	20	8	3,876	-	-0,4
29	24	9	10,335	-	-0,3
30	35	12	3,876	-	-0,7
31	36	16,5	7,752	-	-0,8
32	28	9	5,168	-	-0,6
33	17	7	2,584	-	-0,7
34	9	3	1,292	-	-0,5
35	9	3,5	1,292	-	-0,3
36	10	4	3,876	-	-0,2
37	38	14	9,044	-	-0,3
38	36	16	15,503	-	-0,3
39	24	13	10,335	-	-0,4
40	22	9	7,752	-	-0,5
41	28	13	15,503	-	-0,5
42	29	13	18,087	-	-0,6
43	28	12,5	12,919	-	-0,7
44	29	15,5	10,335	-	-0,6
45	33	16	12,919	-	-1,1
46	27	9	7,752	-	-1,2
47	24	10	12,919	-	-0,8
48	29	12	18,087	-	-0,9
49	33	14	23,255	-	-0,9
50	20	6,5	15,503	-	-0,8
51	12	5	12,919	-	-1,1
52	21	11	12,919	-	-1,0
53	46	16	15,503	-	-1,0
54	76	30	25,839	-	-0,9
55	51	18,5	12,919	-	-0,8

56	15	6	10,335	-	-1,1
57	22	9	15,503	-	-0,3
58	18	6	7,752	-	-0,5
59	16	6	6,460	-	-0,4
60	12	5	7,752	-	-0,5
61	26	8	12,919	-	-0,5
62	11	5	12,919	-	-1,1
63	14	6	10,335	-	-1,0
64	7	3	3,876	-	-1,2
65	19	7	12,919	-	-1,2
66	33	13	12,919	-	-1,0
67	11	5	6,460	-	-1,7
68	43	16	12,919	-	-1,9
69	16	7	15,503	-	-1,8
70	24	9	12,919	-	-1,5
71	9	3	7,752	-	-0,3
72	6	2	5,168	-	-0,9
73	27	9	20,671	-	-0,4
74	14	5	7,752	-	-0,8
75	11	3	10,335	-	-0,6
76	46	18	3,876	-	-0,7
77	23	9	23,255	-	-0,5
78	12	5	5,168	-	-0,5
79	8	3	2,584	-	-0,3
80	8	3	10,335	-	-0,4
81	12	4,5	5,168	-	-0,3
82	22	8	19,379	-	-0,6
83	15	6	15,503	-	-0,7
84	42	16	31,006	-	-0,8
85	22	8	10,335	-	-0,8
86	18	7	15,503	-	-0,9
87	11	4,5	7,752	-	-0,3
88	13	5	11,627	-	-0,2
89	17	8	15,503	-	-0,4
90	9	3,5	6,460	-	-1,2
91	10	3,5	5,168	-	-0,2
92	9	3	5,168	-	-0,8
93	9	3,5	9,044	-	-1,2
94	13	5	6,460	-	-0,9
95	14	5	7,752	-	-1,4

96	9	3,5	9,044	-	-1,2
97	14	5,5	5,168	-	-1,3
98	21	8	10,335	-	-1,4
99	18	7	10,335	-	-1,8
100	12	5	3,876	-	-2,0
101	9	3	7,752	-	-2,1
102	40	13	15,503	-	-0,9
103	9	3,5	6,460	-	-1,9
104	21	8	23,255	-	-1,8
105	13	4,5	9,044	-	-1,7
106	31	11	20,671	-	-1,8
107	7	3	5,168	-	-1,6
108	6	2	2,584	-	-1,4
109	11	5	12,919	-	-0,8
110	25	10	10,335	-	-0,5
111	7	3,5	3,876	-	-0,8
112	19	6,5	18,087	-	-0,9
113	18	7	10,335	-	-0,3
114	10	4	7,752	-	-0,4
115	15	7	12,919	-	-0,5
116	20	6	5,168	-	-0,2
117	21	6	15,503	-	-0,2
118	14	5	9,044	-	-1,2
119	29	13	14,211	-	-1,3
120	11	4	5,168	-	-0,9
121	13	6	5,168	-	-0,8
122	14	6	7,752	-	-0,2
123	9	3	6,460	-	-0,1
124	9	3,5	5,168	-	-0,2
125	18	7	12,919	-	-0,2
126	30	12	6,460	-	-0,5
127	21	8	6,460	-	-1,2
128	11	4	7,752	-	-1,3
129	22	7	10,335	-	-0,9
130	15	5	9,044	-	-0,9
131	11	4	9,044	-	-0,8
132	14	5	6,460	-	-0,7
133	33	10	12,919	-	-0,6
134	32	11	12,919	-	-0,9
135	28	9	6,460	-	-0,3

136	17	7	15,503	-	-0,3
137	8	3	7,752	-	-0,2
138	9	4	7,752	-	-0,1
139	8	2,5	5,168	-	-0,9
140	21	8	7,752	-	-0,8
141	17	7	6,460	-	-0,7
142	24	10	12,919	-	-0,6
143	21	8	15,503	-	-0,7
144	16	6	3,876	-	-0,6
145	21	7	7,752	-	-0,8
146	27	9	9,044	-	-0,9
147	20	8	9,044	-	-1,1
148	21	8	12,919	-	-1,0
149	19	8	7,752	-	-1,0
150	19	8	10,335	-	-1,2
151	16	6,5	7,752	-	-1,3
152	22	8	7,752	-	-2,3
153	16	6	5,168	-	-2,1
154	14	6	5,168	-	-2,0

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3.2. Segundo punto

Punto de estudio	Río Guerrahuayco
Nombre	Punto 2 G.
Latitud	21°35'44,60"S
Longitud	64°49'17,25"O

Fig. 3.65. Acopio de material en el primer punto del Río Guerrahuayco.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.27. *Propiedades físicas de los agregados: Segundo punto (Río Guerrahuayco).*

Nº	Peso (gr)	Volumen (cc)	Valor de la carga eléctrica (nC)	Polaridad de la carga eléctrica	Potencial "Z" (mV)
1	12	5	5,168	-	-0,2
2	18	7	7,752	-	-0,7
3	10	4	12,919	-	-0,1
4	12	5	2,584	-	-0,5
5	25	10	5,168	-	-0,5
6	42	19	12,919	-	-0,6
7	66	25	20,671	-	-0,5
8	39	16	20,671	-	-0,5
9	41	16	23,255	-	-0,5
10	34	12	31,006	-	-0,5
11	42	15,5	20,671	-	-0,5
12	35	13,5	18,087	-	-0,5
13	67	26	10,335	-	-0,6
14	98	38	10,335	-	-0,8
15	40	16	2,584	-	-0,4
16	66	26	12,919	-	-1,4
17	57	20,5	6,460	-	-1,5
18	77	32	9,044	-	-1,4
19	40	17	2,584	-	-1,4
20	91	33	25,839	-	-1,1
21	42	14	18,087	-	-1,1
22	51	19	12,919	-	-1,4
23	52	18	18,087	-	-1,2
24	62	26	10,335	-	-0,8
25	27	8	12,919	-	-0,9
26	25	9	12,919	-	-0,7
27	47	22	7,752	-	0,6
28	26	10	2,584	-	-0,9
29	71	30	5,168	-	5,0
30	35	13	3,876	-	-0,6
31	55	21	5,168	-	-0,8
32	52	19	5,168	-	-0,7
33	57	21,5	5,168	-	-0,8
34	74	32	7,752	-	-0,7
35	51	19	12,919	-	-0,1
36	63	26	12,919	-	-0,2

37	35	13	14,211	-	-0,2
38	63	28	15,503	-	-1,2
39	105	41	10,335	-	-2,5
40	27	11	2,584	-	-2,4
41	59	20	12,919	-	-1,4
42	50	17	12,919	-	-1,4
43	62	23	2,584	-	-1,4
44	51	23	3,876	-	-1,5
45	86	32	12,919	-	-1,6
46	64	24	12,919	-	-1,8
47	91	39	10,335	-	-1,4
48	74	30	5,168	-	-1,1
49	72	30	5,168	-	-1,4
50	30	13	5,168	-	-0,2
51	33	12	20,671	-	-0,3
52	40	14	18,087	-	-0,5
53	67	27	12,919	-	-0,2
54	25	8,5	5,168	-	-0,3
55	38	13	12,919	-	-0,4
56	46	18	18,087	-	-0,4
57	49	21	12,919	-	-0,5
58	39	14	10,335	-	-0,5
59	59	25	10,335	-	-0,9
60	32	12,5	12,919	-	-0,8
61	33	13	20,671	-	-0,8
62	27	9	20,671	-	-0,8
63	43	16	12,919	-	-0,8
64	20	8	11,627	-	-0,7
65	31	12	2,584	-	-0,7
66	41	14,5	5,168	-	-0,5
67	35	12,5	12,919	-	-0,6
68	52	17	20,671	-	-0,5
69	26	8	18,087	-	-0,5
70	24	11	20,671	-	-0,5
71	30	13	23,255	-	-0,5
72	49	18	10,335	-	-0,5
73	85	30	12,919	-	-0,8
74	39	14	2,584	-	-0,8
75	57	21	5,168	-	-0,8
76	32	12	5,168	-	-0,4

77	55	19	7,752	-	-0,5
78	45	19	9,044	-	-0,5
79	32	12	12,919	-	-0,6
80	34	14	12,919	-	-0,6
81	30	10	23,255	-	-0,5
82	16	6,5	15,503	-	-0,5
83	30	11	18,087	-	-0,4
84	13	5	10,335	-	-0,4
85	20	8	12,919	-	-0,2
86	40	15	12,919	-	-0,5
87	25	10	2,584	-	-0,4
88	27	9	12,919	-	-0,6
89	21	9	5,168	-	-0,6
90	23	9	6,460	-	-0,6
91	26	10	5,168	-	-1,4
92	22	9	12,919	-	-1,2
93	20	7	10,335	-	-0,9
94	38	16	10,335	-	-0,8
95	32	12	20,671	-	-0,8
96	48	19	12,919	-	-0,7
97	25	10	23,255	-	-0,7
98	27	9	15,503	-	-0,1
99	21	9	7,752	-	-0,1
100	34	10	20,671	-	-0,2
101	31	10	10,335	-	-0,2
102	32	12	12,919	-	-0,3
103	50	21	18,087	-	-0,5
104	26	7	20,671	-	-0,1
105	22	8	2,584	-	-0,1
106	42	14	10,335	-	-1,4
107	45	19	20,671	-	-2,5
108	40	15	20,671	-	-2,5
109	26	10	18,087	-	-2,1
110	39	14	10,335	-	-1,2
111	60	22	10,335	-	-1,5
112	51	17	2,584	-	-1,6
113	22	8	5,168	-	-1,5
114	21	8	12,919	-	-1,4
115	23	8	12,919	-	-1,5
116	27	10	10,335	-	-1,6

117	23	10	2,584	-	-1,6
118	25	8	10,335	-	-1,5
119	24	9	10,335	-	-1,5
120	25	8	10,335	-	-0,2
121	23	9	10,335	-	-0,5
122	28	11	10,335	-	-0,2
123	16	7	2,584	-	-0,6
124	23	8	18,087	-	-0,2
125	21	7	18,087	-	-0,1
126	11	5	20,671	-	-1,5
127	31	11	12,919	-	-1,4
128	20	8	10,335	-	-1,5
129	32	11	2,584	-	-1,5
130	26	9	5,168	-	-1,5
131	23	8	12,919	-	-1,5
132	28	9	5,168	-	-1,4
133	24	8	5,168	-	-1,4
134	18	6	7,752	-	-0,3
135	11	3	6,460	-	-0,5
136	14	4	6,460	-	-0,6
137	10	4,5	16,795	-	-0,8
138	22	7	18,087	-	-0,9
139	14	6	10,335	-	-0,4
140	21	7	9,044	-	-1,0
141	30	12	3,876	-	-1,5
142	42	15	2,584	-	-1,5
143	22	7	1,292	-	-0,2
144	20	7,5	6,460	-	-0,3
145	15	6	10,335	-	-0,1
146	14	6	2,584	-	-0,2
147	17	6	5,168	-	-0,2
148	15	6	5,168	-	-0,5
149	14	7	5,168	-	-0,3
150	11	3	12,919	-	-0,2
151	12	4,5	15,503	-	-0,2
152	9	3,5	2,584	-	-0,1
153	11	5	5,168	-	-1,4
154	11	4	7,752	-	-1,5

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.66. Agregados de los cuatro puntos del Río Tolomosa.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.67. Agregados de los cuatro puntos del Río Sella.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.68. Agregados de los dos puntos del Río Guerrahuayco.



Fuente: Elaboración propia.

3.6. Análisis estadístico descriptivo

Las tablas mostradas presentan las propiedades físicas de cada uno de los agregados estudiados en cada punto definido, teniendo de cada uno de ellos una identidad propia a través de los valores de sus propiedades físicas.

En los datos de peso registrados, se pueden observar los valores entre el rango de 1 gr el mínimo a 434 gr el máximo

Los valores de volumen obtenidos están entre el mínimo de 0,3 cc y el máximo 146 cc.

En el proceso de toma de ambos datos, se pudo observar las diferencias físicas entre agregados que pueden existir en una zona, debido a la variedad de los mismos no se tiene una homogeneidad ya que algunos del mismo peso presentan distintos volúmenes y lo que más los diferencia es el color como se puede observar en las Fig. 3.66, Fig.3.67, y Fig. 3.68.

Con estas dos propiedades se puede observar la variación de tamaños que existe de los agregados: los más pequeños corresponden a los agregados triturados, los más grandes corresponden a los agregados de los ríos y dentro de la zona central de Cercado se puede ver que varían dependiendo del punto elegido; en áreas verdes como plazas se tienen los agregados más pequeños.

Es importante resaltar la variación de volumen y peso de los agregados ya que el electroscopio tiene poca sensibilidad ante agregados pequeños debido a que la superficie deberá ser lo suficientemente amplia para trabajar por inducción con el electroscopio.

Con los agregados pequeños se toma el dato de polaridad solamente con el electrómetro que da una lectura directa y digital. El valor de la carga es posible tomarlo con el electroscopio ya que se hace por contacto.

En cuanto al valor de la carga eléctrica y el potencial “Z” se puede observar que se presentan valores desordenados sin relación alguna entre ellos, esto se puede atribuir a la variedad de agregados y por lo tanto existe una variedad en la composición de los mismos dado que la cantidad de carga depende de la naturaleza de los materiales (de su separación en la serie triboeléctrica), y del área de la superficie que entra en contacto. Otro de los factores que intervienen es el estado de las superficies, si son lisas o rugosas (entonces, la superficie de contacto es pequeña). La humedad o impurezas que contengan las superficies proporcionan un camino para que se recombinen las cargas. La

presencia de impurezas en el aire tiene el mismo efecto que la humedad, se tienen valores muy diferentes en algunos casos llegando a sobrepasar el nivel de lectura del electroscopio y también en algunos casos siendo muy difícil tomar un valor en el electroscopio ya que con los agregados más pequeños se presenta poca sensibilidad en el equipo.

Los valores de carga eléctrica y potencial “Z” son tomados como datos que identifican a cada agregado ya que en la combinación con emulsiones no existe una metodología para medir la carga eléctrica de las emulsiones pero sí la polaridad de las mismas, es por eso que el análisis de la polaridad es el que reviste mayor importancia dentro del estudio de los agregados.

En lo referente a la estadística se entiende como moda el dato que tiene mayor frecuencia dentro de la distribución. Es un elemento indispensable y fundamental dentro del mundo de la estadística.

- Una de las características de la moda es que no se ve afectada por los factores extremos.
- A diferencia de la media aritmética la moda no está definida de forma algebraica.

Por definición, la moda no es un valor único, sino que pueden existir más de dos valores que tengan la misma frecuencia en cuyos casos se hablará de un valor bimodal o polimodal.

El análisis de polaridad de los agregados es el que se desarrolla en este proyecto, teniendo en cuenta que es este dato el que se necesita para combinar una emulsión con agregado debido a que en la caracterización de una emulsión se requiere determinar la polaridad de las partículas de la misma y no así la cantidad de carga.

A continuación se presenta el análisis de la moda de polaridad de la carga eléctrica registrada en las tablas presentadas, producto del estudio de agregados realizado, como medida de tendencia central definitiva para definir cada zona según esta medida de tendencia central.

Tabla 3.28. Análisis estadístico descriptivo de la polaridad de la carga eléctrica de los agregados estudiados en la zona central de Cercado.

Zona de estudio	Nombre de punto	Moda de polaridad de la carga eléctrica	Polaridad de los agregados en la zona
Distrito 1	Puente San Martín	-	Negativa
Distrito 2	Plaza Isaac Attie-Cementerio	-	Negativa
Distrito 3	Puente Bicentenario	-	Negativa
Distrito 4	Parque Bolívar	-	Negativa
Distrito 5	Rotonda Belgrano-Av. Membrillos Qda El Monte	-	Negativa
Distrito 6	Avenida Integración	-	Negativa
Distrito 7	Avenida Circunvalación	-	Negativa
Distrito 8	Plaza Barrio San José	-	Negativa
Distrito 9	Avenida La Paz	-	Negativa
Distrito 10	Carretera al Chaco km 7	-	Negativa
Distrito 11	Parque Temático	-	Negativa
Distrito 12	San Blas-Río Guadalquivir	-	Negativa
Distrito 13	Plaza Mirador Héroes de la Independencia	-	Negativa

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la zona central de Cercado delimitada se cuenta con 13 distritos, de los cuales se elige un punto en cada distrito para el estudio de agregados y sus propiedades electrostáticas, es así que se presenta en la tabla arriba mostrada, los resultados de polaridades siendo en su totalidad negativas lo que permite la zonificación de la zona central de Cercado como una zona con agregados aniónicos.

Fig. 3.69. Zonificación de la zona central de Cercado.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.29. Análisis estadístico descriptivo de la polaridad de la carga eléctrica de los agregados estudiados en las plantas trituradoras.

N°	Nombre de la planta trituradora	Moda de polaridad de la carga eléctrica	Polaridad de los agregados
1	Áridos “16 de enero”	-	Negativa
2	Áridos “Garzón”	-	Negativa
3	Áridos “San Blas”	-	Negativa

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el estudio de agregados al agregado triturado de cada una de las plantas trituradoras, cuyo análisis de polaridades se presenta en la tabla arriba mostrada, siendo la moda la polaridad negativa, lo que permite la catalogación del agregado que produce cada planta como agregados aniónicos.

Tabla 3.30. Análisis estadístico descriptivo de la polaridad de la carga eléctrica de los agregados estudiados en los ríos de procedencia.

Zona de estudio	Nombre de punto	Moda de polaridad de la carga eléctrica	Polaridad de los agregados en la zona
Río Tolomosa	1 T.	-	Negativa
	2 T.	-	
	3 T.	-	
	4 T.	-	
Río Sella	1 S.	-	Negativa
	2 S.	-	
	3 S.	-	
	4 S.	-	
Río Guerrahuayco	1 G.	-	Negativa
	2 G.	-	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla presentada se muestra la moda de la polaridad de la carga eléctrica de los agregados de los ríos, siendo esta negativa en los diez puntos estudiados, como cada

punto representa a un río específico de extracción de agregados se tiene las polaridades de carga eléctrica por río:

Río Tolomosa: Todos los agregados presentan cargas eléctricas con polaridades negativas.

Río Sella: Todos los agregados presentan cargas eléctricas con polaridades negativas.

Río Guerrahuayco: Todos los agregados presentan cargas eléctricas con polaridades negativas.

Cada uno de estos ríos se encuentra delimitado e identificado en el Anexo D del presente proyecto.

La zona considerada de cada río representa un tramo considerable del río en cuestión, es por eso que se muestran las coordenadas de inicio del tramo y final del tramo de río.

Río Tolomosa:

<i>Punto inicial</i>	<i>Punto final</i>
Latitud: 21°23'15.40"S	Latitud: 21°28'11.61"S
Longitud: 64°40'14.00"O	Longitud: 64°45'6.57"O

Río Sella:

<i>Punto inicial</i>	<i>Punto final</i>
Latitud: 21°38'32.73"S	Latitud: 21°37'37.88"S
Longitud: 64°49'53.45"O	Longitud: 64°45'53.95"O

Río Guerrahuayco:

<i>Punto inicial</i>	<i>Punto final</i>
Latitud: 21°34'57.99"S	Latitud: 21°36'28.46"S
Longitud: 64°50'9.76"O	Longitud: 64°48'32.15"O

Todos los agregados estudiados dieron como resultado una polaridad negativa convirtiéndolos así en agregados aniónicos.

Para respaldar los resultados obtenidos se recurre a una variedad de documentos donde se puede encontrar diferentes afirmaciones que concluyen que todos los agregados son aniónicos, en base a estudios previos que se realizaron. A continuación se cita cada una de estas afirmaciones con sus respectivos autores:

Rogelio Rodríguez Talavera, Víctor Manuel Castaño Meneses y Miguel Martínez Madrid del Instituto Mexicano del Transporte en su Documento Técnico No. 23

Sanfandila, Qro, 2001, titulado “Emulsiones asfálticas” en su página 29 afirma al respecto lo mismo que Reynoso Hilario William y Zelaya Contreras Nixon Javier de la Universidad Nacional de Huancavelica en su tesis de grado elaborada en 2014, titulada "Estudio de los agregados de la cantera de (Cangari) para la elaboración de la mezcla asfáltica para pavimento flexible en la provincia de Huanta - Ayacucho" en su página 60, ambos documentos afirman en sus páginas mencionadas:

“Durante muchos años se tuvo la idea que los materiales silíceos ácidos tenían cargas eléctricas negativas y que los materiales silíceos básicos o alcalinos, cargas positivas. Sin embargo, en trabajos de investigación recientes, ha quedado establecido que todos los agregados pétreos tienen cargas eléctricas negativas, incluyendo granitos, calizas, dolomitas, areniscas, basalto y cuarzo.

Por las características de las emulsiones catiónicas ya mencionadas, se prefieren éstas para la realización de trabajos en ingeniería, con todas las ventajas que las mismas presentan sobre los asfaltos rebajados y mezclas asfálticas en caliente.”

Diógenes Romero Muñoz de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en su tesis de grado elaborada en 2001, titulada “Diseño y aplicación de emulsiones básicas asfálticas” en su página 114 afirma:

“Durante muchos años, se ha tenido la idea y se ha afirmado en varios trabajos que los materiales silíceos ácidos tienen cargas eléctricas negativas y que los materiales básicos o alcalinos tienen cargas positivas. Sin embargo, en 1961 y 1967, han establecido la afirmación siguiente: “Todos los agregados pétreos estudiados tienen cargas eléctricas negativas” estos incluyen granitos, calizas, dolomitas, mármol, areniscas, basaltos y cuarzo. Esta afirmación en ambos trabajos ha sido verificada en 1976 con el título de “The Chemistry of Asphalt Emulsions”. Lo anteriormente establecido será de gran utilidad posteriormente, para entender cómo actúan las emulsiones asfálticas.”

Mario Arce Jiménez del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) en su documento elaborado en 2001, titulado “Agregados volcánicos para la producción de mezcla asfáltica” establece:

No obstante lo anterior, la teoría de que los agregados silíceos (ácidos), tienen cargas negativas y que los básicos alcalinos tienen cargas positivas ha sido cuestionada por Mc Glaseen, quien al determinar el potencial electrocinético superficial de los agregados, concluyó, según esta teoría, que todos los agregados pétreos estudiados tenían cargas eléctricas superficiales negativas, incluidos granitos, calizas, dolomitas, mármol, areniscas, basalto y cuarzo. Esta afirmación fue comprobada por J. Dybaiski en 1976.

Más recientemente se ha introducido el concepto de “potencial Z” para medir la carga eléctrica superficial del agregado. Esta teoría establece que los iones en la superficie del agregado no están completamente circundados, por tanto no hay un equilibrio electrostático. Al interactuar el agregado con el potencial eléctrico de partículas coloidales en un medio acuoso, se origina un potencial eléctrico que permite determinar el potencial Z que se registra en un equipo denominado “Z meter”.

Al aplicar esta técnica se corroboran los resultados de las investigaciones de Dybaiski respecto a la carga superficial negativa de los agregados”.

Jack N. Dybaiski, Gerente de Tecnología de Asfalto Akzo Chemicals Inc. McCook, Illinois en enero de 1976 en su documento elaborado en la quincuagésima quinta reunión anual de la Junta de Investigación del Transporte, titulado *The Chemistry of Asphalt Emulsions* declara:

“Durante los últimos años, ha existido un concepto erróneo de la carga superficial de agregados calcáreos, se ha asumido incorrectamente que dado que los agregados silíceos son ácidos y poseen una carga superficial electronegativa y que los agregados calcáreos al ser alcalinos poseen una carga superficial electro-positiva.

McGlashan y Bule en su artículo de 1961 “Determination of the Surface Charges of Certain Highway Aggregates By Streaming Potential Methods” declaró: “La carga superficial negativa de calcita (calcita= carbonato de calcio (CaCO_3) el componente básico de la piedra caliza) es provocado por la abstracción preferencial de iones de calcio (Ca^{++}) de la red; bicarbonato (HCO_3^-) y los iones hidroxilo (OH^-) afectan el potencial zeta a través de la adsorción en el plano interno de Helmholtz; e iones de calcio hidratados se acumulan cerca de la superficie para formar la capa difusa y mantener electroneutralidad ”.

En 1967, W. Cullen Sherwood en su documento “Determination of the Surface Charges of Certain Highway Aggregates By Streaming Potential Methods” declaró:

“Todos los agregados en estudio fueron encontrados con carga superficial negativa (estos incluyen granito, piedra caliza, dolomita, mármol, arenisca, sílice, basalto y cuarzo.) Existe un acuerdo básico con estos dos trabajos anteriores ya que nuestras investigaciones han verificado repetidamente que los agregados calcáreos tienen en efecto una carga superficial negativa.

La determinación del potencial zeta de 87 agregados naturales obtenidos en todo el mundo, de América del Norte y del Sur, Asia, Europa y África se ha completado recientemente de estos 87 agregados, 31 eran piedra caliza y dolomita y los 53 restantes eran silíceos de variables tipos. En todos los casos, una carga superficial negativa, que varía en intensidad de potencial zeta”.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

4.1. Especificaciones según la normativa de la ABC: Gradación

La gradación a utilizar en una carpeta dependerá del espesor a colocar de mezcla. Para espesores menores a 5 cm se debe utilizar la gradación de 9.5mm ($\frac{3}{8}$ pulg):

Tabla 4.1. Requisitos de gradación para la mezcla.

Tamiz	Grad. B
$\frac{3}{4}$ "	
$\frac{1}{2}$ "	100
$\frac{3}{8}$ "	90-100
N°4	55-85
N°8	32-67
N°40	7-23
N°200	2-10

Fuente: Manual de especificaciones técnicas generales de construcción ABC.

Para el desarrollo de este proyecto se elige trabajar con la gradación B que establece la ABC, que permite obtener la banda granulométrica requerida para carpetas de espesores delgados esto con el fin de facilitar el trabajo de la emulsión en sus procesos de rompimiento y curado.

4.1.1. Selección de plantas trituradoras

De las tres plantas que se encuentran dentro de la zona central de Cercado se analiza su aplicabilidad para la gradación establecida.

- Áridos “Garzón”: el agregado de menor tamaño que produce esta planta para su distribución es de $\frac{3}{8}$ ". Se toma en cuenta esta planta ya que este tamaño pertenece a la gradación.
- Áridos “16 de enero”: el agregado de menor tamaño que produce esta planta para su distribución es de $\frac{1}{2}$ ". Se toma en cuenta esta planta ya que este tamaño pertenece a la gradación.
- Áridos “San Blas”: el agregado de menor tamaño que produce esta planta para su distribución es de $\frac{3}{4}$ ". No se toma en cuenta esta planta ya que este tamaño no pertenece a la gradación.

Al tener solo dos plantas seleccionadas se recurre a dos plantas trituradoras que se encuentran muy próximas a la zona central de Cercado delimitada para este proyecto, ubicadas en la zona de La Pintada.

- Áridos “Fernández”: el agregado de menor tamaño que produce esta planta para su distribución es de 3/8”. Se toma en cuenta esta planta ya que este tamaño pertenece a la gradación.
- Áridos “Vargas”: el agregado de menor tamaño que produce esta planta para su distribución es de 3/8”. Se toma en cuenta esta planta ya que este tamaño pertenece a la gradación.

Fig. 4.1. Extracción de agregados y visita a la planta trituradora Áridos “Garzón”.



Fuente: Elaboración propia.

Fig.4.2. Extracción de agregados y visita a la planta trituradora Áridos “16 de enero”.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.3. Extracción de agregados y visita a la planta trituradora Áridos “Fernández”.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.4. Extracción de agregados y visita a la planta trituradora Áridos “Vargas”.



Fuente: Elaboración propia.

Es importante la visita a las plantas trituradoras de forma personal para conocer las características de cada una de ellas y obtener datos fidedignos que se requieran y se vayan a aplicar en este proyecto. Con todos esos datos reunidos, se parte con la aplicación práctica:

4.2. Caracterización de los agregados

4.2.1. Granulometría

Este ensayo da como resultado la representación gráfica de la distribución de las partículas en función al tamaño de las partículas del conjunto de agregados a ser empleados.

Procedimiento.

Homogeneizar el material y proceder al correspondiente cuarteo

Secar el material en un horno hasta peso constante.

Seleccionar los tamices de acuerdo a requerimiento de las especificaciones indicadas. Para optimizar el tiempo se pesan los tamices totalmente vacíos y limpios antes de iniciar el tamizado.

Ordenar de manera decreciente, en cuanto a tamaños de las mallas y colocar la base de fondo para retener el material que pasa la última malla y la tapa en el tamiz superior para evitar pérdidas.

Proceder al tamizado correspondiente garantizando el tiempo necesario y los movimientos requeridos para lograr la correcta separación de las partículas en función a sus tamaños.

Pesar los tamices con el material retenido para obtener el peso de material retenido en cada una de las mallas.

Fig. 4.5. Procedimiento del ensayo de granulometría.



Fuente: Elaboración propia.

Granulometría- agregado fino (arena)

Tabla 4.2. Resultados del ensayo de granulometría: agregado fino.

Peso Total (gr.)		500			
Plantas trituradoras		Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"
Tamices	Tamaño (mm)	% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total
3/8	9,50	100,00	100,00	100,00	100,00
Nº4	4,75	85,95	98,90	99,38	97,72
Nº8	2,36	69,16	79,48	95,64	69,80
Nº30	0,60	48,24	45,90	82,72	34,28
Nº100	0,15	11,60	8,04	5,74	4,70
Nº200	0,075	2,39	2,12	0,62	0,82
Base	-	0,00	0,00	0,00	0,00
MF		3,83	3,66	3,16	3,93

Fuente: Elaboración propia

Granulometría- agregado grueso (gravilla).

Tabla 4.3. Resultados del ensayo de granulometría: agregado grueso.

Peso Total (gr.)		4000			
Plantas trituradoras		Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"
Tamices	Tamaño (mm)	% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total
3/4"	19,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,50	99,55	83,15	97,23	94,24
3/8"	9,50	83,24	55,92	94,83	68,69
Nº4	4,75	5,66	1,27	11,71	3,51
Nº8	2,36	1,48	0,23	5,21	0,14
Base	-	0,00	0,00	0,00	0,00
MF		3,10	3,59	2,91	3,33

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Peso unitario

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos.

Procedimiento

Suelto

Llenar el molde vaciando directamente el material dentro del molde, desde una altura aproximada de 5cm sobre el nivel superior del molde y realizar el enrasado con la varilla.

Pesar el molde con el agregado teniendo así el peso del material que llena el molde.

Compactado

Agregar el material en tres capas; por cada capa se debe realizar el apisonado correspondiente con la varilla a través de 25 golpes uniformemente distribuidos en toda la superficie de cada capa a compactar y luego enrasar.

Proceder a pesar el molde con el material, teniendo así el peso del material que llena al molde.

Fig. 4.6. Procedimiento del ensayo de peso unitario.



Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario suelto: agregado fino – (arena)

Tabla 4.4. Resultados del ensayo de peso unitario suelto: agregado fino.

Muestra N°	Peso unitario suelto (gr/cm ³)			
	Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"
1	1,435	1,446	1,221	1,236
2	1,416	1,463	1,217	1,244
3	1,406	1,465	1,231	1,257
Promedio	1,419	1,458	1,223	1,246

Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario compactado: agregado fino – (arena)

Tabla 4.5. Resultados del ensayo de peso unitario compactado: agregado fino.

Muestra N°	Peso unitario compactado (gr/cm ³)			
	Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"
1	1,520	1,546	1,406	1,490
2	1,525	1,540	1,435	1,491
3	1,521	1,538	1,433	1,510
Promedio	1,522	1,541	1,424	1,497

Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario suelto: agregado grueso– (gravilla)

Tabla 4.6. Resultados del ensayo de peso unitario suelto: agregado grueso.

Muestra N°	Peso unitario suelto (gr/cm ³)			
	Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"
1	1,296	1,399	1,393	1,440
2	1,268	1,436	1,391	1,445
3	1,309	1,426	1,391	1,426
Promedio	1,291	1,421	1,392	1,437

Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario compactado: agregado grueso– (gravilla)

Tabla 4.7. Resultados del ensayo de peso unitario compactado: agregado grueso.

Muestra N°	Peso unitario compactado (gr/cm ³)			
	Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"
1	1,513	1,638	1,528	1,508
2	1,526	1,632	1,521	1,506
3	1,531	1,635	1,533	1,508
PROMEDIO	1,524	1,635	1,527	1,507

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Peso específico

4.2.3.1. Peso específico del agregado fino

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos.

Procedimiento

Dejar reposar la arena dentro del agua por un período de tiempo de 24 h.

Se procede al secado superficial de la arena hasta condición suelta, con la ayuda de una secadora; para verificar esto se llena el molde cónico con el árido en condición suelta en una capa y se enrasa.

Compactar suavemente con 25 golpes de pisón. Cuando se retira el molde, el árido debe caer suavemente según su talud natural.

Obtener el tamaño de muestra de ensayo requerido, se pesa y registra su peso.

Introducir la muestra en el matraz y cubrir con agua a una temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Agitar el matraz a fin de eliminar burbujas de aire golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano.

Se obtiene el peso total del matraz con la muestra de ensayo y el agua.

Vaciar la muestra del matraz, evitando pérdidas de material, y secar hasta peso constante.

Registrar el peso de la muestra de ensayo en condición seca.

Se llena el matraz solamente con agua a una temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ hasta la marca de calibración y se registra el peso del matraz con agua.

Fig. 4.7. Procedimiento del ensayo de peso específico: agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8. Resultados del ensayo de peso específico: agregado fino.

Planta trituradora	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% De absorción
Áridos "Garzón"	2,35	2,42	2,52	2,99
Áridos "16 de enero"	2,29	2,34	2,41	2,06
Áridos "Fernández"	2,49	2,55	2,64	2,37
Áridos "Vargas"	2,44	2,49	2,55	1,71

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2. Peso específico del agregado grueso

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

Procedimiento

Sumergir totalmente los agregados en agua por un período de 24 h.

Secar superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida.

Se obtiene el peso del árido superficialmente seco.

Colocar la muestra inmediatamente en el canastillo portamuestra, se sumerge el canastillo en agua a $20 \pm 3^\circ \text{C}$ y se registra el peso sumergido.

Retirar la muestra del canastillo y se vacía completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.

Secar la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y se pesa teniendo el peso de la muestra seca.

Fig. 4.8. Procedimiento del ensayo de peso específico: agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.9. Resultados del ensayo de peso específico: agregado grueso.

Planta trituradora	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% De absorción
Áridos "Garzón"	2,58	2,63	2,71	1,78
Áridos "16 de enero"	2,60	2,64	2,71	1,56
Áridos "Fernández"	2,50	2,58	2,71	3,06
Áridos "Vargas"	2,61	2,64	2,71	1,40

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Desgaste Los Ángeles

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm mediante la máquina de Los Ángeles.

Procedimiento

En función a la granulometría obtenida de cada una de las muestras se elige el grado de ensayo al que corresponden las mismas.

Se realiza el tamizado correspondiente hasta lograr completar los pesos requeridos.

Introducir la muestra inicial a la máquina de Los Ángeles junto con la carga abrasiva, después de cumplir sus ciclos correspondientes se detiene la máquina donde se logra retirar la muestra para tamizarla por el tamiz 12.

Lavar el material retenido y se seca en el horno hasta peso constante.

Pesar y registrar el material retirado del horno, obteniendo así el peso final.

Fig. 4.9. Procedimiento del ensayo de desgaste Los Ángeles.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10. Resultados del ensayo de desgaste Los Ángeles.

Planta trituradora	Grada- ción	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especi- ficación
Áridos "Garzón"	C	5000	3776,3	24,47	40% MÁX
Áridos "16 de enero"	C	5000	3912,4	21,75	
Áridos "Fernández"	C	5000	3479,4	30,41	
Áridos "Vargas"	C	5000	3763,6	24,73	

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Equivalente de arena

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (N° 4).

Procedimiento

Vaciar la arena hasta la marca que indica la probeta.

Añadir la solución compuesta por cloruro de calcio anhidro, glicerina farmacéutica y formaldehído, disueltos en agua destilada.

Se introduce el pisón de forma giratoria para asegurarse que las burbujas sean desalojadas.

Colocar el tapón y se agita vigorosamente de forma manual; 90 ciclos en 30 seg.

Se deja reposar por el tiempo necesario y se obtiene las lecturas de los niveles que alcanzan la arena y la arcilla.

Fig. 4.10. Procedimiento del ensayo de equivalente de arena.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11. Resultados del ensayo de equivalente de arena.

Planta trituradora	Equivalente de arena (%)	Especificación
Áridos "Garzón"	94,68	> 35%
Áridos "16 de enero"	97,81	
Áridos "Fernández"	93,52	
Áridos "Vargas"	96,48	

Fuente: Elaboración propia.

4.2.6. Caras fracturadas

Este método establece el procedimiento para determinar el contenido porcentual de partículas chancadas, rodadas y lajeadas de la fracción de un árido retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4).

Procedimiento

Homogeneizar la muestra a ensayar con la ayuda de la cuchara.

La muestra para el ensayo se obtiene, por medio de un cuarteo del total del material recibido.

Separar mediante tamizado la muestra ya acondicionada en las siguientes fracciones: entre 4,75 y 19 mm.

Se determina visualmente y se separa las partículas chancadas y rodadas.

De la fracción chancada, se determina con un pie de metro la laja y se registra el peso de chancado sin laja y el peso de laja.

De la fracción rodada se determina con un pie de metro la laja y se registra el peso de rodadora sin laja y el peso de laja.

Fig. 4.11. Procedimiento del ensayo de caras fracturadas.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12. Resultados del ensayo de caras fracturadas.

	Caras fracturadas (%)			
	Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"
Chancado CH (%) Especif > 65%	77	71	77	74
Rodadora R (%)	23	29	23	26
Lajas L (%)	14	10	8	7

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Caracterización del ligante asfáltico

La emulsión asfáltica fue proporcionada por la empresa Quimitec Asfaltos con sede en Santa Cruz de la Sierra.

EMULTEC RC1C-E es una emulsión asfáltica catiónica especial, de ruptura controlada, modificada con polímeros, que presenta un excelente comportamiento y durabilidad ante los efectos de la climatología y las exigencias del tráfico pesado. Su formulación cuenta con elastómeros que brindan un alto poder de cohesión interna, alta adherencia, flexibilidad, resistencia al envejecimiento y exudación ante grandes variaciones de temperatura.

Tabla 4.13. Especificaciones: Emulsión asfáltica EMULTEC RC1C-E.

Propiedades	Unidad	Especificación
Viscosidad Saybolt Furol, 50°C	Seg.	70 máx.
Sedimentación 5 días	% peso	5 máx.
Carga de partículas	---	Positiva
Residuo seco	% peso	62 mín.
Ensayos sobre el residuo de emulsión		
Penetración (100 g, 5 s, 25°C)	0,1 mm	45 – 150
Punto de ablandamiento	°C	55 mín.
Ductilidad, 25°C	cm	70 mín.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.12. Emulsión asfáltica EMULTEC RC1C-E.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Carga de la partícula

Este ensayo tiene por objeto identificar una emulsión según la carga eléctrica de sus partículas de betún: catiónica o aniónica.

Procedimiento

Se vierte la emulsión en el vaso y se conecta el circuito de fuente con el multímetro y un interruptor por precaución. Conectar los electrodos con cada una de las placas, se regula la corriente deseada y se introducen las placas en la emulsión hasta que se sumerjan 25 mm dentro de ella. Esperar a que la corriente baje a 2mA o que transcurra media hora y de desconecta la fuente.

Se sacan las placas, se lavan con un delgado chorro de agua y se observa en que polaridad queda adherida la emulsión.

Fig. 4.13. Procedimiento del ensayo de carga de la partícula..



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14. Resultado del ensayo de carga de la partícula.

Ensayo	Resultado	Especificación
Carga de la partícula	Positiva	Positiva

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Viscosidad Saybolt Furol, 50°C

Este método describe el procedimiento para la medida empírica de la viscosidad Saybolt de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 20 y 100°C.

Procedimiento

Vaciar la emulsión dentro del orificio del viscosímetro se tapa el mismo y se deja calentar hasta 50 °C removiendo constantemente con el agitador de manera que el aceite de baño se mezcle de forma homogénea.

Una vez alcanzada la temperatura requerida se ubica correctamente el frasco receptor y se libera el corcho que tapa el orificio de salida.

Cronometrar el tiempo en que tarda en llenar el frasco hasta la marca señalada en el mismo.

Fig. 4.14. Procedimiento del ensayo de Viscosidad Saybolt Furol.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.15. Resultado del ensayo de viscosidad Saybolt Furol.

Ensayo	Resultado	Especificación
		Máximo
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C	22,25 seg	70 seg

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Sedimentación

Este ensayo permite obtener un índice de la tendencia a sedimentarse que tienen las partículas de betún de la emulsión, durante el tiempo que una emulsión permanece almacenada.

Procedimiento

Vaciar 500 ml de emulsión en cada una de las probetas y se las tapa herméticamente.

Se las deja reposar por 5 días en un lugar seguro y libre de perturbaciones.

Pasados los 5 días, con la ayuda de una pipeta se extraen 55 ml de la parte superior de la probeta y se pesa 50 gr.

Se extraen 390 ml de emulsión y del sobrante se pesan 50 gramos.

Llevar al horno ambas fracciones hasta peso constante y se obtienen dos datos de residuo por evaporación.

Fig. 4.15. Procedimiento del ensayo de sedimentación.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.16. Resultado de ensayo de sedimentación.

Ensayo	Resultado	Especificación
		Máximo
Sedimentación	2,12 %	5 %

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Residuo por destilación

El objeto de este ensayo es determinar la proporción de residuo asfáltico que contiene la emulsión.

Procedimiento

Pesar el equipo de destilación completo incluido el termómetro con la tapa y sus complementos.

Agregar 200 gr de emulsión dentro del destilador y se conecta al tubo.

Aplicar calor hasta alcanzar los 215°C y se incrementa la temperatura hasta lograr la destilación completa.

Pesar el equipo con el residuo dentro, obteniendo así el peso final.

Fig. 4.16. Procedimiento del ensayo de destilación.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.17. Resultado del ensayo de destilación.

Ensayo	Resultado	Especificación
		Mínimo
Destilación	63,10 %	62 %

Fuente: Elaboración propia.

4.3.5. Penetración (100 gr, 5 s, 25°C)

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

Este ensayo se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

Procedimiento.

Calentar el residuo y se vierte en 3 taras lo suficientemente profundas para evitar que la aguja toque el fondo de la tara.

Dejar enfriar a temperatura ambiente durante 1 hr y se prepara un baño María a 25°C.

Introducir las taras en el baño y se las deja ambientarse por 1 hr, para luego sacarlas y someterlas al ensayo de penetración para lo que se realizan 3 penetraciones distantes a 1 cm entre ellas.

Fig. 4.17. Procedimiento del ensayo de penetración.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.18. Resultado del ensayo de penetración.

Ensayo	Resultado (0,1mm)	Especificación	
		Mínimo	Máximo
Penetración	52	45	150

Fuente: Elaboración propia.

4.3.6. Ductilidad, 25°C

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas.

Procedimiento

Calentar el residuo y se vierte en los 3 moldes para dejarlos enfriar durante 30 min. Pasados los 30 min se introduce al baño de agua a 25°C por 30 min, para luego someterlas al ductilímetro que realiza el ensayo de forma automática a 25°C a una velocidad de 5cm/min.

Observar y lecturar la longitud a la que se corta la muestra luego de elongarse dentro del ductilímetro.

Fig. 4.18. Procedimiento del ensayo de ductilidad.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.19. Resultado del ensayo de ductilidad.

Ensayo	Resultado (cm)	Especificación
		Mínimo
Ductilidad	88	80

Fuente: Elaboración propia.

4.3.7. Peso específico

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

Procedimiento

Pesar el frasco limpio y seco.

Vaciar 50 ml de agua destilada a 25°C dentro del frasco y se introduce el frasco a baño María a 25°C dejándolo reposar durante 30 min para luego pesarlo.

Se vierte en el frasco 25 ml del residuo, previamente calentado y se deja enfriar por 30 min, luego se introduce en baño María a 25°C por otros 30 min y se pesa el frasco con el residuo.

Agregar 25 ml de agua destilada a 25°C sobre el residuo del frasco y se deja en baño María por 30 minutos, éste será el último peso registrado.

Fig. 4.19. Procedimiento del ensayo de peso específico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.20. Resultado del ensayo de peso específico.

Ensayo	Resultado (gr/cm³)	Especificación
Peso específico	1,023	-

Fuente: Elaboración propia.

4.3.8. Punto de ablandamiento

Este método describe el procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

Procedimiento

Calentar el residuo y se vierte dentro de los anillos ambos colocados sobre una base con aceite para evitar que se adhiera el material a la base, se deja enfriar por 30 min; una vez frío enrasar ambas muestras.

Ensamblar el equipo y se llena de agua destilada hasta 10 cm de profundidad, se baja la temperatura a 5°C y se mantiene por 15 min, pasados los 15 min se eleva la temperatura a razón de 5°C por minuto hasta lograr que las bolas caigan sobre la base indicada del equipo, esta temperatura se lee y registra como punto de ablandamiento.

Fig. 4.20. Procedimiento del ensayo de punto de ablandamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.21. Resultado del ensayo de punto de ablandamiento.

Ensayo	Resultado (°C)	Especificación
		Mínimo
Punto de ablandamiento	60	55

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Diseño de mezclas asfálticas en frío

Se describe el procedimiento para mezclas asfálticas en frío con emulsión. El procedimiento está orientado a mezclas para caminos de bajo volumen de tránsito con áridos densamente graduados con tamaño máximo menor o igual a 25 mm (1 pulg).

Es aplicable a mezclas producidas tanto in situ como en laboratorio, a temperaturas ambiente.

La emulsión asfáltica debidamente diseñada, incorporada en la mezcla, será de rompimiento medio o de rompimiento lento, según lo definido en el diseño de la mezcla, en porcentaje por peso que podrá variar entre 5,6 y 11,3%. Este rango de emulsión asfáltica en la mezcla corresponde a un rango de cemento asfáltico en la mezcla que varía entre 3,5 y 7%, si la emulsión tiene un residuo asfáltico de 62%.

El porcentaje óptimo de emulsión asfáltica en la mezcla se determinará según el Método Marshall Modificado de la Universidad de Illinois.

El procedimiento de este método de diseño se establece en el manual MS-14 del Instituto de Asfalto.

Se describe el desarrollo de las siguientes etapas:

4.4.1. Diseño granulométrico-método Marshall Illinois Modificado

El primer paso para el diseño de mezclas asfálticas es el diseño granulométrico; a partir de los ensayos de granulometría realizados, logrando combinar los agregados de forma correcta y teniendo así la granulometría que mejor se ajusta a las especificaciones.

- **Especificaciones según la normativa de la ABC**

La gradación a utilizar en una carpeta dependerá del espesor a colocar de mezcla.

Para espesores menores a 5 cm se debe utilizar la gradación de 9,5mm ($\frac{3}{8}$ pulg), esta gradación se presenta en la tabla 4.1.

La curva granulométrica, seleccionada como curva de trabajo, podrá presentar las siguientes tolerancias máximas:

Tabla 4.22. Tolerancias para la mezcla.

Tamiz	% Que pasa en peso
3/4" - 1/2"	±8
3/8" - N°4	±7
N°8 - N°16	±6
N°30 - N°50	±5
N°200	±3
Contenido de Bitumen, % de peso de mezcla total	±0,5

Fuente: Manual de especificaciones técnicas generales de construcción ABC.

Estas tolerancias se deben aplicar analizando la curva granulométrica resultante de cada una de las granulometrías realizadas.

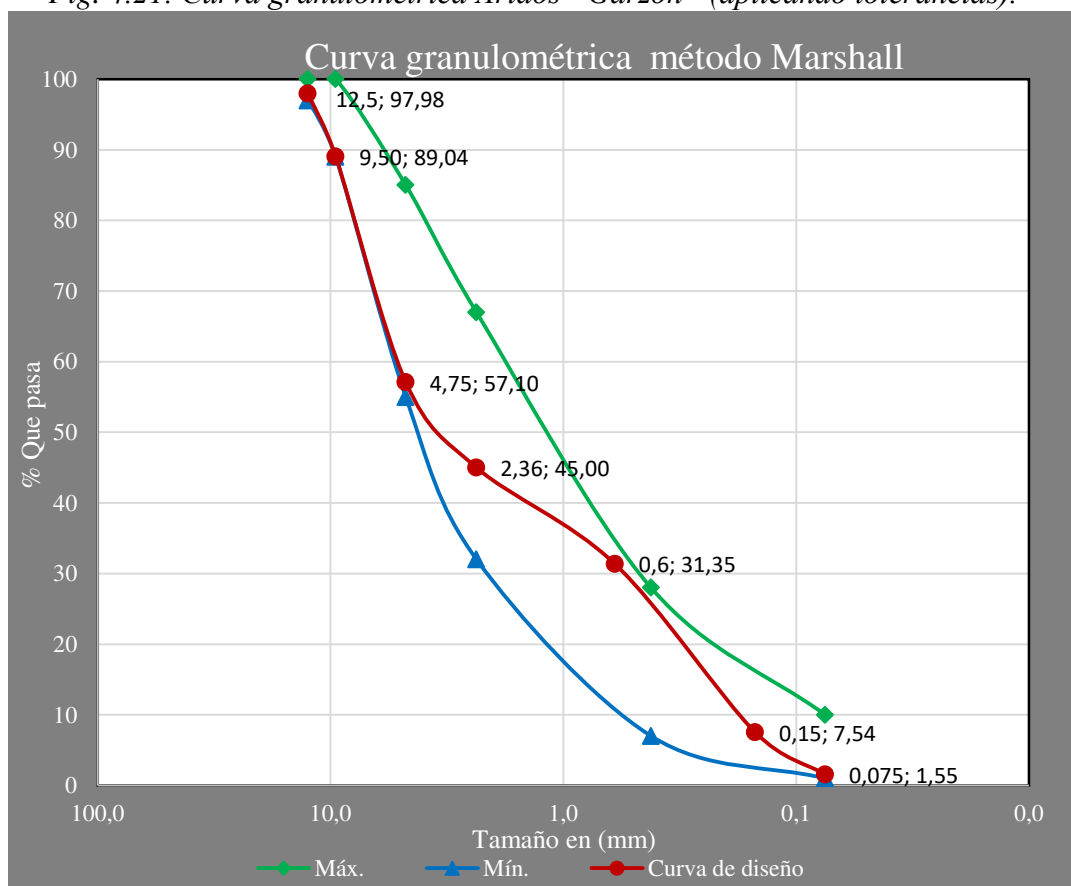
- Áridos “Garzón”

Tabla 4.23. Resultado del diseño granulométrico: Áridos “Garzón”.

Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	80,69	80,69	2,02	97,98
3/8"	9,50	357,63	438,31	10,96	89,04
N°4	4,75	1277,68	1715,99	42,90	57,10
N°8	2,36	483,98	2199,97	55,00	45,00
N°30	0,60	545,84	2745,81	68,65	31,35
N°100	0,15	952,64	3698,45	92,46	7,54
N°200	0,075	239,36	3937,81	98,45	1,55
BASE	-	62,14	4000,00	100,00	0,00
Peso total		4000,0			

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.21. Curva granulométrica Áridos “Garzón” (aplicando tolerancias).



Fuente: Elaboración propia.

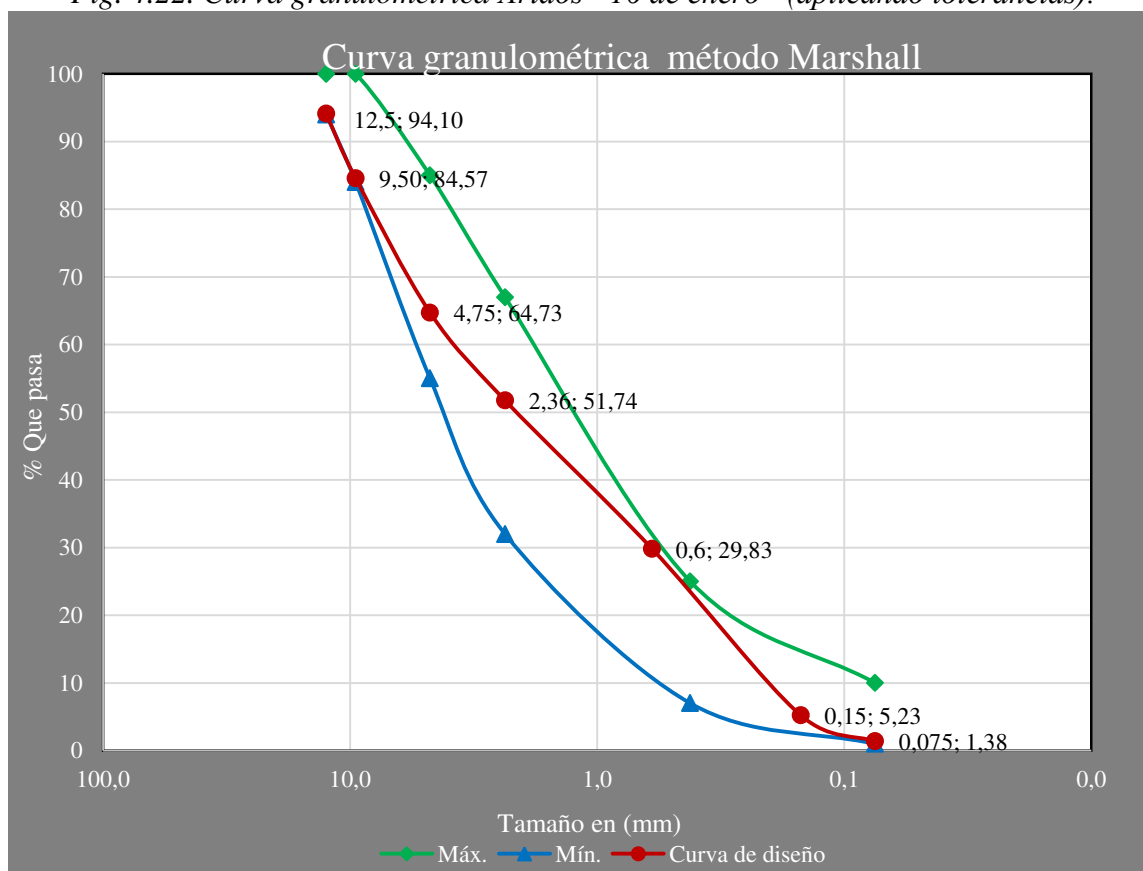
- Áridos “16 de enero”

Tabla 4.24. Resultado del diseño granulométrico: Áridos “16 de enero”.

Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	235,85	235,85	5,90	94,10
3/8"	9,50	381,21	617,06	15,43	84,57
Nº4	4,75	793,70	1410,76	35,27	64,73
Nº8	2,36	519,42	1930,17	48,25	51,74
Nº30	0,60	876,45	2806,63	70,17	29,83
Nº100	0,15	984,27	3790,90	94,77	5,23
Nº200	0,075	154,10	3945,00	98,63	1,38
BASE	-	55,00	4000,00	100,00	0,00
Peso total		4000,0			

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.22. Curva granulométrica Áridos “16 de enero” (aplicando tolerancias).



Fuente: Elaboración propia.

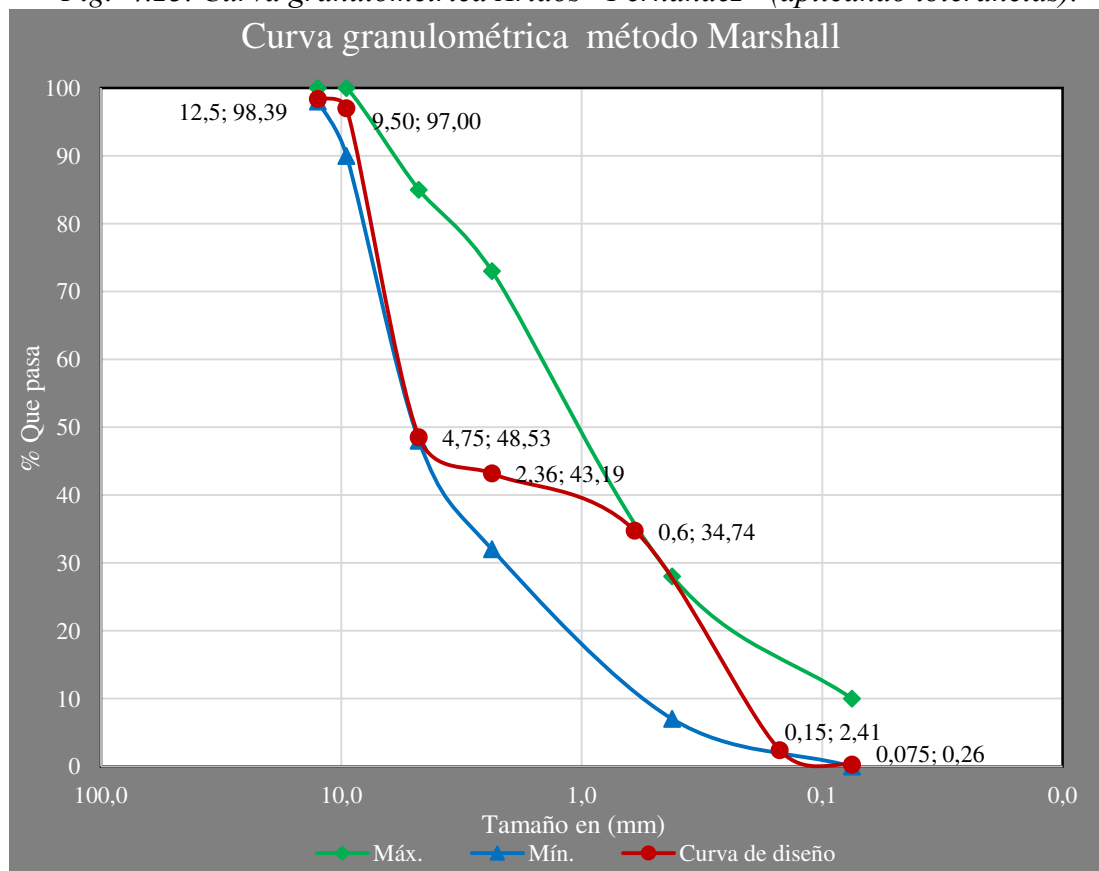
- Áridos “Fernández”

Tabla 4.25. Resultado del diseño granulométrico: Áridos “Fernández”.

Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	64,27	64,27	1,61	98,39
3/8"	9,50	55,70	119,97	3,00	97,00
N°4	4,75	1938,82	2058,78	51,47	48,53
N°8	2,36	213,71	2272,49	56,81	43,19
N°30	0,60	337,81	2610,30	65,26	34,74
N°100	0,15	1293,26	3903,57	97,59	2,41
N°200	0,075	86,02	3989,58	99,74	0,26
BASE	-	10,42	4000,00	100,00	0,00
Peso total		4000,0			

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.23. Curva granulométrica Áridos “Fernández” (aplicando tolerancias).



Fuente: Elaboración propia.

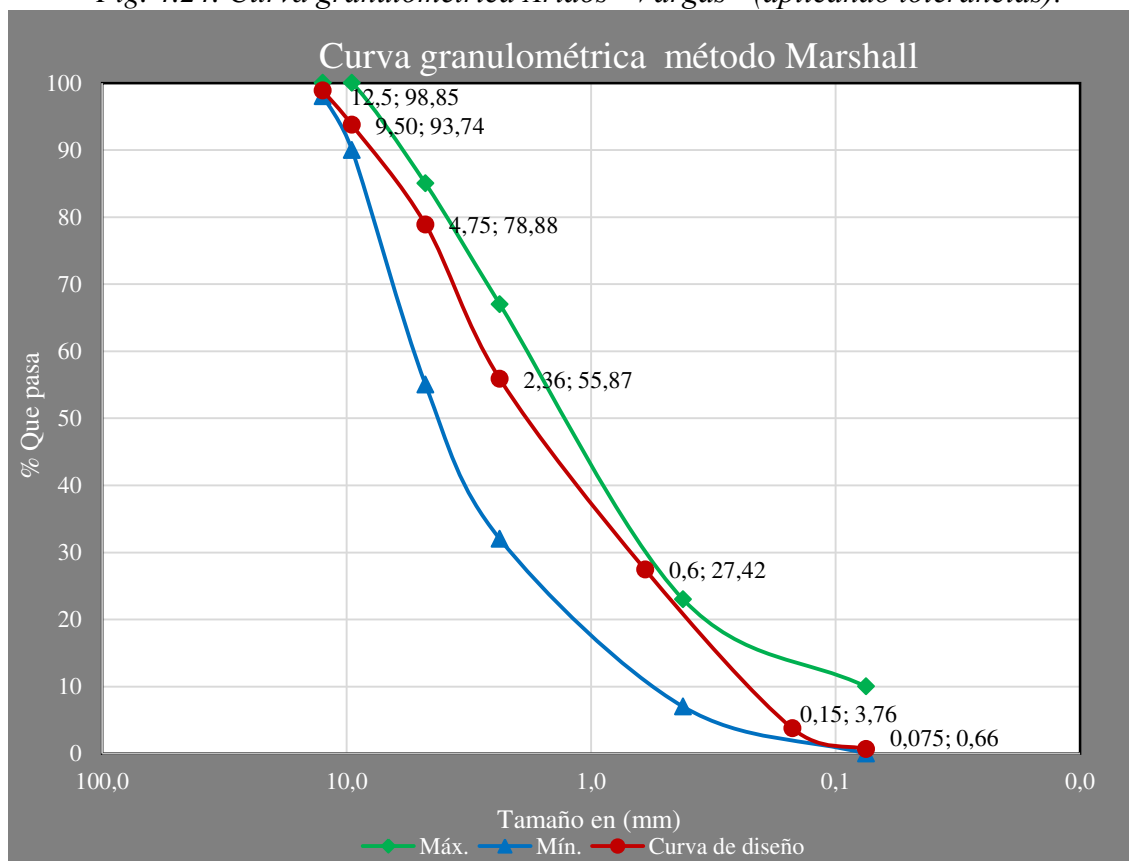
- Áridos “Vargas”.

Tabla 4.26. Resultado del diseño granulométrico: Áridos “Vargas”.

Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	46,11	46,11	1,15	98,85
3/8"	9,50	204,36	250,46	6,26	93,74
Nº4	4,75	594,38	844,84	21,12	78,88
Nº8	2,36	920,46	1765,30	44,13	55,87
Nº30	0,60	1137,74	2903,04	72,58	27,42
Nº100	0,15	946,56	3849,60	96,24	3,76
Nº200	0,075	124,16	3973,76	99,34	0,66
BASE	-	26,24	4000,00	100,00	0,00
Peso total		4000,0			

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.24. Curva granulométrica Áridos “Vargas” (aplicando tolerancias).



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Contenido inicial de emulsión

Fórmula empírica:

Se puede estimar el contenido inicial de emulsión a partir de la siguiente fórmula:

$$\%E = [(0,05 \times A) + (0,1 \times B) + (0,5 \times C)] \times 0,7$$

Donde:

%E= Porcentaje en peso de emulsión asfáltica, sobre el peso del árido seco.

A= Porcentaje del árido retenido en malla N° 8 (2,36 mm).

B= Porcentaje del árido pasante por malla N° 8 (2,36 mm) y retenido en malla N° 200 (75 µm).

C= Porcentaje de árido pasante por malla N° 200 (75 µm).

Se realiza el cálculo de contenido inicial de emulsión para cada uno de los bancos de agregados estudiados.

Tabla 4.27. Contenido inicial de emulsión.

Parámetro	Contenido de emulsión inicial (%)				
	Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"	
A	Porcentaje del árido retenido en malla N° 8 (2,36 mm).	55,00	48,25	56,81	44,13
a	Porcentaje del árido pasante en malla N° 8 (2,36 mm).	45,00	51,75	43,19	55,87
B	Porcentaje del árido pasante por malla N° 8 (2,36 mm) y retenido en malla N° 200 (75 µm).	43,45	50,38	42,93	55,21
C	Porcentaje de árido pasante por malla N° 200 (75 µm)	1,55	1,37	0,26	0,66
%E	Porcentaje en peso de emulsión asfáltica, sobre el peso del árido seco.	5,51	5,69	5,08	5,64

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Contenido de agua de premezcla

a) Separar una muestra representativa de la emulsión asfáltica a utilizar.

- b) Tamizar y separar los áridos secos al aire en las siguientes fracciones: 9,5-2,36 mm y bajo 2,36 mm.
- c) Preparar un número suficiente de muestras de áridos combinados secos al aire para mezclas de prueba. La masa de cada muestra debe ser de 1200 gr de material seco en horno. Estas muestras se deben confeccionar remezclando las fracciones antes definidas de modo de igualar el análisis granulométrico.
- d) Determinar la humedad de una muestra combinada de áridos secos al aire y registrar.

Fig. 4.25. Procedimiento para determinar el contenido de humedad.



Fuente: Elaboración propia.

- **Áridos “Garzón”**

Tabla 4.28. Contenido de humedad: Áridos “Garzón”.

Muestra	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	% de humedad
1	200	198,90	0,55
2	200	198,70	0,65
3	200	198,80	0,60
4	200	198,90	0,55
5	200	198,80	0,60
Promedio			0,59

Fuente: Elaboración propia.

- **Áridos “16 de enero”**

Tabla 4.29. Contenido de humedad Áridos “16 de enero”.

Muestra	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	% de humedad
1	200	199,10	0,45
2	200	199,30	0,35
3	200	199,10	0,45
4	200	199,20	0,40
5	200	199,10	0,45
Promedio			0,42

Fuente: Elaboración propia.

- **Áridos “Fernández”**

Tabla 4.30. Contenido de humedad Áridos “Fernández”.

Muestra	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	% de humedad
1	200	199,70	0,15
2	200	199,60	0,20
3	200	199,50	0,25
4	200	199,70	0,15
5	200	199,50	0,25
Promedio			0,20

Fuente: Elaboración propia.

- **Áridos “Vargas”**

Tabla 4.31. Contenido de humedad Áridos “Vargas”.

Muestra	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	% de humedad
1	200,0	199,7	0,15
2	200,0	199,4	0,30
3	200,0	199,6	0,19
4	200,0	199,4	0,30
5	200,0	199,5	0,25
Promedio			0,24

Fuente: Elaboración propia.

e) Colocar una muestra de material en un recipiente, incorporar un porcentaje de agua predeterminado de premezcla y mezclar. La cantidad de agua incorporada será tal que cumpla las siguientes consideraciones:

- Emulsión asfáltica de curado medio: Prueba inicial deberá ser mezclada sin la adición de agua de premezcla, es decir, se debe realizar con el árido en condición seco al aire.
- Emulsión asfáltica de curado lento: Comenzar el test con un contenido de agua de premezcla de 3 %.

f) Combinar el contenido inicial de emulsión determinado en el punto 4.3.2. con el árido húmedo. Mezclar utilizando la mano hasta que el asfalto esté adecuadamente distribuido en toda la mezcla.

g) Calcular el contenido de agua libre de la mezcla (punto d+e).

h) Preparar otras probetas de acuerdo a los pasos d, e y f con incrementos de 1% en el agua de premezcla hasta que la mezcla se vea empapada o comience a segregarse.

Cuando esto ocurra se continúa con la siguiente etapa.

i) El cubrimiento del árido es evaluado de forma visual. Para cada contenido de agua de premezcla, estimar el porcentaje del área total de áridos cubiertos con asfalto y registrar.

j) Si el cubrimiento del árido es superior al 50% entonces el test es encontrado satisfactorio, por lo tanto se debe seleccionar aquel contenido de agua de premezcla que satisfaga con la condición definida.

Cuando esto ocurra, utilice la cantidad de agua de premezcla que permita a lo menos un 50% de cubrimiento de los áridos; las subsecuentes mezclas deberán ser producidas con la cantidad de agua de premezcla que produzca el máximo de cubrimiento sin producir desprendimiento del asfalto de los áridos.

Este punto será el mínimo contenido de agua de premezcla; las subsecuentes mezclas en el diseño deberán ser producidas con este mínimo contenido de agua de premezcla.

Fig. 4.26. Mezclas realizadas variando el contenido de agua.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.27. Cubrimiento del árido con 0% de agua de premezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.28. Cubrimiento del árido con 1% de agua de premezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.29. Cubrimiento del árido con 2% de agua de premezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.30. Cubrimiento del árido con 3% de agua de premezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.31. Cubrimiento del árido con 4% de agua de premezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.32. Evaluación visual del porcentaje de cubrimiento.

	Tiempo	% de agua de premezcla				
		0%	1%	2%	3%	4%
Áridos "Garzón"	00:00:00	25	30	35	50	60
	00:30:00	30	35	40	60	70
	01:00:00	35	40	45	70	90
Áridos "16 de enero"	00:00:00	25	30	35	50	60
	00:30:00	30	35	40	60	70
	01:00:00	35	40	45	70	90
Áridos "Fernández"	00:00:00	20	25	30	35	50
	00:30:00	25	30	35	40	60
	01:00:00	30	35	40	45	70
Áridos "Vargas"	00:00:00	30	35	50	65	85
	00:30:00	35	40	60	75	90
	01:00:00	40	45	65	80	95

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Test de adhesión

- Pesar una muestra de 100 gr. de la mezcla confeccionada, sin que haya sido sumergida en agua, colocarla en un recipiente de poca profundidad y someterla a un período de curado de 24 hrs. en un horno de tiro forzado a 60 °C.
- Colocar la mezcla curada en un vaso de 600 ml, el cual debe contener 400 ml de agua destilada hirviendo.
- Manteniendo el agua hirviendo, revolver durante tres minutos a una vuelta por segundo.

- d) Sacar el agua del vaso y colocar la mezcla sobre una pieza de papel absorbente.
- e) Después que la mezcla haya secado, evalúe visualmente el porcentaje de asfalto retenido sobre los áridos. Si es satisfactorio, continúe el diseño de la mezcla.

Fig. 4.32. Curado de 100 gr de mezcla en el horno, por 24 hrs.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.33. Hervido y remoción de la mezcla en agua destilada.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.34. Evaluación visual: Test de adhesión.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.33. Resultados del test de adhesión.

	Test de adhesión
Áridos "Garzón" 3%	Satisfactorio
Áridos "16 de enero" 3%	Satisfactorio
Áridos "Fernández" 4%	Satisfactorio
Áridos "Vargas" 2%	Satisfactorio

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Contenido óptimo de asfalto residual

Para conocer el porcentaje óptimo de asfalto residual primero se debe determinar las cantidades y proporciones de materiales que se emplearán en las mezclas asfálticas a realizarse.

4.5.1. Contenido de ligante según la granulometría

- Áridos “Garzón”

Tabla 4.34. Dosificación de materiales: Áridos “Garzón”.

	Porcentaje de emulsión residual en la mezcla					
	3,5%	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,5%
Porcentaje de Emulsión (%)	5,5%	6,3%	7,1%	7,9%	8,7%	10,3%
Porcentaje de Agregado (%)	94,5%	93,7%	92,9%	92,1%	91,3%	89,7%
Peso de la Emulsión (gr)	66,12	76,07	85,58	95,09	104,60	123,61
Peso de Gravilla (gr)	396,86	393,38	390,05	386,72	383,39	376,74
Peso de Arena (gr)	737,02	730,55	724,37	718,19	712,01	699,65
Peso del agua adicional (gr)	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia.

- Áridos “16 de enero”

Tabla 4.35. Dosificación de materiales: Áridos “16 de enero”.

	Porcentaje de emulsión residual en la mezcla					
	3,6%	4,1%	4,6%	5,1%	5,6%	6,6%
Porcentaje de Emulsión (%)	5,7%	6,5%	7,3%	8,1%	8,9%	10,5%
Porcentaje de Agregado (%)	94,3%	93,5%	92,7%	91,9%	91,1%	89,5%
Peso de la Emulsión (gr)	68,40	77,91	87,42	96,93	106,43	125,52
Peso de Gravilla (gr)	396,06	392,71	389,38	386,05	382,73	376,07
Peso de Arena (gr)	735,54	729,32	723,14	716,96	710,78	698,42
Peso del agua adicional (gr)	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia.

- **Áridos “Fernández”**

Tabla 4.36. Dosificación de materiales: Áridos “Fernández”.

	Porcentaje de emulsión residual en la mezcla					
	3,2%	3,7%	4,2%	4,7%	5,2%	6,2%
Porcentaje de Emulsión (%)	5,1%	5,9%	6,7%	7,5%	8,3%	9,9%
Porcentaje de Agregado (%)	94,9%	94,1%	93,3%	92,5%	91,7%	90,1%
Peso de la Emulsión (gr)	61,20	70,71	80,22	89,73	99,23	118,25
Peso de Gravilla (gr)	660,50	654,99	649,47	643,96	638,44	627,41
Peso de Arena (gr)	478,30	474,30	470,31	466,32	462,32	454,33
Peso del agua adicional (gr)	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia.

- **Áridos “Vargas”**

Tabla 4.37. Dosificación de materiales: Áridos “Vargas”.

	Porcentaje de emulsión residual en la mezcla					
	3,5%	4,0%	4,5%	5,0%	6,0%	6,5%
Porcentaje de Emulsión (%)	5,6%	6,4%	7,2%	8,0%	9,6%	10,4%
Porcentaje de Agregado (%)	94,4%	93,6%	92,8%	92,0%	90,4%	89,6%
Peso de la Emulsión (gr)	67,20	76,71	86,22	95,73	114,74	124,25
Peso de Gravilla (gr)	226,56	224,66	222,76	220,85	217,05	215,15
Peso de Arena (gr)	906,24	898,63	891,03	883,42	868,21	860,60
Peso del agua adicional (gr)	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. Procedimiento: preparación de mezclas asfálticas en frío con emulsión- Método Marshall Illinois Modificado

Se describe procedimiento de diseño de mezclas en frío que utiliza el procedimiento Marshall Illinois Modificado para evaluar las propiedades de la mezcla compactada.

Preparación de probetas

El procedimiento se realiza de acuerdo a los siguientes puntos:

- a) Cantidad de Muestras: Se deben preparar como mínimo tres probetas con el equipo Marshall para cada uno de los incrementos de asfalto residual.
- b) Preparación del molde y el martillo.
- c) Preparación del árido: Remezclar las fracciones antes definidas de cada material para producir una masa de 1.200 gr en cada probeta (secos en horno). En un área ventilada, colocar la muestra en un recipiente y determinar la temperatura del árido. La temperatura debe ser ajustada a $22,2 \pm 1,7$ °C previo a la mezcla.

Fig. 4.35. Pesado de material: árido grueso y fino.



Fuente: Elaboración propia.

- d) Adición del agua de premezcla: Colocar el árido en un bol para mezclar. Agregar el agua de premezcla según lo determinado en el test de cubrimiento. La temperatura del agua debe ser ajustada a $22,2 \pm 1,7$ °C previo a la mezcla. Agregar el agua a los áridos secos y mezclar durante 1 minuto o hasta que el agua esté completamente dispersa en el árido.
- e) Agregar la emulsión asfáltica en los agregados húmedos lentamente a medida que el material es mezclado. Un tiempo de mezcla de 1 minuto, utilizando mezcladora mecánica, debiera ser suficiente. Un tiempo de mezcla excesivo producirá el desprendimiento del asfalto de los áridos.
- f) Compactación de las muestras: Limpiar completamente el molde y la cara de compactación del martillo. Colocar un papel circular en la base del molde antes de

introducir la mezcla. Ensamblar el molde, colocar toda la mezcla en él y dar con una espátula un acomodamiento de 15 veces a lo largo del perímetro y 10 veces en el interior del molde. Con la espátula, suavizar la superficie de la mezcla con suaves movimientos circulares.

g) Colocar el molde en el pedestal de compactación y aplicar 50 golpes con el martillo de compactación usando una caída libre de 45,72 cm (18 pulg). Remover el plato de base y el collar, invertir la probeta y volver a ensamblar el molde. Aplicar 50 golpes más en la otra cara del molde. Remover el plato de base, el collar y el disco de papel.

Fig. 4.36. Preparación y compactación de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

h) Curado: Curar en el molde durante 24 horas a temperatura ambiente, sacar y curar por 24 horas en un horno a 38° C.

i) Sacar la probeta del molde con la ayuda de un extractor de molde, designar con un nombre a cada una y dejar curar al aire libre por el tiempo necesario.

Fig. 4.37. Extracción de briquetas de los moldes.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.38. Curado de briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.39. Totalidad de briquetas realizadas para el óptimo de asfalto residual.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.3. Ensayos volumétricos

Después de realizadas las briquetas se debe esperar el tiempo de curado de las mismas, para esto se realiza una inspección visual en la que se pueda evidenciar que ya no exista pérdida de humedad, para verificar el respectivo curado que nos indica que las briquetas están aptas para proceder a los ensayos de sus características mecánicas.

Medir las alturas de las briquetas con el fin de tener un espesor promedio de la misma, dado que se puede incurrir en imperfecciones a la hora de compactar; no siempre se tienen alturas uniformes en todo el perímetro de la briqueta, por este motivo se toma

medidas de las alturas de cuatro puntos opuestos entre sí para lograr un promedio representativo.

Fig. 4.40. Medición de la altura de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se realiza el registro de pesos de las briquetas:

Peso de las briquetas secas al aire: se toma cada una de las briquetas y se las pesa en su estado seco después del curado y medición de alturas.

Peso de las briquetas superficialmente secas: se sumergen las briquetas en agua durante 5 minutos a temperatura ambiente, se retiran las mismas y se las seca superficialmente con un trapo, para pesar y registrar su peso como superficialmente seco.

Fig. 4.41. Briquetas dentro del agua y secado superficial.



Fuente: Elaboración propia.

Peso sumergido: se calibra el canastillo de pesaje dentro del agua, para luego introducir la briqueta dentro del mismo y así obtener el peso sumergido de cada una de las briquetas.

Fig. 4.42. Peso sumergido de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.4. Estabilidad y fluencia

Colocar las briquetas en el horno a 25°C durante dos horas. Limpiar completamente la mordaza. La temperatura de ésta debe mantenerse entre 21 y 38° C, usando un baño de agua si es necesario.

Colocar una tira de papel que cubra todo el contorno de la briqueta para evitar que en esta queden residuos del material, poner la briqueta en la parte inferior de la mordaza y encima de ella la parte móvil de la mordaza, controlar que la briqueta esté bien centrada para garantizar la uniformidad del ensayo.

Asegurarse que el dial esté firmemente ajustado y en cero.

Poner el conjunto de mordaza y briqueta en el equipo Marshall de forma centrada.

Aplicar carga a la probeta a una velocidad constante de deformación hasta que se produzca la falla. El punto de falla queda definido por la carga máxima obtenida. Se define la estabilidad Marshall como el número total de libras (lb) necesarias para producir la falla de la probeta.

Para la medida de la fluencia se coloca el medidor de flujo en el punto de la prensa Marshall donde se puede leer la deformación de la briqueta y se coloca el dial en cero para lograr así al final del ensayo tomar la lectura del dial, es decir que cuando falle la briqueta se debe leer y registrar inmediatamente el valor de la fluencia a centésimas de pulgada (0.01’’).

Fig. 4.43. Forrado de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.44. Ensayo de estabilidad y fluencia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.45. Briquetas ensayadas.



Fuente: Elaboración propia.

4.6. Planillas Marshall para determinar el porcentaje óptimo de asfalto residual.

Realizados los ensayos a las briquetas se procede a realizar los cálculos que evaluarán las propiedades de cada una de ellas.

La mezcla deberá satisfacer los requisitos que aquí se establecen cuando se pruebe de acuerdo con el Método Marshall Modificado de la Universidad de Illinois, la cual deberá tener las siguientes propiedades.

- Estabilidad, 25°C. Mín. 800 Lb.
- Flujo Máx. (0.01") 16.
- Vacíos Totales 3-12 %.

a) Áridos “Garzón”

Para identificar cada una de las briquetas se realizó el marcado con la denominación de 1'G, 1''G, 1'''G para las tres briquetas con el primer contenido de asfalto residual y la inicial de la planta trituradora a la que pertenecen los agregados.

2'G, 2''G, 2'''G para las tres briquetas con el segundo contenido de asfalto residual.

3'G, 3''G, 3'''G para las tres briquetas con el tercer contenido de asfalto residual.

4'G, 4''G, 4'''G para las tres briquetas con el cuarto contenido de asfalto residual.

5'G, 5''G, 5'''G para las tres briquetas con el quinto contenido de asfalto residual.

6'G, 6''G, 6'''G para las tres briquetas con el sexto contenido de asfalto residual.

Fig. 4.46. Denominación de briquetas: Áridos “Garzón”.



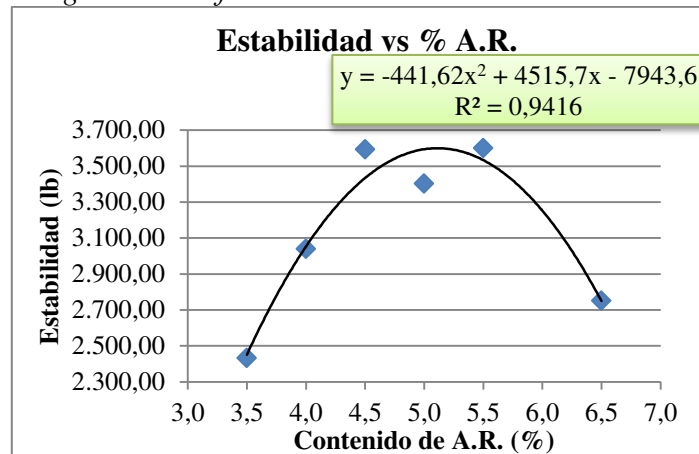
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.38. Planillas Marshall: Áridos "Garzón".

N° de probeta	Denominación de probeta	Altura de probeta	% Emulsión		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia		
			% Asfalto Residual en la mezcla	% Agua Incluida	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua		Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación bitumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
1	1"G	7,38	3,50	3	1145,5	1150,4	599	551,4	2,08	2,11	2,49	14,96	22,19	32,58	1130	3024,64	0,80	2410,26	2431,37	13	13	
2	1"G	7,33			1168,7	1173,1	625	548,1	2,13						1125	3011,18	0,81	2427,76		13		
3	1"G	7,35			1176,9	1181,4	629	552,4	2,13						1146	3067,73	0,80	2456,10		13		
4	2"G	7,06	4,00	3	1172,2	1137,8	613	524,8	2,23	2,16	2,47	12,42	20,86	40,49	1425	3819,02	0,85	3241,58	3039,62	14	14	
5	2"G	7,39			1176,0	1180,5	632	548,5	2,14						1417	3797,48	0,79	3011,87		13		
6	2"G	7,46			1175,0	1178,4	620	558,4	2,10						1371	3673,61	0,78	2865,41		15		
7	3"G	7,35	4,50	3	1183,7	1186,5	638	548,5	2,16	2,14	2,45	12,63	22,04	42,71	1665	4465,29	0,80	3583,40	3592,09	15	15	
8	3"G	7,27			1171,2	1174,8	627	547,8	2,14						1601	4292,95	0,82	3504,12		15		
9	3"G	7,26			1159,0	1162,9	617	545,9	2,12						1685	4519,15	0,82	3688,75		14		
10	4"G	7,26	5,00	3	1153,6	1157,8	627	530,8	2,17	2,15	2,43	11,43	21,96	47,93	1520	4074,83	0,82	3326,08	3401,90	15	15	
11	4"G	7,34			1150,5	1155,7	616	539,7	2,13						1597	4282,18	0,80	3444,48		16		
12	4"G	7,33			1154,7	1158,9	623	535,9	2,15						1589	4260,64	0,81	3435,14		15		
13	5"G	7,16	5,50	3	1149,1	1153,8	612	541,8	2,12	2,14	2,41	11,50	22,98	49,97	1675	4492,22	0,83	3728,54	3600,65	15	16	
14	5"G	7,23			1155,6	1161,1	622	539,1	2,14						1615	4330,65	0,82	3556,55		16		
15	5"G	7,05			1145,6	1149,3	615	534,3	2,14						1542	4134,08	0,85	3516,86		16		
16	6"G	7,26	6,50	3	1148,1	1152,8	606	546,8	2,10	2,09	2,38	12,02	25,32	52,54	1249	3345,09	0,82	2730,43	2750,97	19	19	
17	6"G	7,22			1098,2	1104,6	576	528,6	2,08						1297	3474,34	0,82	2853,30		20		
18	6"G	7,28			1157,1	1162,1	612	550,1	2,10						1223	3275,07	0,82	2669,18		18		
Determinación del porcentaje óptimo de asfalto residual		Ensayo			Valor de Diseño			% Óptimo de A.R														
		Estabilidad Marshall (Lb)			3600,005			5,11														
		Densidad máxima (gr/cm3)			2,15			4,74														
		Vacíos de la mezcla (% mín.)			11,33			5,45														
		% Porcentaje óptimo			Promedio			5,10														

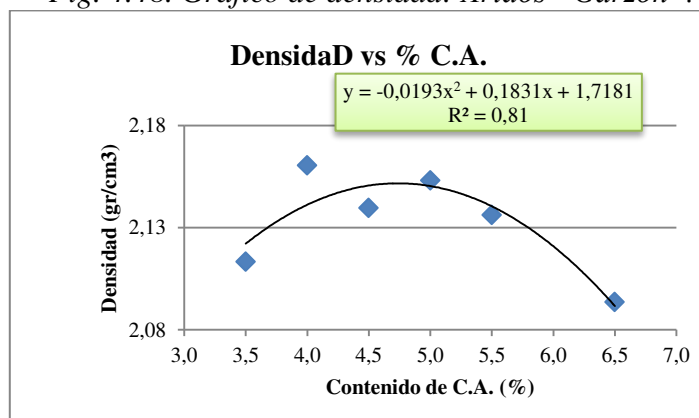
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.47. Gráfico de estabilidad: Áridos "Garzón".



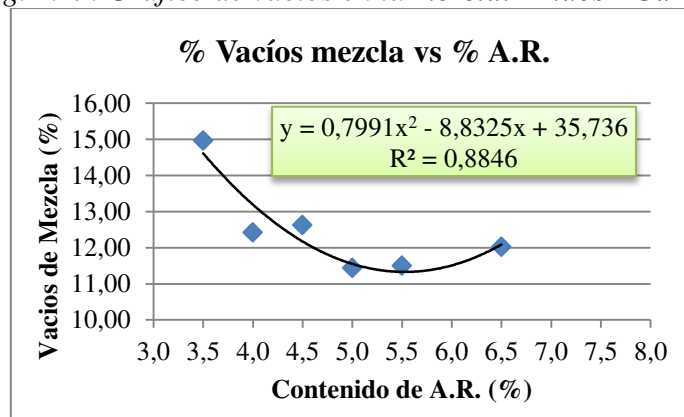
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.48. Gráfico de densidad: Áridos "Garzón".



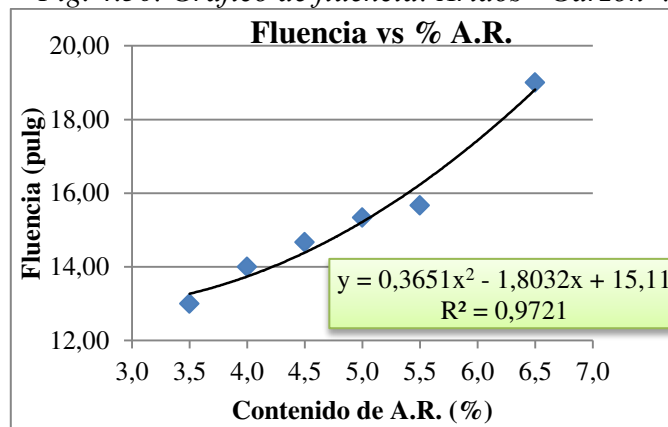
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.49. Gráfico de vacíos en la mezcla: Áridos "Garzón".



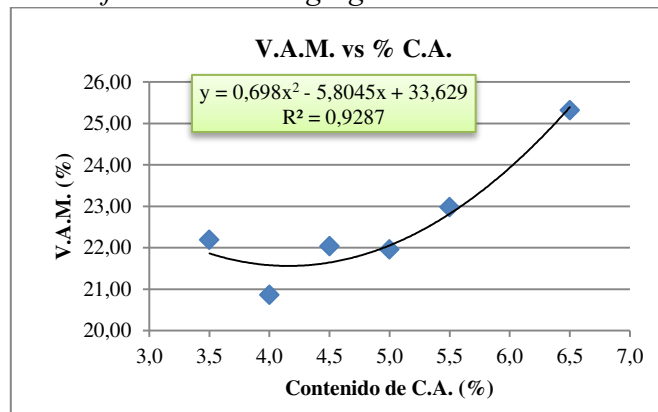
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.50. Gráfico de fluencia: Áridos "Garzón".



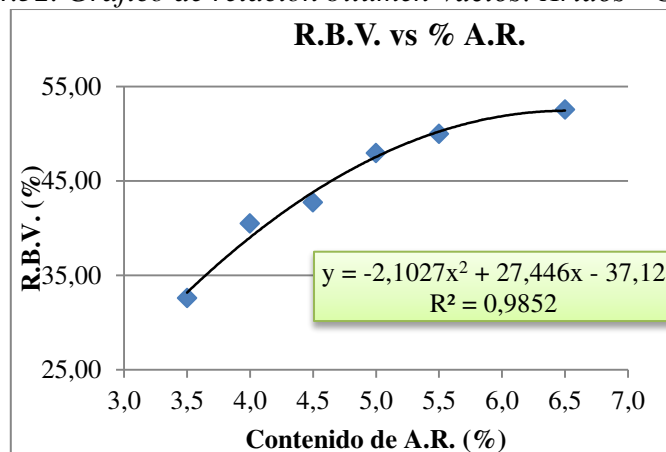
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.51. Gráfico de vacíos-agregado mineral: Áridos "Garzón".



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.52. Gráfico de relación bitumen-vacíos: Áridos "Garzón".



Fuente: Elaboración propia.

a) Áridos “16 de enero”

Para identificar cada una de las briquetas se realizó el marcado con la denominación de 1'16, 1''16, 1'''16 para las tres briquetas con el primer contenido de asfalto residual y el número 16 para identificar la planta trituradora a la que pertenecen los agregados.

2'16, 2''16, 2'''16 para las tres briquetas con el segundo contenido de asfalto residual.

3'16, 3''16, 3'''16 para las tres briquetas con el tercer contenido de asfalto residual.

4'16, 4''16, 4'''16 para las tres briquetas con el cuarto contenido de asfalto residual.

5'16, 5''16, 5'''16 para las tres briquetas con el quinto contenido de asfalto residual.

6'16, 6''16, 6'''16 para las tres briquetas con el sexto contenido de asfalto residual.

Fig. 4.53. Denominación de briquetas con agregados de la planta trituradora Áridos “16 de enero”.



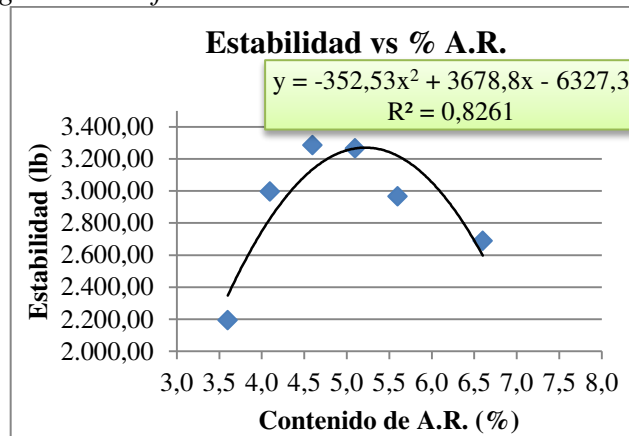
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.39. Planillas Marshall: Áridos "16 de enero".

N° de probeta	Denominación de probeta	Altura de probeta cm	% Emulsión		Peso Briqueta			Volumen cc	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia	
			% Asfalto Residual en la mezcla	% Agua Incluida	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua		Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación bitumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
			%	%	grs.	grs.	grs.		grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	1'16	7,22	3,60	3	1145,7	1148,0	606	542,0	2,11	2,09	2,42	13,41	20,78	35,44	920	2459,15	0,82	2016,51	2194,11	11	11
2	1"16	7,26			1173,8	1180,8	621	559,8	2,10						1009	2698,81	0,82	2199,53		11	
3	1'''16	7,32			1173,1	1178,7	611	567,7	2,07						1095	2930,39	0,81	2366,29		12	
4	2'16	7,34	4,10	3	1184,5	1190,5	624	566,5	2,09	2,10	2,40	12,53	20,94	40,17	1378	3692,46	0,81	2972,43	2996,40	13	13
5	2"16	7,32			1179,1	1184,1	625	559,1	2,11						1352	3622,44	0,81	2925,12		13	
6	2'''16	7,34			1180,7	1187,1	624	563,1	2,10						1433	3840,56	0,81	3091,65		14	
7	3'16	7,26	4,60	3	1162,3	1167,0	616	551,0	2,11	2,1494	2,38	9,80	19,46	49,66	1497	4012,90	0,82	3270,51	3284,60	13	14
8	3"16	7,31			1169,6	1173,8	639	534,8	2,19						1508	4042,52	0,81	3269,39		14	
9	3'''16	7,21			1172,0	1173,7	629	544,7	2,15						1503	4029,06	0,82	3313,90		14	
10	4'16	7,16	5,10	3	1153,0	1156,3	628	528,3	2,18	2,17	2,37	8,25	19,07	56,76	1498	4015,59	0,83	3328,12	3265,68	16	15
11	4"16	7,19			1184,7	1187,6	645	542,6	2,18						1456	3902,50	0,83	3219,56		15	
12	4'''16	7,17			1173,1	1175,2	629	546,2	2,15						1465	3926,73	0,83	3249,37		15	
13	5'16	7,26	5,60	3	1168,6	1171,2	621	550,2	2,12	2,16	2,35	8,07	19,90	59,43	1297	3474,34	0,82	2831,59	2965,92	16	16
14	5"16	7,13			1158,9	1161,5	626	535,5	2,16						1289	3452,80	0,83	2878,94		15	
15	5'''16	6,97			1161,8	1164,8	635	529,8	2,19						1377	3689,76	0,86	3187,22		16	
16	6'16	6,91	6,60	3	1150,2	1159,6	613	546,6	2,10	2,09	2,32	9,66	23,17	58,31	1097	2935,78	0,88	2568,81	2688,13	18	18
17	6"16	6,93			1145,3	1155,4	612	543,4	2,11						1292	3460,88	0,87	3015,46		19	
18	6'''16	7,10			1186,6	1194,0	621	573,0	2,07						1104	2954,63	0,84	2480,12		18	
Determinación del porcentaje óptimo de asfalto residual		Ensayo			Valor de Diseño		% Óptimo de A.R.														
		Estabilidad Marshall (Lb)			3270,16		5,22														
		Densidad máxima (gr/cm3)			2,16		5,20														
		Vacíos de la mezcla (% mín.)			8,27		5,55														
		% Porcentaje óptimo			Promedio =		5,32														

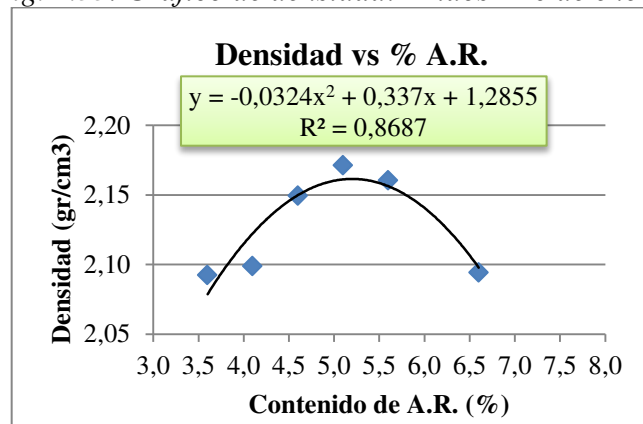
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.54. Gráfico de estabilidad: Áridos "16 de enero".



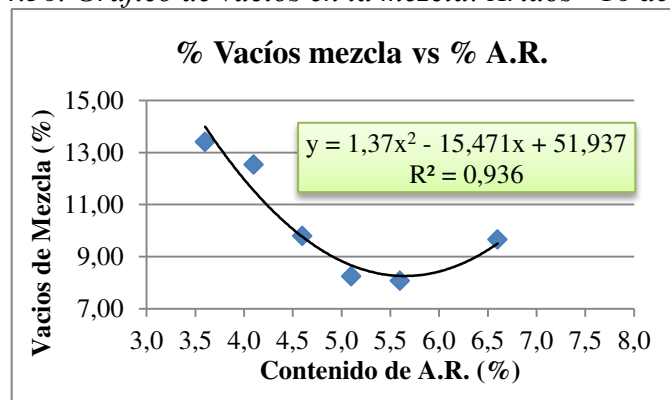
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.55. Gráfico de densidad: Áridos "16 de enero".



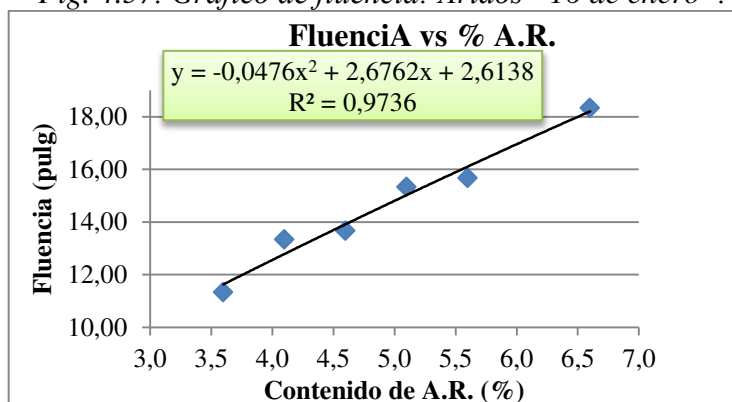
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.56. Gráfico de vacíos en la mezcla: Áridos "16 de enero".



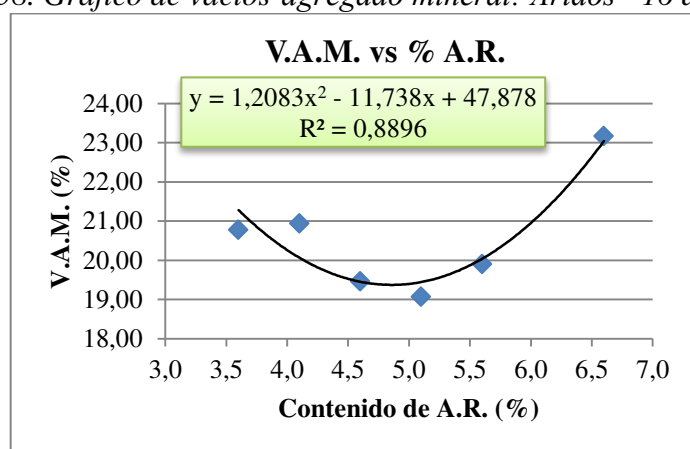
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.57. Gráfico de fluencia: Áridos "16 de enero".



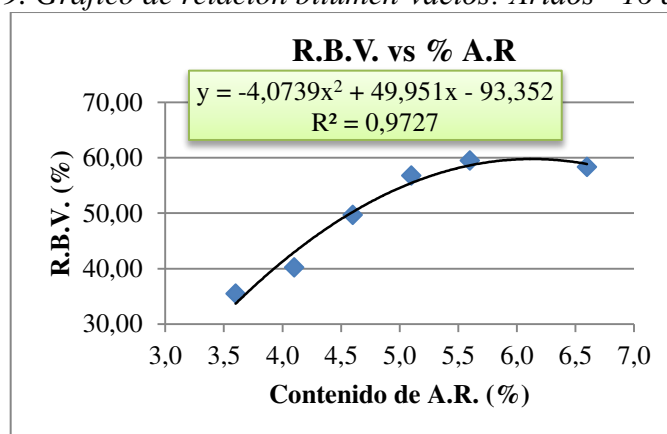
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.58. Gráfico de vacíos-agregado mineral: Áridos "16 de enero".



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.59. Gráfico de relación bitumen-vacíos: Áridos "16 de enero".



Fuente: Elaboración propia.

b) Áridos “Fernández”

Para identificar cada una de las briquetas se realizó el marcado con la denominación de 1'F, 1''F, 1'''F para las tres briquetas con el primer contenido de asfalto residual y la inicial de la planta trituradora a la que pertenecen los agregados.

2'F, 2''F, 2'''F para las tres briquetas con el segundo contenido de asfalto residual.

3'F, 3''F, 3'''F para las tres briquetas con el tercer contenido de asfalto residual.

4'F, 4''F, 4'''F para las tres briquetas con el cuarto contenido de asfalto residual.

5'F, 5''F, 5'''F para las tres briquetas con el quinto contenido de asfalto residual.

6'F, 6''F, 6'''F para las tres briquetas con el sexto contenido de asfalto residual.

Fig. 4.60. Denominación de briquetas con agregados de la planta trituradora Áridos “Fernández”.



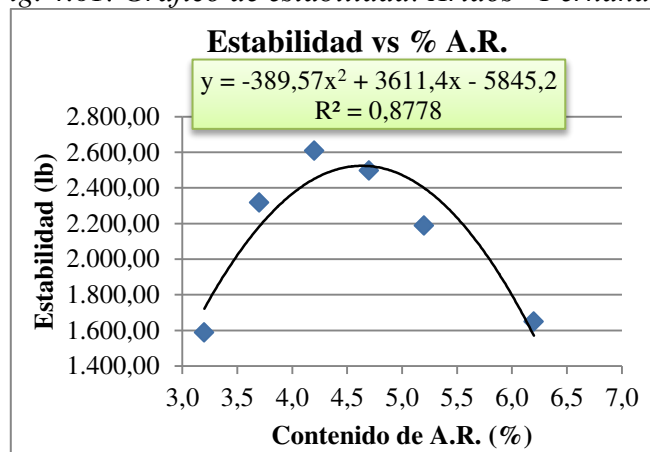
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.40. Planillas Marshall: Áridos "Fernández".

N° de probeta	Denominación de probeta	Altura de probeta cm	% Emulsión		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall				Fluencia		
			% Asfalto Residual en la mezcla	% Agua Incluida	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación bitumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
			%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	1°F	7,95	3,20	4	1148,2	1176,2	600	576,2	1,99	2,00	2,45	18,20	24,47	25,61	814	2173,72	0,72	1562,36	1588,70	11	11
2	1''F	7,98			1184,6	1191,5	608	583,5	2,03						806	2152,18	0,72	1538,81		10	
3	1'''F	7,97			1155,5	1183,9	602	581,9	1,99						870	2324,51	0,72	1664,93		12	
4	2°F	7,42	3,70	4	1120,9	1142,3	610	532,3	2,11	2,09	2,43	14,05	21,61	34,97	1147	3070,42	0,79	2417,96	2317,70	11	12
5	2''F	7,67			1163,7	1193,2	627	566,2	2,06						1078	2884,62	0,75	2174,28		12	
6	2'''F	7,66			1150,1	1167,8	622	545,8	2,11						1168	3126,97	0,76	2360,86		13	
7	3°F	7,31	4,20	4	1117,6	1133,9	603	530,9	2,11	2,12	2,41	12,18	20,89	41,66	1297	3474,34	0,81	2807,70	2608,72	14	14
8	3''F	7,63			1149,2	1172,3	625	547,3	2,10						1254	3358,55	0,76	2548,30		15	
9	3'''F	7,73			1144,1	1153,1	622	531,1	2,15						1236	3310,08	0,75	2470,15		15	
10	4°F	7,56	4,70	4	1166,9	1187,5	651	536,5	2,18	2,09	2,40	12,71	22,32	43,07	1187	3178,13	0,77	2439,22	2496,34	16	16
11	4''F	7,51			1145,0	1172,6	637	535,6	2,14						1193	3194,29	0,77	2471,58		16	
12	4'''F	7,20			1076,4	1180,1	632	548,1	1,96						1169	3129,66	0,82	2578,22		15	
13	5°F	7,46	5,20	4	1144,6	1170,3	624	546,3	2,10	2,09	2,38	12,05	22,69	46,89	1106	2960,02	0,78	2308,81	2187,39	18	17
14	5''F	7,88			1165,0	1196,4	637	559,4	2,08						1094	2927,70	0,73	2129,90		17	
15	5'''F	7,48			1115,0	1145,5	615	530,5	2,10						1021	2731,13	0,78	2123,45		17	
16	6°F	7,35	6,20	4	1130,7	1152,9	605	547,9	2,06	2,02	2,35	13,93	26,18	46,77	716	1909,82	0,80	1529,05	1649,83	19	19
17	6''F	7,39			1169,4	1189,0	615	574,0	2,04						854	2281,43	0,79	1809,46		20	
18	6'''F	7,35			1109,0	1171,0	605	566,0	1,96						754	2012,15	0,80	1610,98		19	
Determinación del porcentaje óptimo de asfalto residual		Ensayo			Valor de Diseño	% Óptimo de A.R.															
		Estabilidad Marshall (Lb)			2524,42	4,64															
		Densidad máxima (gr/cm ³)			2,11	4,68															
		Vacíos de la mezcla (% mín.)			11,72	5,00															
		% Porcentaje óptimo			Promedio =	4,77															

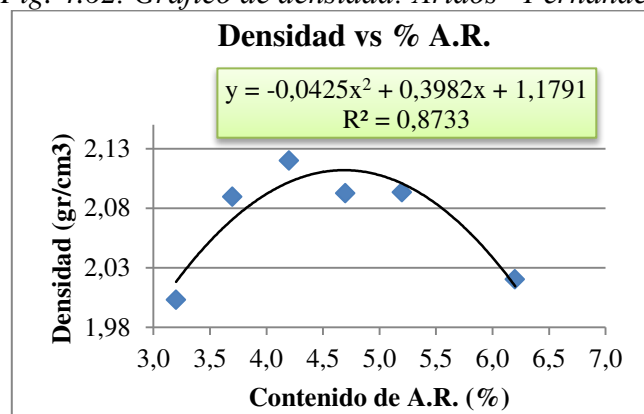
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.61. Gráfico de estabilidad: Áridos "Fernández".



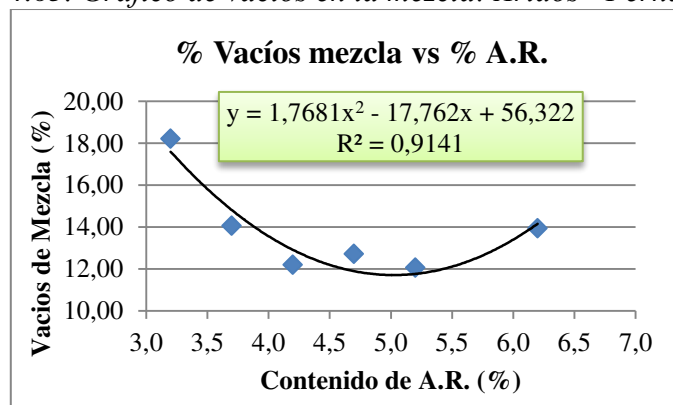
Fuente: Elaboración propia

Fig. 4.62. Gráfico de densidad: Áridos "Fernández".



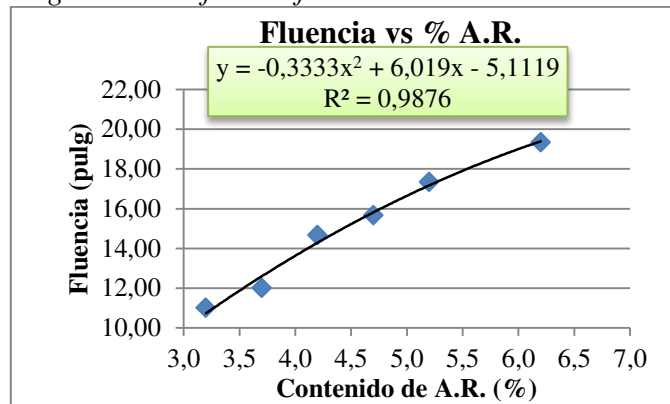
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.63. Gráfico de vacíos en la mezcla: Áridos "Fernández".



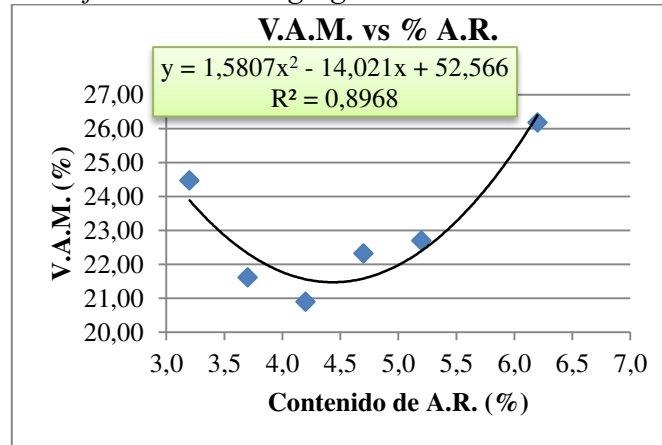
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.45. Gráfico de fluencia: Áridos "Fernández".



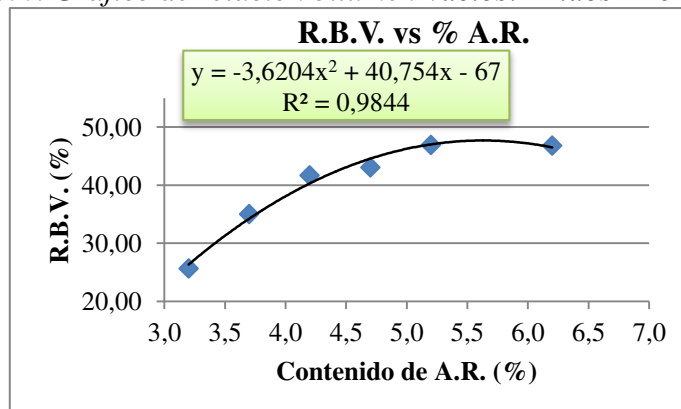
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.65. Gráfico de vacíos-agregado mineral: Áridos "Fernández".



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.66. Gráfico de relación bitumen-vacíos: Áridos "Fernández".



Fuente: Elaboración propia.

c) Áridos “Vargas”

Para identificar cada una de las briquetas se realizó el marcado con la denominación de 1'V, 1''V, 1'''V para las tres briquetas con el primer contenido de asfalto residual y la inicial de la planta trituradora a la que pertenecen los agregados.

2'V, 2''V, 2'''V para las tres briquetas con el segundo contenido de asfalto residual.

3'V, 3''V, 3'''V para las tres briquetas con el tercer contenido de asfalto residual.

4'V, 4''V, 4'''V para las tres briquetas con el cuarto contenido de asfalto residual.

5'V, 5''V, 5'''V para las tres briquetas con el quinto contenido de asfalto residual.

6'V, 6''V, 6'''V para las tres briquetas con el sexto contenido de asfalto residual.

Fig. 4.67. Denominación de briquetas con agregados de la planta trituradora Áridos “Vargas”.



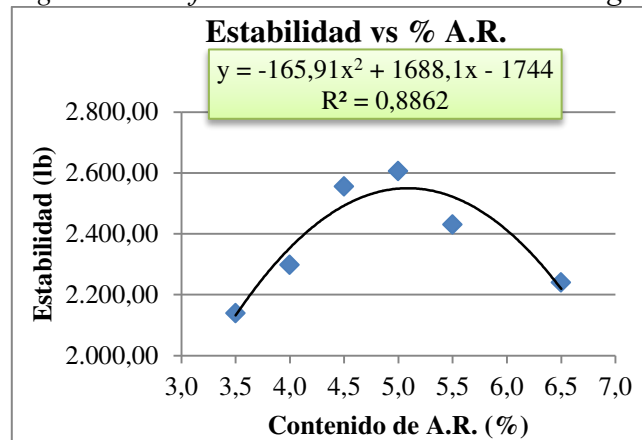
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.41. Planillas Marshall: Áridos "Vargas".

N° de probeta	Denominación de probeta	Altura de probeta		% Emulsión			Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia	
		cm	%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg		
																						% Asfalto Residual en la mezcla	% Agua Incluida
1	1"V	7,38	3,50	2	1121,0	1128,4	591	537,4	2,09	2,11	2,48	14,98	22,20	32,52	987	2639,57	0,80	2103,41	2139,15	13	13		
2	1"V	6,90			1025,5	1031,0	551	480,0	2,14						932	2491,47	0,88	2189,50		13			
3	1"V	7,14			1073,3	1079,7	571	508,7	2,11						953	2548,02	0,83	2124,54		13			
4	2"V	6,95	4,00	2	1036,0	1040,1	573	467,1	2,22	2,16	2,46	12,49	20,92	40,30	995	2661,11	0,87	2313,57	2297,55	13	14		
5	2"V	7,31			1146,6	1149,7	623	526,7	2,18						1057	2828,07	0,81	2285,43		14			
6	2"V	7,13			1091,3	1094,9	569	525,9	2,08						1026	2744,59	0,84	2293,66		14			
7	3"V	7,10	4,50	2	1114,7	1116,8	615	501,8	2,22	2,19	2,45	10,67	20,28	47,41	1149	3075,81	0,84	2581,83	2555,24	15	15		
8	3"V	7,16			1126,9	1128,4	604	524,4	2,15						1138	3046,19	0,83	2524,68		14			
9	3"V	7,12			1120,8	1122,6	610	512,6	2,19						1144	3062,34	0,84	2559,20		15			
10	4"V	7,54	5,00	2	1151,4	1157,2	625	532,2	2,16	2,13	2,43	12,37	22,77	45,68	1291	3458,18	0,77	2662,80	2605,74	16	16		
11	4"V	7,64			1135,5	1147,4	605	542,4	2,09						1256	3363,94	0,76	2548,18		15			
12	4"V	7,59			1143,5	1152,3	615	537,3	2,13						1274	3412,41	0,76	2606,23		16			
13	5"V	7,71	5,50	2	1151,4	1159,5	611	548,5	2,10	2,11	2,41	12,64	23,97	47,26	1189	3183,52	0,75	2387,64	2430,22	17	17		
14	5"V	7,44			1135,4	1145,4	608	537,4	2,11						1179	3156,59	0,78	2473,98		18			
15	5"V	7,58			1143,4	1152,5	610	542,5	2,11						1184	3170,05	0,77	2429,05		17			
16	6"V	6,75	6,50	2	1122,4	1128,0	562	566,0	1,98	2,05	2,38	13,98	26,97	48,18	932	2491,47	0,91	2273,46	2239,88	20	20		
17	6"V	6,61			1118,1	1127,6	612	515,6	2,17						881	2354,14	0,94	2215,95		19			
18	6"V	6,72			1120,3	1127,8	563	564,8	1,98						907	2424,15	0,92	2230,22		20			
Determinación del porcentaje óptimo de asfalto residual		Ensayo			Valor de Diseño			% óptimo de A.R.															
		Estabilidad Marshall (Lb)			2550,02			5,09															
		Densidad máxima (gr/cm3)			2,15			4,49															
		Vacíos de la mezcla (% mín.)			11,64			4,99															
		% Porcentaje óptimo			Promedio =			4,86															

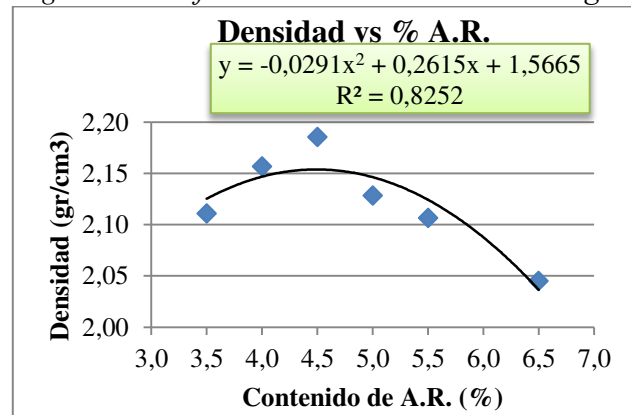
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.68. Gráfico de estabilidad: Áridos "Vargas".



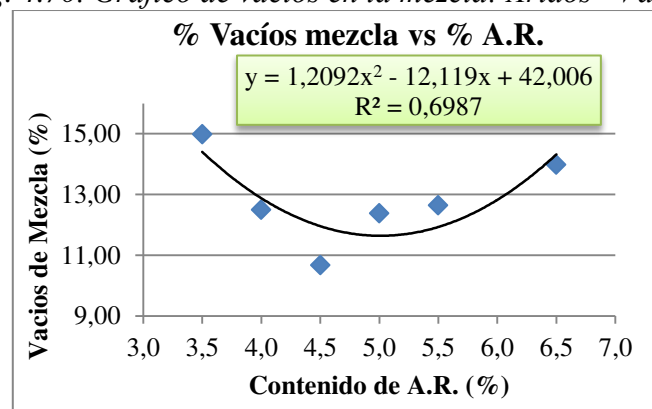
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.69. Gráfico de densidad: Áridos "Vargas".



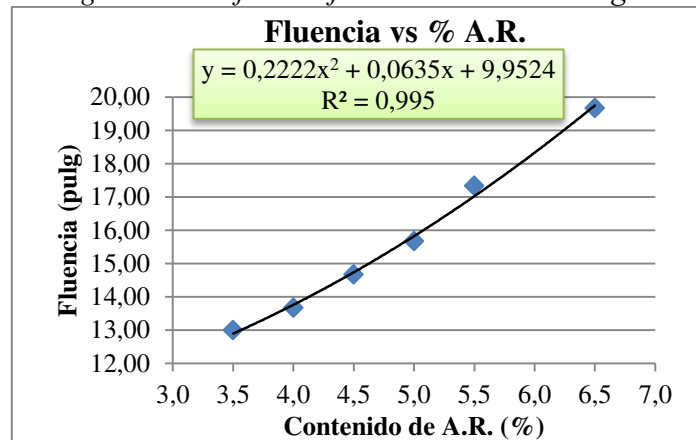
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.70. Gráfico de vacíos en la mezcla: Áridos "Vargas".



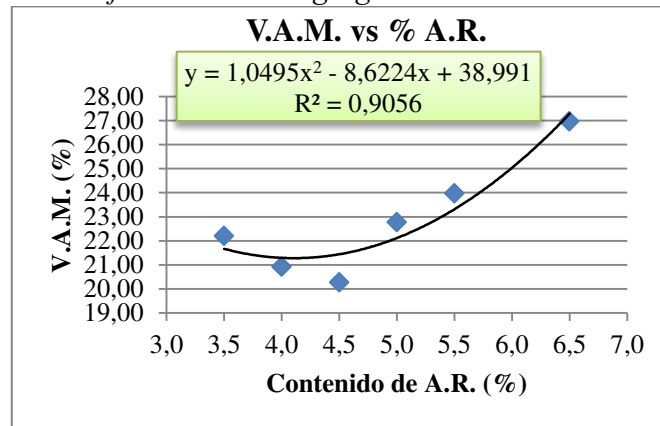
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.71. Gráfico de fluencia: Áridos "Vargas".



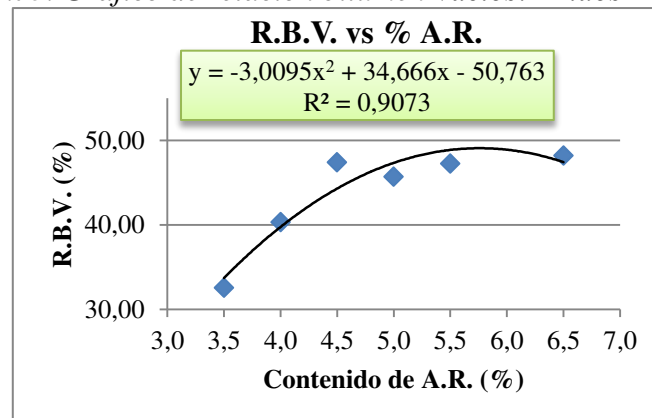
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.72. Gráfico de vacíos-agregado mineral: Áridos "Vargas".



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.73. Gráfico de relación bitumen-vacíos: Áridos "Vargas".



Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas presentadas de las propiedades de las mezclas asfálticas para determinar el porcentaje óptimo de asfalto residual para cada banco de agregados, se observa que se tiene un comportamiento similar en cuanto a la forma de las curvas entre cada propiedad.

La estabilidad: presenta una curva cóncava que parte de un valor mínimo y aumenta conforme sube el contenido de asfalto hasta un determinado punto y luego desciende para el valor máximo de asfalto residual.

La densidad: presenta el mismo comportamiento de una curva cóncava que parte desde un valor bajo que va incrementando con el aumento de asfalto residual y disminuye para el máximo porcentaje de asfalto residual.

El porcentaje de vacíos: presenta un comportamiento inverso, una curva convexa que parte de un valor alto y va bajando al subir el valor del porcentaje de asfalto residual, hasta un punto donde se revierte hasta volver a subir y llegar al punto final más alto.

De estas tres curvas se toman los valores óptimos para determinar el promedio como el porcentaje óptimo de asfalto residual; para la estabilidad y densidad se busca el máximo valor de ambas curvas ya que mayor estabilidad significa mayor capacidad de soportar las cargas a las que se somete a las mezclas asfálticas y mayor densidad implica una mayor interconexión de elementos dentro de la mezcla que ayuda a que se comporte como un elemento monolítico al soportar las cargas, mientras que para el porcentaje de vacíos se busca el menor valor de la curva porque una mezcla con porcentaje de vacíos muy altos suele presentar menos resistencia en relación a una con menor porcentaje de vacíos.

La fluencia: los valores que se registran tienden a incrementarse conforme aumenta el porcentaje de asfalto residual, pudiendo observar una tendencia a acercarse y sobrepasar el límite establecido como especificación, atribuyendo esto a los porcentajes de vacíos que en algunos casos tiende a pasar del valor límite especificado.

La relación vacíos –agregado mineral: presenta una curva convexa que para el mayor y menor porcentaje de asfalto residual se tiene valores más altos encontrando el mínimo en un punto intermedio entre los dos.

La relación bitumen-vacíos: presenta una curva cóncava cuyo máximo valor se registra en un intermedio entre el máximo y mínimo porcentaje de asfalto residual.

El comportamiento que registran la mayoría de las curvas en general (exceptuando la fluencia que presenta una curva proporcional), indica que un punto intermedio de porcentaje de asfalto residual nos ofrece el óptimo buscado, no encontrándose este en el mínimo; que sería lo más ideal económicamente hablando, ni en el máximo; que a simple vista pareciera que brinda mayores propiedades de adhesión, porque de forma visual presenta un aspecto lo más parecido a una mezcla convencional pero es perjudicial para algunas otras propiedades como la fluencia.

Si bien se registran varios valores que sobrepasan los valores especificados, lo importante es que el valor óptimo no sobrepase dichos valores, lo que sucede con la generalidad de los valores de porcentaje de vacíos y fluencia, dando así como resultado óptimo valores cercanos a las especificaciones que son 12% para porcentaje de vacíos y 16 centésimas de pulgada para fluencia, lo que puede en este caso brindarnos la ventaja de llegar a tener un buen aprovechamiento de estos rangos permitidos, pero lo que también puede significar una desventaja al momento de evaluar las propiedades de las mezclas con porcentaje óptimo de asfalto residual, corriendo el riesgo de que alguna de estas pueda arrojar un valor fuera de los permitidos.

Analizando el coeficiente de determinación, que nos indica un buen o mal ajuste de la curva a los valores registrados, se tiene para las gráficas un rango entre 0,81 y 0,995 lo cual se puede admitir como aceptable el ajuste de dichas curvas y con una sola curva que registra el valor más bajo de coeficiente de determinación de 0,6987 en la que se observa que un solo punto se aleja de forma notable de la curva ideal lo que puede atribuirse como causal del valor bajo que se presenta.

4.7. Elaboración de briquetas con el porcentaje óptimo de asfalto residual

Luego de determinado el porcentaje de asfalto residual para cada uno de los bancos de agregados aplicados a las mezclas, se repite el mismo procedimiento de elaboración pero esta vez con un contenido de asfalto residual constante para todos los especímenes.

Fig. 4.74. Briquetas realizadas con el porcentaje óptimo de asfalto residual.



Fuente: Elaboración propia.

La denominación de briquetas se realizó enumerando de forma creciente, seguido por la inicial del nombre de la planta trituradora a la que corresponden los agregados.

Fig. 4.75. Briquetas realizadas con óptimo de asfalto residual: Áridos “Garzón”.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.76. Briquetas realizadas con óptimo de asfalto residual: Áridos “16 de enero”.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.77. Briquetas realizadas con óptimo de asfalto residual: Áridos "Fernández".



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.78. Briquetas realizadas con óptimo de asfalto residual: Áridos "Vargas".



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.42. Dosificación de materiales para mezclas con porcentaje óptimo de residuo asfáltico.

	Porcentaje de asfalto residual en la mezcla			
	Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"
	5,10%	5,32%	4,77%	4,86%
Porcentaje de Emulsión (%)	8,10%	8,40%	7,60%	7,70%
Porcentaje de Agregado (%)	91,90%	91,60%	92,40%	92,30%
Peso de la Emulsión (gr)	96,99	101,17	90,71	92,42
Peso de Gravilla (gr)	386,05	384,59	576,83	221,52
Peso de Arena (gr)	716,96	714,24	532,46	886,06
Peso del agua adicional (gr)	36	36	48	24
Peso total de la briqueta (gr)	1200	1200	1200	1200

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.43. Planillas Marshall con porcentaje óptimo de asfalto residual: Áridos “Garzón”.

N° de probeta	Denominación de probeta	Altura de probeta	% Emulsión		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall		Fluencia	
			% Asfalto Residual en la mezcla	% Agua Incluida	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta	Densidad real	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación bitumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Lectura dial del flujo
		cm	%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	0,01pulg
1	1G	7,23	5,10	3	1131,2	1135,6	607	528,6	2,14	2,43	11,85	22,52	47,38	1650	4424,90	0,82	3633,95	16
2	2G	7,31	5,10	3	1151,1	1154,3	617	537,3	2,14	2,43	11,75	22,43	47,61	1604	4301,03	0,81	3475,77	16
3	3G	7,27	5,10	3	1159,8	1162,8	620	542,8	2,14	2,43	11,99	22,64	47,06	1623	4352,19	0,82	3547,04	16
4	4G	7,31	5,10	3	1148,0	1150,1	614	536,1	2,14	2,43	11,79	22,47	47,52	1594	4274,10	0,81	3462,02	15
5	5G	7,24	5,10	3	1147,9	1149,1	613	536,1	2,14	2,43	11,80	22,47	47,50	1625	4357,58	0,82	3567,77	16
6	6G	7,35	5,10	3	1171,5	1176,4	628	548,4	2,14	2,43	12,01	22,65	47,01	1586	4252,56	0,80	3404,71	15
7	7G	7,35	5,10	3	1179,5	1182,1	630	552,1	2,14	2,43	12,00	22,65	47,03	1572	4214,86	0,80	3374,52	15
8	8G	7,31	5,10	3	1150,9	1152,9	616	536,9	2,14	2,43	11,70	22,39	47,73	1556	4171,78	0,81	3371,32	16
9	9G	7,24	5,10	3	1167,1	1172,0	626	546,0	2,14	2,43	11,95	22,61	47,14	1612	4322,57	0,82	3544,51	16
10	10G	7,20	5,10	3	1154,0	1157,8	618	539,8	2,14	2,43	11,94	22,60	47,17	1684	4516,45	0,82	3720,65	15
Promedio								540,41	2,14	2,43	11,88	22,54	47,31				3510,23	15,60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.44. Planillas Marshall con porcentaje óptimo de asfalto residual: Áridos “16 de enero”.

N° de probeta	Denominación de probeta	Altura de probeta	% Emulsión		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta		% de Vacíos			Estabilidad Marshall			Fluencia	
			% Asfalto Residual en la mezcla	% Agua Incluida	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta	Densidad real	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Lectura dial del flujo
		cm	%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	0,01pulg
1	1 16	7,14	5,32	3	1155,2	1158,2	624	534,2	2,16	2,36	8,34	19,58	57,43	1464	3924,04	0,83	3264,80	16
2	2 16	7,18	5,32	3	1151,0	1154,3	621	533,3	2,16	2,36	8,52	19,74	56,86	1427	3824,40	0,83	3160,11	16
3	3 16	7,09	5,32	3	1135,0	1138,9	600	538,9	2,11	2,36	10,72	21,68	50,53	1399	3749,01	0,84	3154,04	15
4	4 16	7,12	5,32	3	1150,4	1161,8	620	541,8	2,12	2,36	10,00	21,04	52,48	1425	3819,02	0,84	3191,55	16
5	5 16	6,90	5,32	3	1172,6	1178,9	629	549,9	2,13	2,36	9,61	20,70	53,57	1386	3714,00	0,88	3256,81	15
6	6 16	7,12	5,32	3	1146,4	1159,7	619	540,7	2,12	2,36	10,13	21,15	52,12	1402	3757,08	0,84	3139,80	16
7	7 16	7,05	5,32	3	1137,4	1147,5	620	527,5	2,16	2,36	8,60	19,82	56,59	1415	3792,09	0,85	3218,73	16
8	8 16	7,15	5,32	3	1151,4	1162,7	629	533,7	2,16	2,36	8,55	19,77	56,75	1454	3897,11	0,83	3234,60	16
9	9 16	7,21	5,32	3	1157,9	1169,6	628	541,6	2,14	2,36	9,38	20,50	54,25	1410	3778,63	0,82	3107,92	16
10	10 16	7,23	5,32	3	1144,2	1158,1	624	534,1	2,14	2,36	9,19	20,33	54,79	1439	3856,72	0,82	3157,69	16
Promedio								537,57	2,14	2,36	9,30	20,43	54,54				3188,60	15,80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.45. Planillas Marshall con porcentaje óptimo de asfalto residual: Áridos “Fernández”.

N° de probeta	Denominación de probeta	altura de probeta	% Emulsión		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta		% de Vacíos			Estabilidad Marshall			Fluencia	
			% Asfalto Residual en la mezcla	% Agua Incluida	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua		Probeta	Densidad real	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Lectura del dial	Carga		Factor de corrección de altura de probeta
		cm	%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	0,01pulg
1	1F	7,35	4,77	4	1166,9	1170,0	609	561,0	2,08	2,35	11,38	21,08	46,00	1184	3170,05	0,80	2543,97	14
2	2F	7,29	4,77	4	1153,2	1164,2	611	553,2	2,08	2,35	11,19	20,91	46,49	1178	3153,90	0,81	2558,60	14
3	3F	7,17	4,77	4	1129,5	1140,3	601	539,3	2,09	2,35	10,77	20,54	47,55	1301	3485,11	0,83	2.883,93	16
4	4F	7,55	4,77	4	1158,0	1178,0	618	560,0	2,07	2,35	11,90	21,55	44,75	1291	3458,18	0,77	2662,80	16
5	5F	7,46	4,77	4	1148,8	1170,0	617	553,0	2,08	2,35	11,50	21,18	45,73	1319	3533,58	0,78	2762,82	16
6	6F	7,22	4,77	4	1100,5	1125,0	600	525,0	2,10	2,35	10,70	20,47	47,75	1232	3299,31	0,82	2713,68	15
7	7F	7,46	4,77	4	1156,3	1180,5	621	559,5	2,07	2,35	11,95	21,59	44,63	1338	3584,75	0,78	2796,10	16
8	8F	7,59	4,77	4	1166,2	1184,8	622	562,8	2,07	2,35	11,72	21,38	45,19	1205	3226,60	0,76	2464,32	15
9	9F	7,39	4,77	4	1143,2	1157,8	605	552,8	2,07	2,35	11,90	21,54	44,77	1217	3258,92	0,80	2590,84	15
10	10F	7,02	4,77	4	1138,9	1141,2	602	539,2	2,11	2,35	10,01	19,86	49,58	1321	3538,97	0,85	3023,69	16
Promedio								550,58	2,08	2,35	11,30	21,01	46,24				2700.08	15,30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.46. Planillas Marshall con porcentaje óptimo de asfalto residual: Áridos “Vargas”.

N° de probeta	Denominación de probeta	altura de probeta	% Emulsión		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta		% de Vacíos			Estabilidad Marshall				Fluencia
			% Asfalto Residual en la mezcla	% Agua Incluida	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua		Probeta	Densidad real	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	
		cm	%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	0,01pulg
1	1V	7,42	4,86	2	1113,0	1121,4	603	518,4	2,15	2,43	11,78	21,98	46,40	1217	3258,92	0,79	2572,51	16
2	2V	7,36	4,86	2	1135,7	1144,1	614	530,1	2,14	2,43	11,97	22,15	45,95	1197	3205,06	0,80	2566,05	15
3	3V	7,44	4,86	2	1149,6	1154,0	618	536,0	2,14	2,43	11,87	22,06	46,18	1206	3229,30	0,79	2537,02	16
4	4V	7,55	4,86	2	1122,3	1129,8	606	523,8	2,14	2,43	11,96	22,14	45,97	1261	3377,40	0,77	2600,60	16
5	5V	7,48	4,86	2	1141,8	1148,7	616	532,7	2,14	2,43	11,93	22,11	46,05	1211	3242,76	0,78	2525,30	16
6	6V	7,37	4,86	2	1144,3	1152,3	618	534,3	2,14	2,43	12,00	22,18	45,88	1184	3170,05	0,80	2532,08	16
7	7V	7,50	4,86	2	1128,0	1135,0	608	527,0	2,14	2,43	12,05	22,22	45,76	1165	3118,89	0,78	2421,04	15
8	8V	7,32	4,86	2	1131,1	1139,2	611	528,2	2,14	2,43	12,01	22,19	45,86	1220	3266,99	0,81	2640,14	16
9	9V	7,40	4,86	2	1135,2	1139,9	610	529,9	2,14	2,43	11,98	22,15	45,94	1207	3231,99	0,79	2563,37	16
10	10V	7,31	4,86	2	1121,1	1125,6	604	521,6	2,15	2,43	11,69	21,90	46,63	1178	3153,90	0,81	2554,66	16
Promedio								528,20	2,14	2,43	11,93	21,11	46,06				2551,28	15,80

Fuente: Elaboración propia.

4.8. Análisis estadístico inferencial

El principal indicador de la compatibilidad entre el agregado y la emulsión asfáltica es el test de adhesión, mismo que en el presente proyecto presentó resultados satisfactorios para los cuatro bancos de agregados, resultados reflejados en la tabla 4.31. Esta tabla se presenta a continuación complementándola con la descripción de las polaridades obtenidas, producto de los ensayos realizados: para los agregados en el “estudio de agregados” realizado en el capítulo 3 y para la emulsión asfáltica en el presente capítulo dentro de la sección de caracterización del ligante asfáltico; “ensayo de la carga de la partícula”.

Tabla 4.47. Análisis del test de adhesión con la polaridad de las cargas eléctricas.

	N° de briquet- tas	Combinación		Test de adhesión
		Polaridad del agregado	Polaridad de la emulsión	
Áridos "Garzón"	10	Negativa (-)	Positiva (+)	Satisfactorio
Áridos "16 de enero"	10	Negativa (-)	Positiva (+)	Satisfactorio
Áridos "Fernández"	10	Negativa (-)	Positiva (+)	Satisfactorio
Áridos "Vargas"	10	Negativa (-)	Positiva (+)	Satisfactorio
Total briquetas	40	Satisfactorio		

Fuente: Elaboración propia.

En ninguno de los casos se observó desprendimiento del agregado después de ser sometido al ensayo, por lo tanto no se pudo apreciar un efecto de repulsión de cargas eléctricas, por el contrario, al tener una evaluación visual satisfactoria en los cuatro casos se puede decir que hay compatibilidad entre agregado y emulsión asfáltica lo que se traduce en una atracción de cargas opuestas debido al cubrimiento y adhesión del agregado con la emulsión.

Se analizan adicionalmente los resultados de los ensayos a los especímenes elaborados con un porcentaje óptimo de emulsión para cada banco de agregados, enfatizando en los parámetros de estabilidad, fluencia y porcentaje de vacíos en la mezcla, ya que las especificaciones de la normativa de la ABC establecen valores para dichos parámetros.

Tabla 4.48. Análisis de resultados de los ensayos a los especímenes elaborados con porcentaje óptimo de asfalto residual.

		Combinación agregados emulsión				
		Áridos "Garzón"	Áridos "16 de enero"	Áridos "Fernández"	Áridos "Vargas"	
Polaridad de los agregados		-	-	-	-	Negativa
Polaridad de la emulsión		+	+	+	+	Positiva
Test de cubrimiento		> a 50%	> a 50%	> a 50%	> a 50%	Cumple
Test de adhesión		Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Cumple
Estabilidad (Ib)	Media	3510,23	3188,60	2700,08	2551,28	MÍN 800
	Desviación estándar	114,40	53,07	171,65	57,12	6,36%
Fluencia (0,01")	Media	15,60	15,80	15,30	15,80	MÁX 16
	Desviación estándar	0,52	0,42	0,82	0,42	5,38%
Vacíos en la mezcla (%)	Media	11,88	9,30	11,30	11,93	3-12
	Desviación estándar	0,11	0,81	0,64	0,11	8,71%

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla presentada se puede observar que la media de estabilidad supera ampliamente en los cuatro casos el valor límite establecido por las especificaciones de la norma. La desviación estándar más desfavorable es de 6,36% que representa la dispersión de los resultados de estabilidad.

Para los datos de fluencia registrados se tiene una media aceptable según las especificaciones, valores cerca del límite establecido; este fenómeno de aproximación a la fluencia máxima nos ofrece un leve incremento de la estabilidad. La desviación estándar más desfavorable es de un 5,38% que representa la dispersión de los resultados de la fluencia.

Para los datos de porcentaje de vacíos en la mezcla registrados se tiene una media aceptable según las especificaciones, valores que se acercan al límite máximo, atribuyendo estos resultados a la cantidad de golpes aplicados en la compactación de los especímenes y que es favorable al requerirse mezclas semidensas para facilitar la

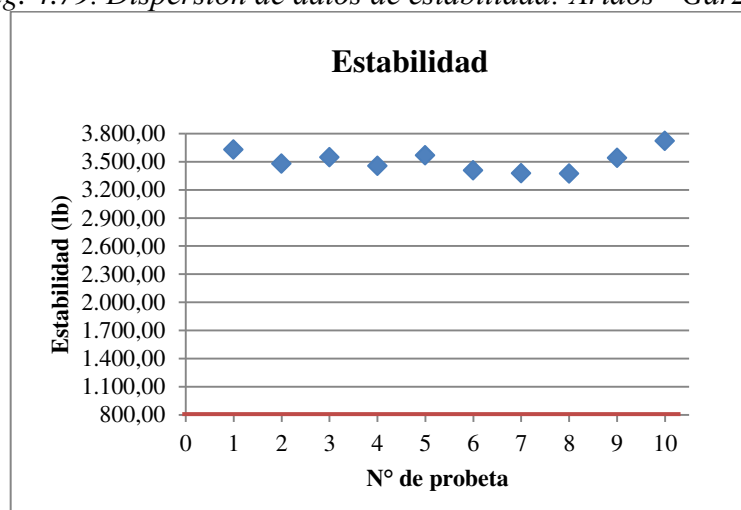
evacuación rápida del agua ya que la retención de la misma es este tipo de mezclas en frío puede resultar muy perjudicial. La desviación estándar más desfavorable es de un 8,71% que representa la dispersión de los resultados de porcentaje de vacíos en la mezcla.

Por lo tanto, observando la media de las propiedades analizadas y las desviaciones estándar que no superan el 10%, se tiene un conjunto de mezclas que dan resultados relativamente homogéneos, lo que complementa la validación de compatibilidad y afinidad entre las polaridades de la emulsión asfáltica y de los agregados ya que cumplen con los valores requeridos como especificaciones.

4.9. Gráficas de dispersión de datos

A continuación se presentan los gráficos de dispersión de datos de las propiedades analizadas para los cuatro bancos de agregados, que muestran visualmente el rango de dispersión de resultados, con la línea roja que representa los valores límites especificados.

Fig. 4.79. Dispersión de datos de estabilidad: Áridos “Garzón”.

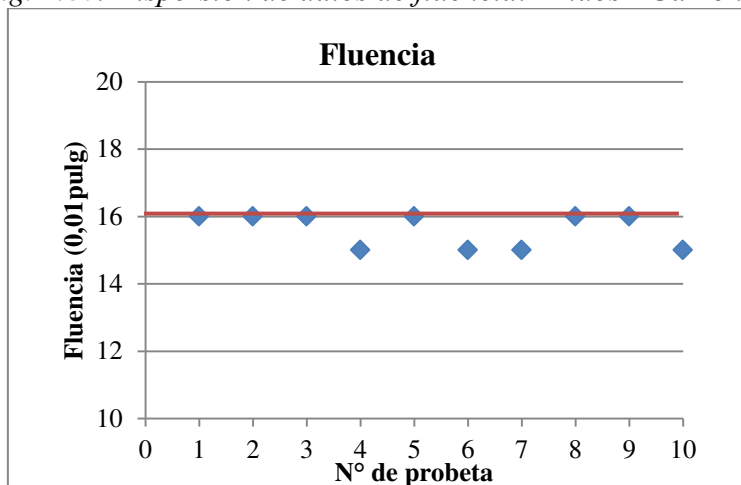


Fuente: Elaboración propia.

Los valores de estabilidad obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “Garzón” presentan valores mucho más altos que lo especificado, logrando una estabilidad aceptable dado que en ninguno de los casos estos se aproximan al mínimo ya que se tiene un valor máximo de 3720,65 lb y un valor mínimo de 3371,32 lb, rango de valores que indican la funcionalidad de la mezcla

asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

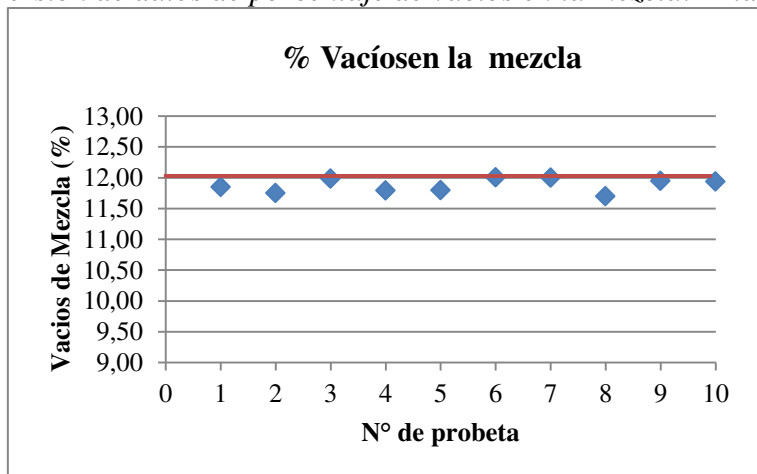
Fig. 4.80. *Dispersión de datos de fluencia: Áridos “Garzón”.*



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de fluencia obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “Garzón” presentan valores cercanos y dentro del límite máximo especificado logrando una fluencia aceptable dado que en ninguno de los casos estos sobrepasan el límite ya que se tiene un valor máximo de 16 centésimas de pulgada (0.01”) y un valor mínimo de 15 centésimas de pulgada (0.01”), rango de valores que indican la funcionalidad de la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

Fig. 4.81. *Dispersión de datos de porcentaje de vacíos en la mezcla: Áridos “Garzón”*



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de porcentaje de vacíos en la mezcla obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora: Áridos “Garzón” presentan valores cercanos y dentro del límite máximo especificado logrando valores aceptables y dado que en un solo caso estos sobrepasan el límite con una mínima diferencia (12,01%), se tiene un valor máximo de 12,01 % y un valor mínimo de 11,70%, rango de valores que indican la funcionalidad de la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

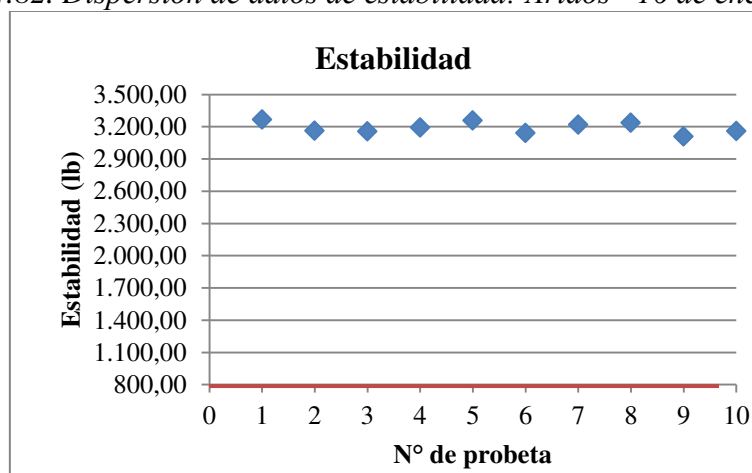
Para las demás propiedades se tienen valores con muy poca variación tales como:

La densidad real promedio es de 2,14 gr/cm³ y la densidad máxima teórica es de 2,43 gr/cm³, se observa una pequeña diferencia entre ambas del 11,93% que puede atribuirse esta al proceso de curado que deben tener los especímenes.

La relación vacíos-agregado mineral es de 22,54% lo que indica que la mezcla tiene más agregado que vacíos en su constitución.

La relación bitumen-vacíos promedio es de 47,31% indicando que en proporción se tiene aproximadamente la mitad de bitumen en relación a los vacíos.

Fig. 4.82. *Dispersión de datos de estabilidad: Áridos “16 de enero”.*

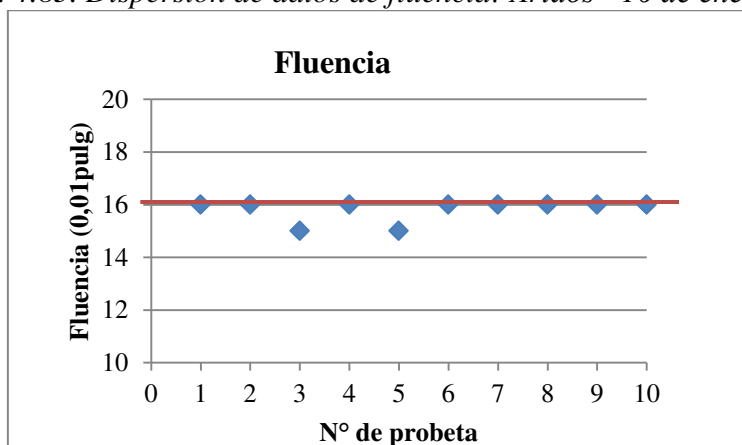


Fuente: Elaboración propia.

Los valores de estabilidad obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “16 de enero” presentan valores mucho más altos que lo especificado logrando una estabilidad aceptable dado que en ninguno de los casos estos se aproximan al mínimos ya que se tiene un valor máximo de 3264,80 lb y un valor mínimo de 3107,92 lb, rango de valores que indican la funcionalidad de

la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

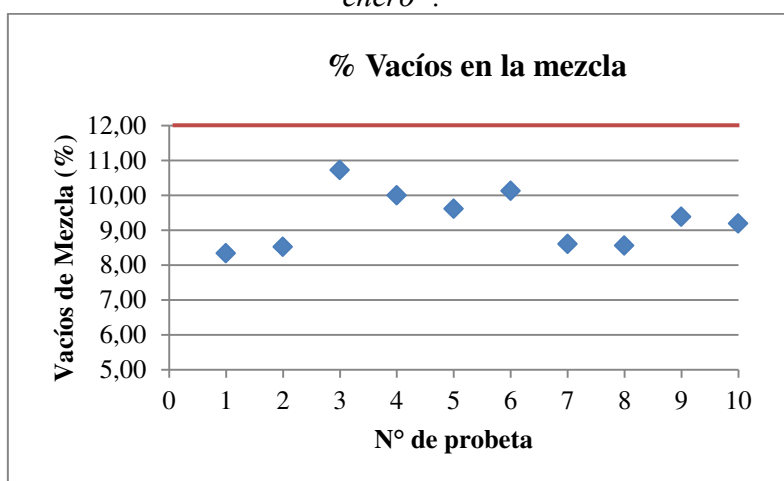
Fig. 4.83. *Dispersión de datos de fluencia: Áridos “16 de enero”.*



Fuente: *Elaboración propia.*

Los valores de fluencia obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “16 de enero” presentan valores cercanos y dentro del límite máximo especificado logrando una fluencia aceptable dado que en ninguno de los casos estos sobrepasan el límite ya que se tiene un valor máximo de 16 centésimas de pulgada (0.01”) y un valor mínimo de 15 centésimas de pulgada (0.01”), rango de valores que indican la funcionalidad de la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

Fig. 4.84. *Dispersión de datos de porcentaje de vacíos en la mezcla: Áridos “16 de enero”.*



Fuente: *Elaboración propia.*

Los valores de porcentaje de vacíos en la mezcla obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “16 de enero” presentan valores inferiores al límite máximo permitido, se tiene un valor máximo de 10,72 % y un valor mínimo de 8,34%, rango de valores que indican la funcionalidad de la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

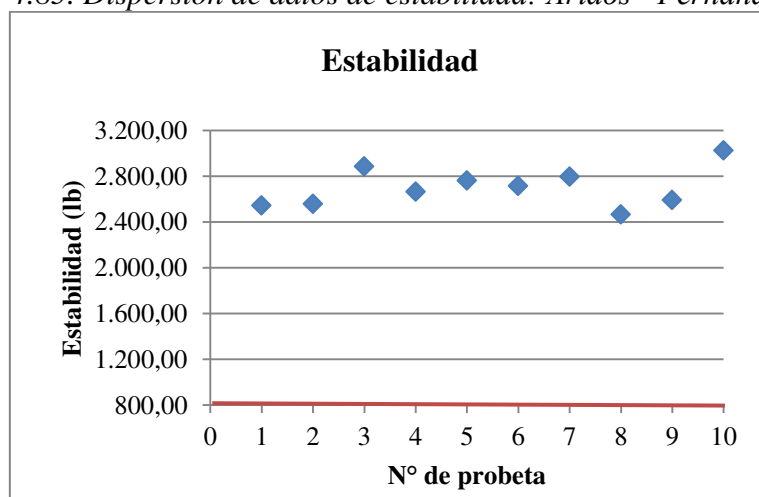
Para las demás propiedades se tienen valores con muy poca variación , es así que los promedios son:

La densidad real es de 2,14 gr/cm³ y la densidad máxima teórica es de 2,36 gr/cm³, se observa una pequeña diferencia entre ambas del 9,32% que puede atribuirse esta al proceso de curado por el que pasaron los especímenes.

La relación vacíos-agregado mineral es de 20,43% lo que indica que la mezcla tiene más agregado que vacíos en su constitución.

La relación bitumen-vacíos promedio es de 54,54% indicando que en proporción se tiene poco más de la mitad de bitumen en relación a los vacíos.

Fig. 4.85. Dispersión de datos de estabilidad: Áridos “Fernández”.

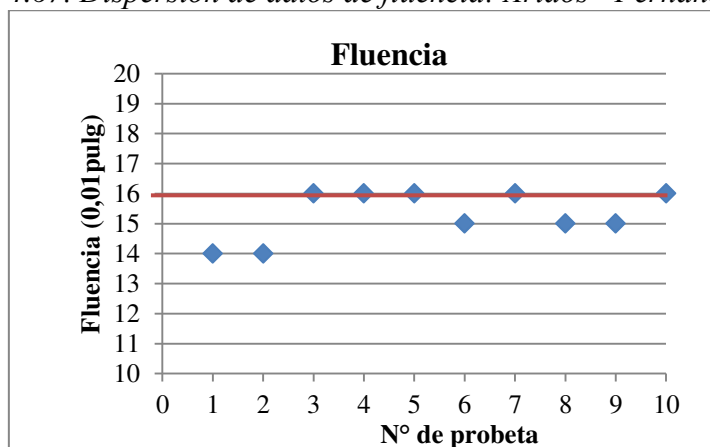


Fuente: Elaboración propia.

Los valores de estabilidad obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “Fernández” presentan valores mucho más altos que lo especificado logrando una estabilidad aceptable dado que en ninguno de los casos estos se aproximan al mínimos ya que se tiene un valor máximo de 3023,69 lb y un valor mínimo de 2464,32 lb, rango de valores que indican la funcionalidad de

la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

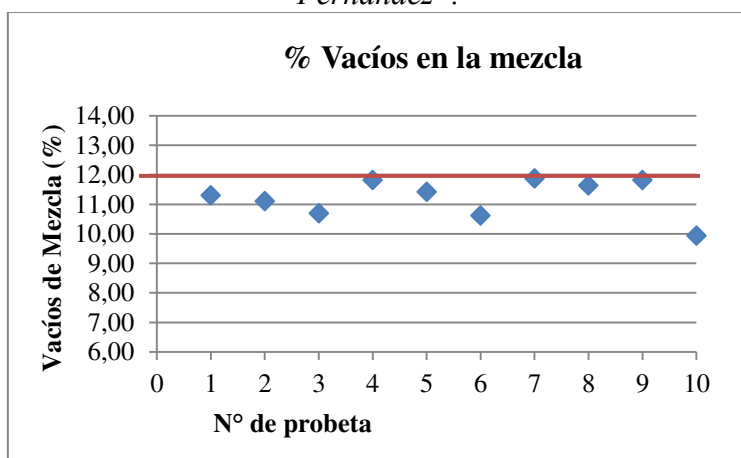
Fig. 4.67. *Dispersión de datos de fluencia: Áridos “Fernández”.*



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de fluencia obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “16 de Fernández” presentan valores cercanos y dentro del límite máximo especificado logrando una fluencia aceptable dado que en ninguno de los casos estos sobrepasan el límite ya que se tiene un valor máximo de 16 centésimas de pulgada (0.01”) y un valor mínimo de 14 centésimas de pulgada (0.01”), rango de valores que indican la funcionalidad de la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

Fig. 4.87. *Dispersión de datos de porcentaje de vacíos en la mezcla: Áridos “Fernández”.*



Fuente: Elaboración propia.

Los valores porcentaje de vacíos en la mezcla obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “Fernández” presentan valores inferiores al límite máximo permitido; se tiene un valor máximo de 11,95% y un valor mínimo de 10,01%, rango de valores que indican la funcionalidad de la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

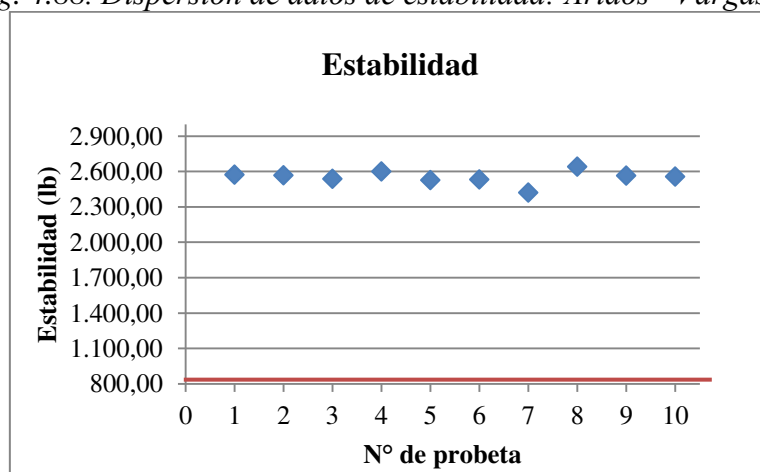
Para las demás propiedades se tienen valores con muy poca variación, es así que los promedios son:

La densidad real es de 2,08 gr/cm³ y la densidad máxima teórica es de 2,35 gr/cm³, se observa una pequeña diferencia entre ambas del 11,49% que puede atribuirse al proceso de curado por el que pasaron los especímenes.

La relación vacíos-agregado mineral promedio es de 21,01% lo que indica que la mezcla tiene más agregado que vacíos en su constitución.

La relación bitumen-vacíos promedio es de 46,24% indicando que en proporción se tiene aproximadamente la mitad de bitumen en relación a los vacíos.

Fig. 4.88. Dispersión de datos de estabilidad: Áridos “Vargas”.

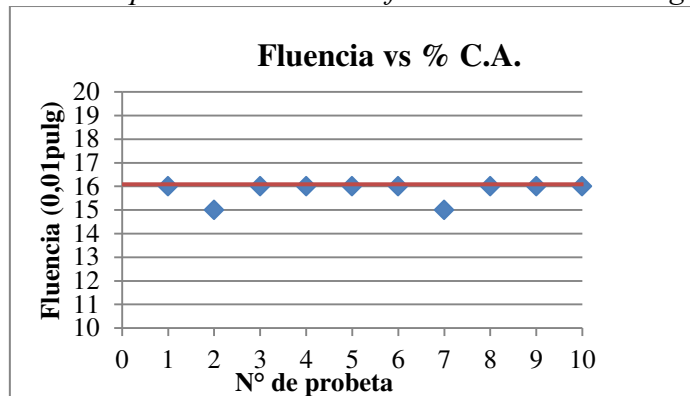


Fuente: Elaboración propia.

Los valores de estabilidad obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “Vargas” presentan valores mucho más altos que lo especificado logrando una estabilidad aceptable dado que en ninguno de los casos estos se aproximan al mínimos ya que se tiene un valor máximo de 2640,14 lb y un valor mínimo de 2421,04 lb, rango de valores que indican la funcionalidad de la

mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

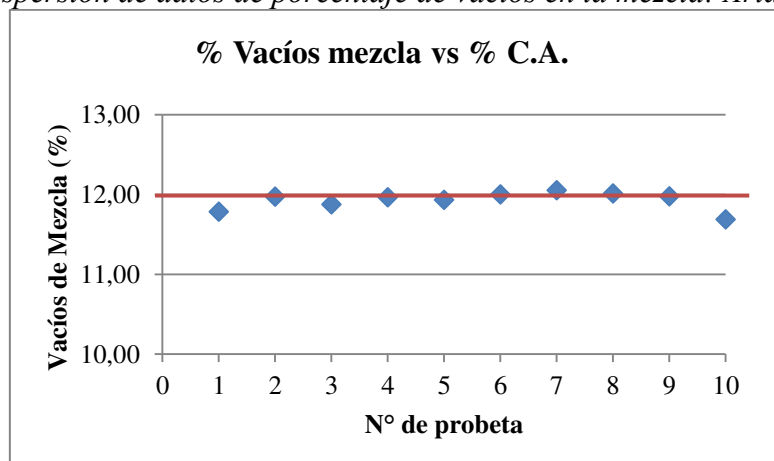
Fig. 4.89. *Dispersión de datos de fluencia: Áridos “Vargas”.*



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de fluencia obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “Vargas” presentan valores cercanos y dentro del límite máximo especificado logrando una fluencia aceptable dado que en ninguno de los casos estos sobrepasan el límite ya que se tiene un valor máximo de 16 centésimas de pulgada (0.01”) y un valor mínimo de 15 centésimas de pulgada (0.01”), rango de valores que indican la funcionalidad de la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

Fig. 4.90. *Dispersión de datos de porcentaje de vacíos en la mezcla: Áridos “Vargas”.*



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de porcentaje de vacíos en la mezcla obtenidos de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados de la planta trituradora Áridos “Vargas” presentan valores cercanos y dentro del límite máximo especificado logrando valores aceptables dado que en un solo caso se sobrepasa el límite con una mínima diferencia (12,05%), se tiene un valor máximo de 12,05 % y un valor mínimo de 11,69%, rango de valores que indican la funcionalidad de la mezcla asfáltica y por consiguiente la compatibilidad de sus componentes que podemos atribuirle a las cargas eléctricas opuestas de los mismos.

Para las demás propiedades se tienen valores con muy poca variación tales como:

La densidad real promedio es de 2,14 gr/cm³ y la densidad máxima teórica es de 2,43 gr/cm³; se observa una pequeña diferencia entre ambas del 11,93% que puede atribuirse al proceso de curado que deben tener los especímenes.

La relación vacíos-agregado mineral es de 22,11% lo que indica que la mezcla tiene más agregado que vacíos en su constitución.

La relación bitumen-vacíos promedio es de 46,06% indicando que en proporción se tiene aproximadamente la mitad de bitumen en relación a los vacíos.

Al tener cuatro diferentes bancos de agregados se puede observar las diferencias físicas y técnicas que poseen los agregados, siendo así que se tienen diferentes resultados en cada uno de los ensayos tanto de caracterización como de dosificación de mezclas, resaltando de esta manera que es importante realizar la caracterización para diferentes agregados y no asumir datos referenciales.

En las dosificaciones de mezclas se puede observar que mientras más discontinua sea la granulometría se requiere mayor cantidad de agregado grueso lo cual es bueno para la resistencia de la mezcla a las cargas que soporta, pero el inconveniente es que requiere mayor cantidad de agua de premezcla para lograr el cubrimiento del agregado con la emulsión y esto puede retardar el tiempo de curado, mientras que cuando se tiene una granulometría con mayor porcentaje de agregado fino se requiere menor cantidad de agua de premezcla lo que facilita el curado y se logra un rápido rompimiento de la emulsión.

En cuanto a las curvas granulométricas se puede observar que las que presentan mayor porcentaje de agregado fino son las que se ajustan mejor a la banda de especificaciones en este caso varían entre 80%, 65% y 48%.

No se empleó filler en las mezclas ya que se busca mezclas semidensas y se quiere observar el comportamiento directo entre emulsión y agregado.

Las alturas de los especímenes oscilan entre los 6,50 y 7,95 cm, alturas que pueden parecer elevadas pero se justifican ya que para mezclas en frío se aplica 50 golpes lo que permite una menor densidad de la mezcla y el espacio para que actúe la emulsión y se puede observar que conforme aumenta la altura, reduce el coeficiente de corrección de estabilidad lo que nos explica el porqué de tan elevadas estabilidades. Estas alturas en la mayoría de los casos es difícil lograr el mismo valor en todo el perímetro de las briquetas debido a que influyen factores externos en su preparación y compactado que pueden incluso hacer que se logre una superficie irregular en las caras compactadas.

También referente a las alturas de especímenes, se puede observar que las mezclas que contienen mayor porcentaje de agregado grueso tienden a tener mayores alturas y por lo tanto son más porosas, mientras que las que contienen más agregado fino tienen alturas más reducidas, esto se da debido a que se logra llenar los espacios intersticiales con el agregado fino.

Para todos los especímenes se observa que un porcentaje muy bajo de emulsión y uno muy alto reducen la calidad de la mezcla, con un bajo porcentaje de emulsión se logra menores fluencias, menor tiempo de curado, menores costos, pero se tiene poca estabilidad debido a que es insuficiente la cantidad para lograr una mezcla homogénea; por otro lado una alta cantidad de emulsión garantiza un mayor cubrimiento del agregado pero la mezcla fluye más, por lo tanto baja su estabilidad, aumenta el costo y demora más el tiempo de curado; para no tropezar con estos extremos es importante trabajar con el porcentaje óptimo de asfalto residual.

4.10. Análisis de precios unitarios

En las siguientes páginas se presentan las planillas de análisis de precios unitarios para las mezclas elaboradas; para tener un análisis comparativo se muestran cada una de las planillas por separado con sus correspondientes variaciones en función a los procedimientos realizados en el presente proyecto

Tabla 4.49. Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica en frío: Áridos "Garzón".

Análisis de precios unitarios: Áridos "Garzón"					
Actividad:	Carpeta asfáltica (E= 4 cm) c/ provisión de emulsión asfáltica			Unidad:	m2
Nº	Descripción	Und.	Cant.	P. Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
Materiales					
1	Emulsión asfáltica EMULTEC RC1C-E	kg	7,1790	6,00	43,07
2	Arena gruesa	m3	0,0239	95,00	2,27
3	Gravilla 3/8"	m3	0,0129	65,00	0,84
4	Diesel	lt	0,4532	3,00	1,36
Total materiales					47,54
Mano de obra					
1	Ayudante	hr	0,0166	14,71	0,24
2	Operador de equipo pesado	hr	0,0572	26,24	1,50
3	Obrero certificado	hr	0,0517	23,70	1,23
4	Obrero de planta	hr	0,0640	19,43	1,24
Subtotal mano de obra					4,21
Cargas Sociales 71 %					3,03
Impuesto al Valor Agregado 14,94%					1,08
Total mano de obra					8,33
Equipo, maquinaria y herramientas					32,84
1	Camión volqueta	hr	0,0238	190,00	4,52
2	Cargadora frontal	hr	0,0046	382,80	1,76
3	Planta asfaltadora	hr	0,0031	3905,15	12,11
4	Terminadora de asfalto	hr	0,0051	480,24	2,45
5	Tracto camión	hr	0,0036	352,23	1,27
6	Compactadora manual de placa	hr	0,0072	62,5	0,45
7	Carro imprimador	hr	0,0099	280,52	2,78
8	Compactadora neumática	hr	0,0162	264,48	4,28
9	Rodillo liso vibrocompactador	hr	0,014	230,5	3,23
Herramientas menores 5%					0,42
Total herramientas y equipo					33,26
Sub total					89,13
Gastos generales. y administrativos 11%					9,80
Utilidad 8 %					6,93
Parcial					105,86
Impuesto a las Transacciones 3,09%					3,27
Total precio unitario					109,13
Son: Ciento nueve 13/100 Bolivianos					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.50. Análisis de precios unitario de mezcla asfáltica en frío: Áridos "16 de enero"

Análisis de precios unitarios: Áridos "16 de enero"					
Actividad:	Carpeta asfáltica (E= 4 cm) c/ provisión de emulsión asfáltica			Unidad:	m2
Nº	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
Materiales					
1	Emulsión asfáltica EMULTEC RC1C-E	kg	7,5279	6,00	45,17
2	Arena gruesa	m3	0,0238	90,00	2,14
3	Gravilla 3/8"	m3	0,0128	65,00	0,83
4	Diesel	lt	0,4532	3,00	1,36
Total materiales					49,50
Mano de obra					
1	Ayudante	hr	0,0166	14,71	0,24
2	Operador de equipo pesado	hr	0,0572	26,24	1,50
3	Obrero certificado	hr	0,0517	23,70	1,23
4	Obrero de planta	hr	0,0640	19,43	1,24
Subtotal mano de obra					4,21
Cargas Sociales 71 %					3,03
Impuesto al Valor Agregado 14,94%					1,08
Total mano de obra					8,33
Equipo, maquinaria y herramientas					32,84
1	Camión volqueta	hr	0,0238	190,00	4,52
2	Cargadora frontal	hr	0,0046	382,80	1,76
3	Planta asfáltadora	hr	0,0031	3905,15	12,11
4	Terminadora de asfalto	hr	0,0051	480,24	2,45
5	Tracto camión	hr	0,0036	352,23	1,27
6	Compactadora manual de placa	hr	0,0072	62,5	0,45
7	Carro imprimador	hr	0,0099	280,52	2,78
8	Compactadora neumática	hr	0,0162	264,48	4,28
9	Rodillo liso vibrocompactador	hr	0,014	230,5	3,23
Herramientas menores 5%					0,42
Total herramientas y equipo					33,26
Sub total					91,10
Gastos generales. y administrativos 11%					10,02
Utilidad 8 %					7,08
Parcial					108,20
Impuesto a las Transacciones 3,09%					3,34
Total precio unitario					111,54
Son: Ciento once 54/100 Bolivianos					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.51. Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica en frío: Áridos Fernández".

Análisis de precios unitarios: Áridos "Fernández"					
Actividad:	Carpeta asfáltica (E= 4 cm) c/ provisión de emulsión asfáltica			Unidad:	m2
Nº	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
Materiales					
1	Emulsión asfáltica EMULTEC RC1C-E	kg	6,5901	6,00	39,54
2	Arena gruesa	m3	0,0155	90,00	1,40
3	Gravilla 3/8"	m3	0,0214	60,00	1,29
4	Diesel	lt	0,4532	3,00	1,36
Total materiales					43,58
Mano de obra					
1	Ayudante	hr	0,0166	14,71	0,24
2	Operador de equipo pesado	hr	0,0572	26,24	1,50
3	Obrero certificado	hr	0,0517	23,70	1,23
4	Obrero de planta	hr	0,0640	19,43	1,24
Subtotal mano de obra					4,21
Cargas Sociales 71 %					3,03
Impuesto al Valor Agregado 14,94%					1,08
Total mano de obra					8,33
Equipo, maquinaria y herramientas					32,84
1	Camión volqueta	hr	0,0238	190,00	4,52
2	Cargadora frontal	hr	0,0046	382,80	1,76
3	Planta asfaltadora	hr	0,0031	3905,15	12,11
4	Terminadora de asfalto	hr	0,0051	480,24	2,45
5	Tracto camión	hr	0,0036	352,23	1,27
6	Compactadora manual de placa	hr	0,0072	62,5	0,45
7	Carro imprimador	hr	0,0099	280,52	2,78
8	Compactadora neumática	hr	0,0162	264,48	4,28
9	Rodillo liso vibrocompactador	hr	0,014	230,5	3,23
Herramientas menores 5%					0,42
Total herramientas y equipo					33,26
Sub total					85,18
Gastos generales. y administrativos 11%					9,37
Utilidad 8 %					6,62
Parcial					101,16
Impuesto a las Transacciones 3,09%					3,13
Total precio unitario					104,29
Son: Ciento cuatro 29/100 Bolivianos					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.52. Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica en frío: Áridos "Vargas".

Análisis de precios unitarios: Áridos "Vargas"					
Actividad:	Carpeta asfáltica (E= 4 cm) c/ provisión de emulsión asfáltica			Unidad:	m2
N°	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
Materiales					
1	Emulsión asfáltica EMULTEC RC1C-E	kg	6,9989	6,00	41,99
2	Arena gruesa	m3	0,0295	100,00	2,95
3	Gravilla 3/8"	m3	0,0074	75,00	0,55
4	Diesel	lt	0,4532	3,00	1,36
Total materiales					46,86
Mano de obra					
1	Ayudante	hr	0,0166	14,71	0,24
2	Operador de equipo pesado	hr	0,0572	26,24	1,50
3	Obrero certificado	hr	0,0517	23,70	1,23
4	Obrero de planta	hr	0,0640	19,43	1,24
Subtotal mano de obra					4,21
Cargas Sociales 71 %					3,03
Impuesto al Valor Agregado 14,94%					1,08
Total mano de obra					8,33
Equipo, maquinaria y herramientas					32,84
1	Camión volqueta	hr	0,0238	190,00	4,52
2	Cargadora frontal	hr	0,0046	382,80	1,76
3	Planta asfaltadora	hr	0,0031	3905,15	12,11
4	Terminadora de asfalto	hr	0,0051	480,24	2,45
5	Tracto camión	hr	0,0036	352,23	1,27
6	Compactadora manual de placa	hr	0,0072	62,5	0,45
7	Carro imprimador	hr	0,0099	280,52	2,78
8	Compactadora neumática	hr	0,0162	264,48	4,28
9	Rodillo liso vibrocompactador	hr	0,014	230,5	3,23
Herramientas menores 5%					0,42
Total herramientas y equipo					33,26
Sub total					88,45
Gastos generales. y administrativos 11%					9,73
Utilidad 8 %					6,87
Parcial					105,05
Impuesto a las Transacciones 3,09%					3,25
Total precio unitario					108,30
Son: Ciento ocho 30/100 Bolivianos					

Fuente: Elaboración propia.

4.10.1. Análisis comparativo de costos

De las planillas de análisis de costos unitarios presentadas, el elemento que es objeto de análisis son los agregados, tomando en cuenta que los precios son datos actualizados recabados de cada una de las plantas trituradoras.

Si bien se puede observar la diferencia entre los precios que ofertan las plantas trituradoras, también se ve que esto no siempre implica que a menor costo del agregado, menor sea el precio unitario, debido a que influye de manera importante la cantidad de emulsión empleada.

Como cada banco de agregados tiene diferentes características técnicas de las cuales depende el porcentaje óptimo de asfalto residual entonces se tiene distintas cantidades de emulsión y agregados, llegando a ser la cantidad del conjunto de estos la que define los costos mayores y menores mostrados en las planillas.

La máxima diferencia registrada entre cada uno de los precios unitarios es del 6,49%, mientras que la mínima diferencia es de 0,76%.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se realizó una delimitación de la zona central de Cercado, exclusivamente para este proyecto; en base a la mancha urbana de la ciudad de Tarija, se vio la necesidad de realizar una pequeña ampliación en la parte noroeste para abarcar una planta trituradora muy próxima al límite de la mancha urbana indicada.
- Debido a la gran extensión de la mancha urbana se optó por abordar el estudio de agregados por distritos teniendo en cuenta la división de los trece distritos de la ciudad.
- Se definió un punto de estudio por distrito, dado que el estudio se realiza en zona urbana y no se encuentran agregados en cualquier punto de la ciudad, sino que aprovechando el método de muestreo casual elegido se escoge un punto donde existen áreas libres de pavimentación que contengan agregados para extraer y estudiarlos.
- Para complementar el estudio de los agregados adicionalmente al empleo del electroscopio se utilizó el electrómetro instrumento que indica de manera directa y digital la polaridad y el potencial “Z”.
- Al realizar el estudio de los agregados en zona urbana se observó la variación en tamaños de los agregados en los puntos elegidos, siendo necesario tomar en cuenta agregados muy pequeños en algunos puntos donde no se encuentran grandes cantidades de estos.
- Es importante tomar en cuenta que dentro de la zona central de Cercado delimitada para este proyecto, actualmente no está permitida la extracción de ningún tipo de áridos, según lo establecen las entidades a cargo de la protección de los ríos y su biósfera.
- Producto del estudio electrostático de los agregados dentro de la zona delimitada se obtuvo como resultados que todos los agregados tienen carga negativa, por lo tanto se realizó la zonificación de toda la zona central de Cercado como una zona que contiene agregados aniónicos.

- Se realizaron dos selecciones de plantas trituradoras; la primera para el estudio electrostático de los agregados, cuya selección recayó en las tres plantas trituradoras que se encuentran en la zona central de Cercado: Áridos “16 de enero”, Áridos “Garzón”, Áridos “San Blas”; la segunda para el diseño de mezclas asfálticas, cuya selección recayó en las plantas trituradoras: Áridos “16 de enero”, Áridos “Garzón”, Áridos “Fernández” y Áridos “Vargas”.
- También se realizó el estudio electrostático de los agregados producto de la trituración de las plantas trituradoras para verificar que la carga eléctrica y la polaridad dependen de la naturaleza y constitución de cada elemento. Este estudio arroja como resultado que de las tres plantas estudiadas el material triturado contiene carga eléctrica negativa.
- Conociendo la procedencia del agregado que procesa cada chancadora se acudió a los ríos de procedencia para estudiar agregados de canto rodado. Debido a la gran extensión de las áreas identificadas como zonas de extracción de agregados se aplicó el muestreo casual o accidental, lo que facilitó la reducción de la zona a los puntos accesibles seleccionados y combinado con un muestreo aleatorio dentro de cada punto se eligió al azar la cantidad de agregados requerida como muestra.
- Se definió el muestreo para poblaciones infinitas de agregado grueso natural por cada punto, ya que este se constituye en la materia prima que procesan las plantas trituradoras y más específicamente para mezclas asfálticas en frío, que en sus especificaciones establece el empleo de polvo de roca y gravilla triturada.
- Para el estudio de la carga eléctrica en los agregados fue necesario conocer a profundidad el tema de electrostática y principalmente el manejo del electroscopio y el electrómetro, que son los instrumentos que revisten mayor importancia dentro de este estudio, porque son los que nos proporcionan los valores para la determinación de la carga eléctrica y la polaridad de los agregados.
- Con el empleo del electroscopio y el electrómetro se realizaron los ensayos necesarios para el estudio de la carga eléctrica y la polaridad de los agregados cuyos resultados arrojaron la zonificación propuesta como objetivo del presente proyecto, resultando con polaridad negativa todos los agregados estudiados en cada uno de los puntos seleccionados como punto de estudio, consecuentemente también la zona en

la que se encuentran los mismos es representada por la carga negativa de los agregados que se presenta en los planos de zonificación.

- Se tomó en cuenta para el análisis de resultados la polaridad de los agregados ya que los demás valores son adicionales, dado que dentro de los ensayos de caracterización de una emulsión se requiere saber qué tipo de carga tiene y no así cuantificar la carga de la misma.
- El conjunto de ensayos de caracterización de los agregados definió los parámetros de dosificación y determinó si el agregado cumple con las especificaciones definidas. La curva granulométrica permitió la dosificación de materiales según como se ajuste a los límites máximos y mínimos. La normativa empleada presentó tolerancias que se pueden aplicar, por lo que en este caso se aplicaron para los cuatro bancos de agregados debido a que presentaban un desfase de las bandas establecidas.
- Dentro de los ensayos de caracterización de la emulsión asfáltica la prueba que exige mayor precisión y exactitud es el “Ensayo de la Carga de la Partícula” cuyo resultado arrojó una emulsión catiónica (con carga positiva) siendo esta la característica fundamental de la emulsión, que indica su afinidad con agregados aniónicos (con carga negativa). Sin dejar de lado los demás ensayos se destaca también la importancia de estos que deben cumplir con las especificaciones técnicas.
- El porcentaje inicial de emulsión asfáltica se definió en función a la granulometría que presenta cada banco de agregados, partiendo del valor obtenido inicialmente se determinaron incrementos del porcentaje de asfalto residual con el fin de determinar los valores óptimos de asfalto residual para cada banco de agregados.
- Las propiedades de los especímenes de prueba para determinar el porcentaje óptimo residual, mostraron un comportamiento diferente cada una de la otra, a través de sus curvas ajustadas, sin embargo se pudo observar la tendencia de ubicar el punto óptimo en uno intermedio entre el menor y el mayor valor de porcentaje de asfalto residual, en la mayoría de las gráficas, a excepción de la fluencia que es proporcional al incremento de asfalto residual. Lo que nos indica que ninguno de los extremos brinda las propiedades óptimas.
- Los ensayos realizados a especímenes que contienen el porcentaje óptimo de asfalto residual, presentaron una uniformidad o menor dispersión de los valores, llegando en

algunos casos como en el de las densidades a uniformizar sus resultados, teniendo el mismo valor como promedio de la serie de datos.

- El peso específico tanto de los agregados como de la emulsión asfáltica son los ensayos cuyos resultados van a definir la densidad máxima teórica de los especímenes de ensayo de mezclas asfálticas que se realizan, que suelen no coincidir con la densidad real, que se puede atribuir esta diferencia al proceso de curado por la que pasan las briquetas.
- En los valores de estabilidad registrados se presentan altas estabilidades para la totalidad de briquetas optimizadas, mientras que la fluencia y el porcentaje de vacíos tienden a acercarse al límite máximo, lo cual se acepta bajo el criterio de que se busca una mezcla semidensa que drene el agua con facilidad para evitar daños estructurales a la misma.
- El análisis de precios unitarios para cada uno de los bancos de agregados permite observar la diferencia entre cada una de las cuatro mezclas realizadas, presentando la mayor variación de precio de 6,49% entre el que arroja un precio más alto y el que da el precio más bajo. Para este análisis se tomó en cuenta que los precios sean actualizados para tener valores reales y de referencia.
- Se pudo observar las ventajas de optar por mezclas asfálticas en frío con emulsión, comenzando por la fácil trabajabilidad, las bondades que ofrece en cuanto a las propiedades técnicas, y es mucho más económica en relación a las mezclas asfálticas convencionales.
- Los principales indicadores de la compatibilidad de polaridades de carga entre agregado y emulsión, son el test de cubrimiento y adhesión, donde se pudo observar que en ninguno de los casos existe desprendimiento de emulsión con el agregado, por lo que esto llevó a la conclusión de que ambos componentes de la mezcla poseen polaridades de carga eléctrica opuestas, lo que genera su atracción y se ratifica de esta forma la presencia de carga negativa en los agregados estudiados.
- Todas las plantas trituradoras estudiadas son aplicables a proyectos con emulsiones asfálticas catiónicas, debido a que las cargas eléctricas son opuestas por lo tanto existe una correcta adhesión entre ambos elementos.

Recomendaciones

- Es necesario incentivar al empleo de emulsiones dentro del ámbito de la investigación y también constructivo, especialmente vial, ya que su empleo implica innovación y actualización como también reducción en costos y lo más importante; el empleo de emulsiones es una tecnología más amigable con el medio ambiente.
- Se recomienda seguir al pie de la letra las instrucciones y procedimientos establecidos en cada uno de los manuales elegidos para los ensayos, según normativa o especificaciones con las que se trabajará, para obtener resultados aceptables y para evitar cometer errores que pueden resultar no subsanables.
- Se debe tener el máximo cuidado a la hora de realizar los ensayos y manipular los equipos ya que estos pueden dañarse y algunos son de difícil reparación.
- Dados los resultados del presente proyecto referente a la polaridad de la carga eléctrica de los agregados se recomienda el empleo de emulsiones catiónicas en cualquier proyecto de aplicación que involucre la combinación de emulsiones asfálticas con agregados.
- Es importante conocer cada una de las características particulares de cada planta trituradora, ya que algunos datos pueden ayudarnos en la elección de un banco de agregados, como por ejemplo, saber cuál es el fin principal para el triturado que realizan ya que puede tener dimensiones no aplicables a un proyecto específico, incluso pasando el tamaño máximo nominal requerido.