

CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

“Caracterización de los áridos (grava y arena) de las canteras de mayor explotación en el Municipio de Caraparí”

I.1. INTRODUCCIÓN.

Según la Norma Boliviana Hormigón CBH-87 se define como: *“un material formado por la mezcla de cemento, áridos finos, y grueso y agua, producido por la hidratación de la pasta de cemento además de los componentes básicos, puede contener también aditivos y/o adiciones. Si el tamaño máximo del árido es de 4 mm o menos, el material resultante se llama generalmente mortero en lugar de hormigón”*.

Sólo mirando la historia se pueden entender las razones que cada pueblo ha tenido para adoptar por una u otra forma de construcción, ésto se hace más evidente cuando comprendemos que son más las razones de tipo social y cultural las que han definido cada una de esas formas, los materiales de construcción, con sus propiedades, y el desarrollo de las técnicas constructivas. Han condicionado las obras civiles y han hecho posible materializar las estructuras de edificación, sanitarias, hidráulicas, viales, y otras que permitan el confort y bienestar del ser humano.

Se debe añadir que entre otros factores son los agregados los que dan la resistencia al hormigón, y está particularmente sujeto a tener variaciones en sus propiedades y comportamiento. Es así como se realizaron diferentes diseños para cubrir diversas aplicaciones y necesidades bajo diferentes condiciones estructurales y ambientales.

El agregado ocupa un volumen de entre el 60% y el 75% del hormigón, (70% a 85% de la masa) es por ello que sus características tendrán un fuerte impacto en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido del mismo, así como en la durabilidad.

El uso de hormigones en el municipio de Caraparí, durante los últimos años, llegó a

generalizarse casi a todos los niveles económicos debido a la bonanza económica con que cuenta el municipio y esto conlleva a que se estén ejecutando muchos proyectos en los cuales no se tienen ninguna caracterización de los materiales que se usan para las dosificaciones de hormigones para esta región.

Como se puede apreciar el concreto o más comúnmente llamado hormigón es un material para la construcción que no ha perdido vigencia ni ha sido sustituido por otros materiales que tengan las mismas propiedades del mismo, siendo así el material de mayor uso en la construcción; esto, gracias a algunas características propias del hormigón, como ser, su composición con elementos abundantes en la naturaleza, la simplicidad de su ejecución, su fácil moldeo, la factibilidad que tiene de incorporar otros elementos con el objeto de mejorar algunas de sus propiedades, en su resistencia y durabilidad adecuadas a las necesarias de funcionamiento de cada estructura y por su relativo bajo costo.

Este proyecto de investigación estará compuesto por cuatro capítulos que abarcan todos los aspectos posibles, procedimiento de investigación de los depósitos de áridos, hasta la explotación y tratamiento. Estos capítulos se resumen a continuación:

El capítulo primero está enfocado netamente en la descripción del proyecto de investigación a encarar.

El capítulo segundo se refiere a la ubicación de las canteras, a las características y propiedades físicas y mecánicas que componen estos materiales. Se abordan en primer lugar las características que aportan a la composición de hormigones, textura, así como la homogeneidad y como condicionan la calidad del árido final para la elaboración de hormigones. La segunda parte de este capítulo se refiere a los conceptos de cada uno de estos componentes mencionados anteriormente los diferentes depósitos que se explotan, en el municipio.

El tercer capítulo atiende a la investigación de los yacimientos, sus fases de

extracción de los áridos y todos los ensayos de laboratorios necesarios para la caracterización de los mismos y cálculos requeridos para el objetivo trazado de dicho proyecto de investigación.

El proyecto de investigación será realizado en el municipio de Caraparí que se encuentra en el la segunda sección del Gran Chaco en el departamento de Tarija; en la actualidad este municipio cuenta con 19000 hab. y geográficamente colinda al norte con Villa montes, al este con Yacuiba, oeste provincia O'Connor, al sur con la Rep. de Argentina y al suroeste con la provincia Arce.

Dentro de este municipio se encuentran los mayores reservorios de gas de todo el país, que le permiten a este municipio que los recursos económicos por regalías sean montos económicos elevados destinados a ejecutar un sinnúmero de proyectos para el bienestar de sus habitantes y para su desarrollo.

I.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La falta de laboratorios en el municipio por un lado y el elevado costo por otro, limita considerablemente la realización de investigaciones tendientes a lograr un mayor conocimiento de las características de los agregados existentes en el municipio de Caraparí, así como la influencia que tienen cada uno de ellos en la obtención de mejores rendimientos y resistencias para la elaboración de hormigones con materiales regionales del municipio.

Esta carencia conlleva a muchos profesionales del rubro a que tengan que asumir datos estandarizados en la elaboración de los estudios para cada uno de los proyectos y donde el hormigón interviene en cada uno de ellos; en muchos de estos proyectos para la obtención de los datos asumidos para la elaboración de hormigones se usan propiedades físicas y mecánicas estandarizadas; por lo que en el momento de la aplicación, de estos áridos utilizados no se encuentran las mismas propiedades asumidas.

En muchas ocasiones por la falta del conocimiento de las propiedades de los agregados, se usan de aditivos para la mejora de dichas propiedades, pero se debe evitar uso de agregados inapropiados a través de un buen control de los siguientes aspectos:

- Control de la granulometría más recomendada de los áridos, como la eliminación de otros materiales que no tienen las mismas propiedades que los áridos.
- La eliminación en lo posible de limos y arcillas en los áridos.
- Procedencia de cada uno de los componentes del hormigón.
- Temperaturas cuando se está realizando el hormigonado.

I.3. OBJETIVOS.

I.4.1. Objetivo General.

Determinar si los áridos empleados en la elaboración de hormigones en el municipio cumplen con las propiedades físicas y mecánicas requeridas, mediante la caracterización (grava y arena) de los bancos de materiales que son más utilizados en el municipio de Caraparí de la segunda sección del Gran Chaco.

I.4.2. Objetivos Específicos.

- Caracterizar los áridos (arena y grava) más utilizados en el municipio. Esta caracterización consiste en un estudio y determinación (en laboratorio) de las propiedades más importantes de los áridos en relación con la dosificación de hormigones.
- Brindar a la comunidad técnica regional un instrumento con bases tecnológicas y científicas para ser usado en los proyectos y ejecución de obras en las que interviene el hormigón.
- Empleo del método de dosificación American Concrete Institute (ASI) que es el usado para la dosificación de hormigones en esta región.

- Determinar cuál de los yacimientos de extracción en el municipio tienen las mejores propiedades físicas y mecánicas necesarias para la elaboración de hormigones normales de sus áridos.
- Establecer cuál de las canteras nos proporciona mayores resistencias a compresión con la rotura de probetas.

I.4. JUSTIFICACIÓN.

- El municipio de Caraparí se encuentra en plena ejecución de una gran cantidad de proyectos debido al crecimiento poblacional y económico lo que conlleva a que se tengan mayores requerimientos por su desarrollo. Todos estos aspectos desencadenan en una demanda de obras civiles, las mismas que para su ejecución los áridos son indispensables hoy en día.
- La falta de datos e información sobre la explotación de áridos y trabajos relacionados para poder comparar y a la vez certificar si los áridos a emplear de cada una de las canteras cumplen las especificaciones técnicas exigidas en proyecto.
- En la mayoría de las empresas constructoras emplean los áridos como se los extrae de los bancos, los mismos que en su mayoría están contaminados con arcillas y limos especialmente las arenas.
- Se profundizarán los conocimientos adquiridos en la elaboración de hormigones, tanto en la obtención de sus propiedades físicas y mecánicas de los áridos y sus dosificaciones.
- Presentar a la sociedad interesada en el área una caracterización de los áridos de las canteras de mayor explotación en la región de Caraparí para que se puedan tener como base y respaldo a la vez en la elaboración de futuros proyectos en base a los resultados obtenidos en la presente investigación.

I.5. VARIABLES.

- Propiedad de los agregados .- Granulometría, densidad, absorción, humedad y

pesos unitarios.

- Dosificación y resistencia de áridos de los bancos seleccionados.
- Cemento.- En el mercado local (Tarija) la disponibilidad de cementos se reduce a los siguientes: cemento el puente, cemento francesa y otros cementos de procedencia argentina.
- Áridos.- Los áridos se los divide en dos: en áridos finos (arena) a partículas de dimensiones reducidas, abarca nominalmente entre 0,075 mm a 4,74 mm. y árido grueso (grava) al material cuya porción de un agregado que es retenida por el tamiz (N°4). Estos áridos pueden ser obtenidos en canto rodado o por el fraccionamiento de áridos de mayor tamaño a los indicados anteriormente.
- Agua.- Es un elemento fundamental en la elaboración del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y las propiedades del concreto endurecido; porque se tiene que tomar muy en cuenta en la calidad. El agua de mezclado forma aproximadamente el 15% del volumen total del concreto donde el 5% sirve para hidratar el cemento y el 10% restante lubrica al concreto y luego se evapora durante el proceso de fraguado.

I.6. ALCANCE.

Para poder realizar el análisis propuesto en el proyecto, se sientan las bases teóricas sobre los hormigones en general y también de cada uno de sus componentes, para dejar en claro cuáles son las principales características y propiedades que éstos poseen.

Se proyecta aplicar y realizar todos los ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales que integran la mezcla del hormigón convencional para luego tabular todos estos resultados en planillas normalizadas, determinando el comportamiento de las resistencias.

Proporcionar un material útil con resultados necesarios y confiables a todas las personas involucradas en el empleo de los áridos de las bancos con mayor

explotación en el municipio.

Identificar las canteras que proporcionen mejores resultados en la elaboración de hormigones, sin elevar los costos para la obtención de resistencias requeridas de los proyectos.

Este trabajo de investigación estará limitado solamente a la caracterización de las propiedades físicas de los áridos (grava y arena) y a la obtención de las resistencias de cada una de las canteras seleccionadas de mayor explotación en base a la elaboración de hormigones.

CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA

II.1. ANTECEDENTES.

- La extracción de materiales pétreos para la construcción es importante en cualquier lugar del mundo, ya que de esta actividad depende el buen desarrollo de las obras de infraestructura que impulsan el crecimiento de un país.
Las canteras son la fuente principal de materiales pétreos, los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción de obras civiles, estructuras, vías, presas y embalses, entre otros. Por ser materia prima en la ejecución de estas obras, su valor económico representa un factor significativo en el costo total de cualquier proyecto.
- Las canteras de formación de aluvión, llamadas también canteras fluviales, en las cuales los ríos como agentes naturales de erosión, transportan durante grandes recorridos las rocas aprovechando su energía cinética para depositarlas en zonas de menor potencialidad formando grandes depósitos de estos materiales entre los cuales se encuentran, desde cantos rodados y gravas hasta arena, limos y arcillas; la dinámica propia de las corrientes de agua permite que aparentemente estas canteras tengan ciclos de autoabastecimiento, lo cual implica una explotación económica, pero de gran afectación a los cuerpos de agua y a su dinámica natural.
- En las canteras de río, los materiales granulares que se encuentran son muy competentes en obras civiles, debido a que el continuo paso y transporte del agua desgasta los materiales quedando al final aquéllos que tiene mayor dureza y además con características geométricas típicas como sus aristas redondeadas.
- El municipio de Caraparí no cuenta con un trabajo relacionado con la caracterización de los áridos.

II.2. EL HORMIGÓN.

El hormigón es un material que llega a la obra en forma plástica, pudiendo ser moldeado prácticamente de cualquier forma en obra. Presenta una gran variedad de texturas y colores se utiliza para construir muchos tipos de estructuras, puentes, túneles, presas, canales, pistas de aterrizaje, pavimentos de calles grandes edificaciones; en todo lo que a construcción se refiere.

El hormigón está conformado por la mezcla de ciertas proporciones de aglomerantes y agregados y opcionalmente de aditivos, que le darán ciertas características al hormigón en función a sus propiedades. En consecuencia, no sólo se deben conocer las características del producto resultante, sino de los materiales que lo componen.

El hormigón se diseña para que tenga unas características definidas en dos estados fundamentales: fresco y endurecido.

II.2.1 Hormigón fresco.

El hormigón fresco es el producto inmediato del amasado de sus componentes. Desde el primer momento, se están produciendo en su masa reacciones químicas que condicionan sus características finales como material endurecido. Reacciones que se prolongan sustancialmente hasta un años después de su amasado. El hormigón fresco es una masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que se distribuyen en igual proporción si está bien amasado.

- **La trabajabilidad:** La trabajabilidad de una mezcla de hormigón acabada de mezclar se puede definir como la facilidad con las cuales se puede mezclar, colocar, compactar y acabar con una pérdida mínima de homogeneidad. Ésta, depende las proporciones y características físicas de los ingredientes como se explica más adelante, de las condiciones de puesta en obra, de la geometría del elemento y del espaciamiento y tamaño del refuerzo.

Una muestra puede considerarse trabajable en algunas condiciones y no serlo en otras. Por ejemplo el hormigón que tiene trabajabilidad satisfactoria para una losa de un pavimento sería difícil de vaciar en una columna fuertemente

reforzada, por tratarse de un hormigón seco y de un tamaño máximo de agregado que no se deslizaría con facilidad a través del refuerzo de la columna lo que ocasiona la formación de vacíos

La consistencia o fluidez del hormigón es un componente importante de la trabajabilidad. Esta se mide por medio de las siguientes pruebas: El cono de Abrams para hormigones de consistencia fluida y seca. Los efectos de sus componentes son los siguientes:

- **Cemento:** La trabajabilidad de la mezcla del hormigón depende de la cantidad de cemento, de la finura de éste u su composición química. Las mezclas muy pobres en cemento resultan propensas a ser ásperas y tener una mala trabajabilidad. En general, si los demás se mantienen igual, la trabajabilidad aumenta conforme aumenta la finura del cemento. Sin embargo, las mezclas ricas en cemento pueden ser demasiado cohesivas.
- **Agregados:** La gradación y forma de los agregados finos y gruesos y el tamaño máximo del agregado grueso tiene efectos importantes sobre la trabajabilidad. Tanto los agregados finos como los gruesos deben graduarse uniformemente, desde fino hasta grueso, y no deben tener una cantidad excesiva de cualquier fracción de un tamaño, lo que tendería a causar la interferencia de las partículas y daría por resultado una mala trabajabilidad. Las gradaciones con discontinuidades, en las que se han eliminado una o más de las fracciones intermedias de tamaños deben verificarse en las condiciones de la obra, antes de su adopción.

Las arenas naturales con granos redondeados producen hormigones más trabajables que las arenas trituradas formadas por trozos angulares, planos o alargados. Estos últimos tipos suelen tener un elevado porcentaje de vacíos y pueden causar una exudación excesiva del hormigón. Los agregados triturados en forma cúbica, si se gradúan y combinan adecuadamente con la cantidad apropiada de mortero trabajable, producirán un hormigón trabajable. Los trozos planos en forma de disco y las partículas largas delgadas y semejantes a cuñas son objetables porque no pueden compactarse con facilidad y apretadamente.

- **Homogeneidad:** Es la cualidad de distribución por toda la masa de todos los componentes del hormigón en las mismas proporciones. Que depende de las características físicas de los ingredientes como, de las condiciones de puesta en obra, de la geometría del elemento y del espaciamiento y tamaño del refuerzo.

II.2.2. Hormigón endurecido.

El carácter de hormigón endurecido lo adquiere el hormigón a partir del final de fraguado. El hormigón endurecido se compone del árido, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y las red de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo). Las propiedades del hormigón endurecido son:

- **La densidad:** Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado. Para un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre 2300- 2500 kg/m³. En caso de utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre 1000-1300 kg/m³. Y en caso de utilizarse áridos pesado la densidad oscila entre 3000-3500 kg/m³.
- **Compacidad:** Es la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten. Un hormigón de alta compacidad es la mejor protección contra el acceso de sustancias perjudiciales.
- **Permeabilidad:** Es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases. El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento en el hormigón (a/c). Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad y por tanto más expuesto el hormigón a potenciales agresiones.
- **Resistencia:** El hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión que lo convierte en el importante material que es. Se mide en Mpa (Mega pascales)

y llegan hasta 50 Mpa en hormigones normales y 100 Mpa. En hormigones de alta resistencia. La resistencia a tracción es mucho más pequeña pero tiene gran importancia en determinadas aplicaciones. La resistencia a desgaste, de gran interés en los pavimentos se consigue utilizando áridos muy resistentes y relaciones agua cemento muy bajas.

- **Dureza:** Es una propiedad superficial que en el hormigón se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación. Un método de medirla es con el índice de rebote que proporciona el esclerómetro Smichtd.
- **Retracción:** Es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar. Es el agua menos fijada en los procesos de hidratación. Además en el hormigón endurecido está presente el agua en distintos estados.

II.3. MATERIALES.

II.3.1. Cemento.

Se denomina cemento a la sustancia aglomerante que combinado con los agregados forman la pasta de hormigón o morteros, en nuestra región los cementos comunes más usados tenemos:

-Cemento Hidráulico.-Cemento que fragua y endurece por la interacción química con el agua, tanto en el aire como bajo el agua, a causa de las reacciones de hidratación de sus constituyentes.

-Cemento Portland.- Cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker Portland, usualmente en combinaciones con sulfato de calcio.

Las propiedades del cemento portland se muestra en la tabla N° 1 del anexo A.2.

II.3.2. Agregados.

Llamados también áridos, son materiales inertes provenientes de la desintegración natural o mecánica de las rocas que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal) y el agua para formar los concretos y morteros.

La importancia de los agregados radica en que constituyen entre el 60 y 80% del volumen del hormigón.

La calidad de los agregados debe cumplir ciertas reglas para darles un uso óptimo, deben consistir en partículas durables, limpias, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.

II.3.2.1 Clasificación de los agregados para el hormigón.

La gran variedad de material granular que se incorpora en el hormigón hace que sea muy difícil la expresión de una definición por completo satisfactoria de agregado.

Por lo que se dan varias definiciones según tres clasificaciones: por su procedencia, por su tamaño y por gravedad específica.

➤ POR SU PROCEDENCIA.

- **Agregados naturales.**- Formados por procesos geológicos.
- **Agregados artificiales.**- Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos agregados artificiales son productos secundarios.
- Algunos de estos agregados son los que constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra triturada, etc.

- **Piedra siderúrgica.**- Residuo mineral no metálico, que consta en esencia de silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, y que se produce simultáneamente con la obtención de hierro.
- **Piedra triturada.**- Producto que resulta de la trituración artificial de rocas, piedra voleado pedruscos grandes, del cual todas las caras poseen aristas bien definidas, resultado de la operación de trituración.

➤ **POR SU TAMAÑO.**

Agregado grueso.- Agregado retenido de modo predominante por el tamiz No 4 (de 4.75mm).

El agregado grueso utilizado en nuestro medio es denominado “grava”, que resulta de la desintegración y abrasión natural de las rocas o procede de la trituración de éstas.

Agregado fino.- Agregado que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ in (9,5mm) y pasa casi en su totalidad por el tamiz No 4 (4,75mm) y es retenido predominante por el tamiz No 200(0,075mm).

El agregado fino utilizado en nuestro medio es denominado “arena”, que resulta de la desintegración y abrasión natural de las rocas o procede de la trituración de éstas.

➤ **POR SU GRAVEDAD ESPECÍFICA.**

La gravedad específica se clasifica de la siguiente manera:

- **Ligeros**, $G_s < 2.5$. Los agregados ligeros, como la arcilla esquistosa y la expandida, la escoria expandida, la Vermiculita, la Perlita, la Piedra Pómez y las Cenizas, se utilizan para producir hormigón aislante, para unidades de mampostería o estructural ligero que pesa entre 400 y 2000 kg/m^3 .
- **Normales**, $2.5 < G_s < 2.75$. Los materiales principales que se usan en el hormigón de peso normal, por lo común de 2300 a 2500 kg/m^3 , incluyen las arenas y gravas, roca triturada y escoria siderúrgica.

Las rocas trituradas de uso más común son el Granito, Basalto, Arenisca, Piedra Caliza y Cuarcita.

- **Pesados**, Gs > 2.75. Los agregados pesados, como la Magnetita, la Barita o el Hierro de desecho, se usan para producir hormigón de 2900 a 3500 kg/m³, utilizado para blindaje contra la radiación

Tabla II-1 Propiedades Físicas de los Tipos Principales de Rocas

Tipo De Roca	Gravedad específica	Absorción * %	Prueba de abrasión Los Angeles %
Igneas			
Granito	2.65	0.3	38
Sienita	2.74	0.4	24
Diorita	2.9	0.3	-
Gabro	2.96	0.3	18
Peridotita	3.31	0.3	-
Felsita	2.66	0.8	18
Basalto	2.86	0.5	14
Diabasa	2.96	0.3	18
Sedimentarias			
Piedra caliza	2.66	0.9	26
Dolomita	2.7	1.1	25
Arcilla esquistosa	1.8 - 2.5	-	-
Arenisca Chert	2.54	1.8	38
Conglomerado	2.5	1.6	26
Brecha	2.68	1.2	-
	2.57	1.8	-
Metamórficas			
Gneis	2.74	0.3	45
Esquisto	2.85	0.4	38
Anfibolita	3.02	0.4	35
Pizarra	2.74	0.5	20
Cuarcita	2.69	0.3	28
Mármol	2.63	0.2	47
Serpentina	2.62	0.9	19

Fuente: Referencia 5

II.3.2.2 Características de los agregados.

Si los agregados se consideran limpios si están exentos de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos. Un agregado es físicamente sano si conserva su integridad bajo cambios de temperatura o humedad y se resiste la acción de la intemperie sin descomponerse.

➤ **TEXTURA SUPERFICIAL.**

La textura superficial de los agregados afecta la calidad del hormigón en su estado fresco y tiene gran influencia en las resistencias, repercutiendo más en la resistencia a al flexo tracción que a la compresión.

Mientras mayor sea la rugosidad superficial de los agregados mayor es la superficie de contacto con la pasta de cemento; haciendo necesaria la utilización de mayor contenido de pasta para lograr la trabajabilidad deseada, pero favorece la adherencia pasta-agregado y así mejora la resistencias. Lo que es característico de los agregados triturados.

➤ **FORMA DEL AGREGADO.**

La forma del agregado tiene una gran influencia en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, particularmente en lo que hace la docilidad y resistencias mecánicas respectivamente. Un agregado grueso con muchos ángulos, que presentara un mayor número de vacíos, exigirá una mayor cantidad de arena para dar lugar a un hormigón trabajable pero tendrá una mejor trabazón.

Inversamente, el agregado grueso bien redondeado que tiende hacia las partículas esféricas requiere menos arena y tendrá mayor trabajabilidad, pero tendrá una menor trabazón.

➤ **RESISTENCIA ESTRUCTURAL.**

Para que un agregado pueda considerarse de resistencia adecuada, debe sobrepasar la resistencia propia del aglomerante (cemento).

A pesar de la aparente relación obvia entre la resistencia del hormigón y la del agregado, al menos en los casos extremos, otros factores, como la forma de la partícula, textura superficial y gradación, se conjugan contra la evaluación precisa de la contribución de la resistencia estructural del propio agregado. Por eso no se ha podido hacer perdiciones de la calidad del hormigón con relación a la resistencia de los agregados.

Se considera que las arenas provenientes de río son las de mejores características puesto que, en su mayoría son de cuarzo.

Si se trata de arena proveniente de machaqueo o chancadas se las puede considerar de buena calidad siempre y cuando provengan de una buena fuente.

➤ **GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (AST C127 Y AST C128)**

- **La gravedad específica:** La relación entre la densidad del agregado y la del agua (1000 kg/cm^3). Sin embargo, todos los agregados son porosos hasta cierto punto, lo que permite la entrada de agua en los espacios de los poros o capilares cuando se colocan en la mezcla de hormigón, o bien ya están húmedos cuando entran al hormigón. Por lo tanto, la definición cuidadosa de la gravedad específica debe tomar en cuenta tanto el peso como el volumen de la porción de agua contenida dentro de las partículas.
- **La absorción:** Se define como el incremento de peso de un árido poroso seco, hasta lograr su condición de saturación con la superficie seca, debido a la penetración de agua a sus poros permeables.

➤ **VACÍOS**

La cantidad de compactación la forma, textura superficial y la gradación del agregado influyen de una manera muy importante sobre la cantidad de vacíos. Un agregado bien graduado es aquél que contiene cantidades apropiadas de las partículas progresivamente más finas para llenar las aberturas entre los tamaños mayores y, de este modo reducir el contenido de vacíos.

➤ **MÓDULO DE FINURA (M.F).**

El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar y dividiendo la suma entre 100.

Cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua en consecuencia, en la trabajabilidad del hormigón, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el aglomerante para conservar la resistencia del hormigón.

Para no tener que recalcular la dosificación del hormigón el módulo de finura del agregado fino, entre envíos sucesivos, no debe variar en más de ± 0.2 .

Los tamices especificados que deben usarse en la determinación del módulo de finura son:

Nº 100, Nº 50, Nº 30, Nº 16, Nº 8, Nº 4, $\frac{3}{8}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $1\frac{1}{2}$ ", 3" Y 6".

➤ **CURVAS GRANULOMÉTRICAS.**

Una vez terminado el tamizado del árido se graficará en papel semilogarítmico el porcentaje que pasa por cada tamiz vs. las aberturas de los tamices en mm.

En general, las normas establecen límites de acuerdo al tamaño nominal del agregado entre los cuales se deben encontrar las curvas granulométricas, para considerar el árido como adecuado para preparar el hormigón.

La definición de tamaño de máximo se vuelve importante al seleccionar proporciones para el hormigón que resulten coherentes con los requisitos de agua para la mezcla, dimensiones del encofrado y apasionamiento entre los aceros de refuerzo.

II.4. DOSIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.

La dosificación de agregados tiene como objetivo lograr una mezcla de agregados cuya gradación se encuentre dentro de los límites recomendados en una especificación determinada, lo más aconsejable es realizar las curvas granulométricas como primer paso de todos los agregados involucrados o los que se pretenden usar en la mezcla,

Los métodos de dosificación conocidos en nuestro medio podemos mencionar los siguientes: método (A.C. I.), método O'REILLY y el método de dosificación de agregados normados por curvas empíricas (DIN 1045).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

III.1. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.

Para desarrollar el proyecto se necesita una base de información sólida así que haciendo investigaciones y consultando bibliografías referidas al tema de investigaciones desarrolladas en otros lugares se formulan las siguientes hipótesis:

- Todas las canteras más explotadas en el municipio serán las que tengan los mejores resultados en las resistencias de sus hormigones.
- Con este proyecto de investigación, se validará si los materiales que se emplean en la elaboración de hormigones en los proyectos que ejecuta el municipio son los recomendados .
- Las propiedades de los áridos de todas las canteras cumplirán con los requerimientos mínimos para la elaboración de hormigones estructurales.
- La elaboración de hormigones con materiales extraídos de los bancos como se los emplea en la actualidad en las obras sin ninguna mejora en sus granulometrías se obtendrán los resultados esperados.
- La cantera que tenga menor cantidad de arrastre de arcillas y limos será las más costosas en la obtención de áridos para la construcción.
- Los áridos con mayor contaminación de piedras pizarras de color rojizo no tendrán buenas propiedades físicas y mecánicas, de tal manera que se vean afectadas a la hora de la obtención de buenos resultados en sus resistencias.
- Los áridos que tengan una mejor granulometría será la cuenca que nos den las mejores resistencias.

III.2. ASPECTO METODOLÓGICO.

El tipo de investigación a emplear será descriptivo y explicativo debido a que se debe describir los componentes y materiales intervinientes en la investigación, y explicativo porque se tiene que obtener resultados diferentes con los mismos componentes.

El método a emplear en la investigación será de análisis y síntesis.

Las fuentes y técnicas para la recopilación de la información por fuentes primarias por medio de textos, trabajos similares, documentos, personas que tienen afinidad al presente trabajo, basándonos en las normas vigentes en nuestro medio.

III.3. ELECCIÓN DE LAS CANTERAS.

Para la selección de las canteras para la caracterización se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- La accesibilidad a cada una de los bancos de extracción.
- La demanda de áridos en cada una de los sectores de mayor densidad poblacional que cuenten con un banco de explotación.
- La cantidad de material a ser explotado en cada una de las cuencas.
- El costo económico en la extracción y transporte.

Las mismas son las siguientes: Boyuy, Zapatera Centro, Chirimoyal Fuerte Viejo y Santa Rosa Sur.

III.4. CARACTERIZACIÓN U OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.

A continuación, se detallan todos los ensayos a realizar en los agregados y la metodología a ser empleada de los mismos en base al Manual de Ensayos de Suelos y Materiales para Hormigones.

III.4.1. Ensayo para Determinar la Granulometría de los Agregados (ASTM C 136 AASHTO T27)

Este método de ensayo establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría, para la observación en la distribución porcentual en masa en los distintos tamaños de las partículas del cual están constituidos los áridos grueso y como también del fino.

Equipos necesarios para realizar el ensayo.

Balanza.- Debe de tener una capacidad superior a la masa de la muestra es el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

Tamices.- Son tejidos de alambre con marcos circulares con aberturas cuadradas; en la presente tabla se presentan sus tamaños nominales normados por la IBNORCA.

Tabla N° 1: Tamaño nominales de abertura para la granulometría de los agregados.

Los tamices deben ser metálicos, suficientemente rígidos y firmes para el ajuste de las telas de alambre, a fin de evitar las pérdidas de material durante el tamizado e alteraciones en la abertura de la malla. Deben ser cilíndricos con diámetros de 200 mm y 300 mm preferentemente para áridos gruesos.

Cada juego de tamices debe contar con un depósito y una tapa que se ajusten perfectamente, para la retención del residuo fino y también para evitar la pérdida de material en el ensayo.

Tabla III 1: Tamaños nominales de abertura para la granulometría del agregado

TAMICES NOMINALES DE ABERTURA																
Mm.	75	63	50	38	25	19	12,5	9,5	7	4,75	2	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
ASTM	3"	2½"	2"	1½"	1"	¾"	⅝"	¼"	Nº4	Nº8	Nº10	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100	Nº200

Fuente: Referencia 2

Horno.- Tiene que estar provisto de aire a ser regulable de temperatura para las diferentes condiciones del ensayo.

Herramientas y accesorios.- En este ensayo se utilizarán brochas, recipientes para el secado y recipientes para el pesaje.

Procedimiento del ensayo.

- Se toma un tamaño de masa mínimo del material, por medio de un cuarteo previo de acuerdo a las tablas 2 y 3 donde se indican las cantidades aproximadas requeridas para el análisis granulométrico en función del tamaño máximo.

Tabla III 2: Tamaño de la muestra para granulometrías de agregados finos

Tamiz	% Retenido	Masa mínima de la muestra(g)
4,75 mm.	≤ 5%	500
2,36 mm.	≤ 5%	100

Fuente: Referencia 2

Tabla III 3: Tamaño de la muestra para granulometrías de agregados gruesos

Absoluto tamaño máximo Da (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
75	32
63	25
58	20
37,5	16
25	1
19	8
12,5	5
3,5	4

Fuente: Referencia 2

- Se coloca la muestra en el juego de tamices que se detalla en Tabla III-1
- El tamizado debe ser realizado de manera mecánica o manual.
- Luego de determinar la masa del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por cada tamiz de menor abertura hasta la última abertura para cada una de las combinaciones que será como la base.
- Registrar la masa del retenido en cada tamiz con la mayor aproximación entre 1g y 0,1% de la pesada.

Cálculos:

Para la realización de los cálculos del ensayo se lo realizará los siguientes pasos:

- Sumar y registrar la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en la malla de menor diámetro de la combinación. Se sacará la

diferencia entre la muestra total con la toda la muestra que pase en la malla de menor diámetro de la combinación para el árido grueso.

- Calcular el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, con referencia a la masa total de las fracciones retenidas, aproximadamente al 1%.
- Expresar la granulometría como porcentaje acumulado que pasa, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado, el del tamiz del diámetro de la combinación asiendo que el porcentaje sea el 0%.
- Adicionalmente la granulometría se puede expresar como porcentaje parcial retenido.

➤ **Módulo de finura (M.F).**

El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar y dividiendo la suma entre 100.

Cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua en consecuencia, en la trabajabilidad del hormigón, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el aglomerante para conservar la resistencia del hormigón.

Los tamices especificados que deben usarse en la determinación del módulo de finura son:

Nº 100, Nº 50, Nº 30, Nº 16, Nº 8, Nº 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" Y 6"

Y el módulo de finura será determinado con la siguiente fórmula:

$$M.F. = \frac{\sum Ret. acum. (6''+3'' + 1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100 \dots E - 1}{100}$$

➤ **Curvas granulométricas:**

Una vez terminado el tamizado del árido se graficará en papel semilogarítmico el porcentaje que pasa por cada tamiz vs las aberturas.

En general las normas establecen límites de acuerdo al tamaño nominal del agregado entre los cuales se deben encontrar las curvas granulométricas, para considerar el árido como adecuado para preparar el hormigón.

La definición de tamaño de máximo se vuelve importante al seleccionar proporciones para el hormigón que resulten coherentes con los requisitos de agua para la mezcla, dimensiones del encofrado y apasionamiento entre los aceros de refuerzo,

Este método de ensayo establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría, para la observación en la distribución porcentual en masa en los distintos tamaños de las partículas del cual están constituidos los áridos grueso y como también del fino.

Agregado grueso: Para la granulometría de la grava se la realizó para la muestra extraída, lavada del banco y luego se realizó el tamizado.

Tabla III-4: Tamaños nominales de abertura para la granulometría del agregado grueso.

Tamices nominales de abertura	
Mm.	ASTM
37,5	1½"
25	1"
19	¾"
12,5	⅜"
9,5	¼"
6,9	Nº4
4,75	Nº8

Fuente: Referencia 2

El ensayo de la granulometría realizado en el agregado grueso muestra una curva uniforme que se ajustan a los límites propuestos por la norma ASTM, cumpliendo así los requisitos mínimos de gradación del agregado para el uso en la elaboración de hormigones.

III.4.2 Ensayo para determinar el peso unitario o peso específico aparente (ASTM E30 ASTM C 29):

Este método de ensayo establece los procedimientos para determinar el peso específico de los áridos.

Balanza.- Debe de tener una capacidad superior a la masa de medida llena con un árido de peso específico aparente de $2,00 \text{ Kg /m}^3$ y una precisión de 0,1 g.

Horno.- Tiene que estar provisto de aire y ser regulable de temperatura para las diferentes condiciones de los ensayos.

Varilla de pisón.- Barra cilíndrica de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16 mm de diámetro.

Medidas.- Metálicas, impermeables y provistas de dos asas. Su forma interior debe ser un cilindro recto abierto por una de sus caras planas y rectificado para asegurar sus dimensiones.

Dimensiones.- Las dimensiones son las que se indican en la siguiente tabla que se podrán emplear para áridos de tamaño máximo nominal igual o inferiores a los señalados en la primera columna.

Tabla III 5: Dimensiones de las medidas de los cilindros para la realización del ensayo “determinación del peso unitario”

Tamaño Máximo Nominal de áridos (mm)	Compacidad Volumétrica		Diámetro Interior (mm)	Altura Interior (mm)	Espesor mínimo del metal	
	m ³	l			Base (mm)	Altura (mm)
16	0,003	3	155 ± 2	160 ± 2	5	2,5
25	0,010	10	205 ± 2	305 ± 2	5	2,5
50	0,015	15	255 ± 2	295 ± 2	5	3,0
100	0,030	30	355 ± 2	305 ± 2	5	3,0

Fuente: Referencia 2

Herramientas y accesorios.- Palas brochas, caja para el secado, necesarios para los procedimientos establecidos en el presente método.

Procedimiento del ensayo:

Determinación del peso específico aparente compactado.-

- Llenar la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa en exceso de áridos por sobre el borde de la medida.
- Emparejar cada capa y compactar mediante 25 golpes con el pisón uniformemente repartidos en toda la capa de compactación, se debe de tener en cuenta con la compactación de la primera capa para no dañar el fondo de la medida.
- Apisonar las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior.
- Eliminar el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar.
- Determinar y registrar la masa (kg/m³) de áridos compactados que llena la medida, aproximadamente al 0,1%

Determinación del peso específico aparente suelto.-

- Llenar con una pala, descargándola desde una altura aproximadamente de 5 cm sobre el borde superior de la medida.
- Desplazar la pala alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado.
- Eliminar el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar.
- Determinar y registrar la masa (kg/m^3) de áridos compactados que llena la medida, aproximadamente al 0,1%

Cálculos:

Peso específico aparente compactado (ρ_{AC})

Calcular el peso específico aparente compactado para cada ensayo con la siguiente expresión matemática.

$$\rho_{AC} = \frac{mc}{V} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 2}$$

Donde:

mc : Masa de aridos compactado que llena la medida (kg/m^3)

V : Capacidad volumétrica de la medida (m^3)

Peso específico aparente (ρ_{AS})

Calcular el peso específico aparente compactado para cada ensayo con la siguiente expresión matemática, aproximado a 1 (kg/m^3).

$$\rho_{AS} = \frac{mc}{V} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 3}$$

Calcular el peso específico aparente como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

Donde:

m_s : Masa de áridos suelta que llena la medida (kg/m^3)

V : Capacidad volumétrica de la medida (m^3)

III.4.3. Método para determinar el peso específico real, el peso específico neto y la absorción del árido grueso (ASTM C 127 AASHTO T85).

Equipos y materiales:

Balanza.-Debe de tener una capacidad superior a la masa de medida llena con un árido de peso específico aparente de $2,00 \text{ Kg /m}^3$ y una precisión de 0,1 g.

Horno.- Con circulación de aire y temperatura para las condiciones de ensayo.

Canastillo porta muestra.- De alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de igual o inferior de 2 mm y de capacidad igual o superior a 4 litros. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.

Estanque.- Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal que permite contener totalmente y con holgura el canastillo porta muestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.

Recipientes.- Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensayo.

Tamaño de la muestra de ensayo:

La cantidad mínima de la muestra para el ensayo según la tabla N°6 en función del tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla III-6: cantidad mínima de muestra según el tamaño nominal del agregado grueso para determinar el peso específico de los agregados gruesos.

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12,5	2000
19	3000
25	4000
37,5	5000
50	8000

Fuente: Referencia 2

Procedimiento del ensayo:

Pesada al aire ambiente del pétreo saturado superfinamente seco.-

- Retirar la muestra del agua y secarla superficialmente las partículas, haciendo rotar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Secar individualmente las partículas mayores manteniendo los áridos ya secados cubiertos superficialmente con un paño húmedo hasta el momento del pesaje de la muestra, este procedimiento se lo tiene que realizar de la manera más rápida posible.
- Determinar inmediatamente la masa de áridos saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximado a 1 g. registrarlo como M_{SSS} .

Pesada sumergida.-

- Colocar el canastillo inmediatamente en el canastillo porta muestra.
- Sumergir el canastillo en agua a una temperatura entre $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por periodo no menor a 3 min.
- Determinar la masa sumergida aproximada a 1 g y registrar el valor como M_{SUM} .

Pesada al aire ambiente del árido seco.-

- Retirar la muestra del canastillo y vaciarla completamente del recipiente, evitando de que queden algunas partículas atrapadas con el fin de evitar la pérdida de material de la muestra.
- Secar la muestra en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Enfriar la muestra hasta una temperatura ambiente, en lo posible colocar la muestra en un recipiente cerrado para evitar la absorción de humedad del aire.
- Determinar la masa de muestra seca, por pesada al aire ambiente, aproximado a 1 g. y registrarlo como M_s .

Cálculos:

Peso específico real.-

- Peso específico real de los áridos saturados superfinamente seco (ρ_{AR}).
 - Calcular el peso específico real del áridos saturados superficialmente seco según la siguiente fórmula, aproximadamente 1 kg/m^3 .

$$\rho_{AR} (\text{kg/m}^3) = \frac{M_{SSS}}{M_{SSS} - M_{SUM}} * 1.000 (\text{kg/m}^3) \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

- Peso específico real de áridos seco ().- calcular el peso específico real de áridos seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 .

$$\rho_{AS} (\text{kg/m}^3) = \frac{M_s}{M_{SSS} - M_{SUM}} * 1.000 (\text{kg/m}^3) \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

Peso específico neto (ρ_N)

Calcular el peso específico neto real según la fórmula siguiente, aproximado a 1 kg/m^3 .

$$\rho_N (\text{kg/m}^3) = \frac{M_s}{M_s - M_{SUM}} * 1.000 (\text{kg/m}^3) \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

Absorción (α).-

Calcular la absorción según la siguiente fórmula, aproximando a la centésima en porcentaje,

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} * 100 \dots \dots \dots \textit{Ecuación 7}$$

Donde:

ρ : Peso específico (kg/ m³)

α : Absorción (%).

M_{SUM} : Masa del árido sumergido (g.).

M_{SSS} : Masa del árido superficialmente seco (g.).

M_S : Masa del árido seco (g.).

III.4.4. Método para determinar el peso específico real, el peso específico neto y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C 127 AASHTO T85).

Este método establece los procedimientos para determinar el peso específico real, el peso específico neto y la absorción de agua de los áridos finos.

Equipos y materiales:

Balanza.- Debe de tener una capacidad superior 1 kg y una precisión de 0,1 g.

Horno.- Con circulación de aire y temperatura para las condiciones de ensayo

Matraz.- Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensayo. Deberá llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una precisión de $\pm 0,1$ ml. Dicho volumen excederá a lo menos en un 50% al volumen aparente de la muestra del árido fino, se recomienda emplear un matraz de 500cm³ de capacidad.

Molde.- Con forma tronco – cónica, de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm de diámetro en la parte inferior y una altura de 75 ± 3 mm, confeccionado con una plancha metálica de un espesor igual o superior a 0,8 ms.

Pisón.- Es una varilla metálica, con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. El mismo debe de tener una masa de 340 ± 15 g.

Muestra de ensayo:

Para cada ensayo se usará una cantidad de árido fino superior a 50 g. e inferior a 500 g.

Preparación de la muestra del ensayo.-

- Cortar el material retenido en tamiz de referencia 4,75 mm (Nº 4).
- Secar el árido fino en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, durante 24 horas.
- Cubrir el árido en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente necesaria para asegurar su saturación en un periodo de 24 ± 4 h.

Procedimiento:

- Eliminar paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. Revolver la muestra frecuentemente para asegurar en secado uniforme, hasta llevarlo a la condición suelta.
- Colocar el molde cónico firmemente contra una superficie lisa, plana y que no sea absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llenarlo con el árido en condición suelta en una capa y enrase.
- Compactar suavemente con 25 golpes con el pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie. En cada golpe dejar caer el pisón libremente a una altura de 5 mm sobre la superficie del árido. Dicha altura debe conservarse, ajustándola a la nueva elevación de la muestra después de cada golpe.
- Remover todo el material sobrante en la superficie. Levantar el molde verticalmente. Si hay humedad al liberar la muestra conservará la forma del

cono. En este caso se tiene que eliminar el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento, a intervalos frecuentes este paso.

- Cuando al retirar el molde el árido caiga suavemente según el talud natural, será el indicador que éste ha alcanzado la condición de saturada superficialmente seca.
- Inmediatamente que el árido alcance la condición de saturado superficialmente seca, obtener el tamaño de la muestra de ensayo requerido, pesar y registrar su masa.
- Colocar la muestra en el matraz y cubrir con agua a una temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta alcanzar aproximadamente $2/3$ del volumen del matraz.
- Agitar el matraz con el fin de eliminar todas las burbujas de aire golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano. En caso que el árido sea muy fino, se debe utilizar una bomba de vacío.
- Dejar reposar durante 1 h manteniendo una temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- Llenar con agua a una temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ hasta la marca de calibración, agitar y dejar reposar un instante.
- Medir y registrar la masa total del matraz con la muestra de ensayo y el agua en (mm).
- Sacar la muestra del matraz, evitando pérdidas de material, y secar esta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. dejar enfriar a temperatura ambiente. Determinar y registrar la masa de la muestra del ensayo en condición seca (ms).
- Llenar el matraz solamente con agua a una temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta la marca de calibración. Medir y registrar la masa del matraz con agua (ma).

Cálculos:

Peso específico real.-

Peso específico real de áridos saturado superficialmente seco (ρ_{AR})

- Calcular el peso específico real de áridos saturados superficialmente seco según la siguiente fórmula, aproximadamente 1 kg/m^3 .

$$\rho_{AR} (\text{kg/m}^3) = \frac{M_{SSS}}{M_a + M_{SSS} + M_m} * 1.000 (\text{kg/m}^3) \dots \dots \text{Ecuación 8}$$

- Peso específico real de áridos seco (ρ_{AS}).- calcular el peso específico real de áridos seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg./m^3 .

$$\rho_{AS} (\text{kg/m}^3) = \frac{M_S}{M_a + M_{SSS} - M_m} * 1.000 (\text{kg/m}^3) \dots \dots \dots \text{Ecuación 9}$$

Peso específico neto (ρ_N)

Calcular el peso específico neto real según la fórmula siguiente, aproximado a 1 kg/m^3 .

$$\rho_N (\text{kg/m}^3) = \frac{M_S}{M_a + M_S - M_m} * 1.000 (\text{kg/m}^3) \dots \dots \dots \text{Ecuación 10}$$

Absorción (α).

Calcular la absorción según la siguiente fórmula, aproximando a la centésima en porcentaje,

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_a} * 100. \dots \dots \dots \text{Ecuación 11}$$

Donde:

ρ : Peso específico (kg/ m^3)

α : Absorción (%).

M_S : Masa de la muestra seca (g).

M_{SSS} : Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g).

M_a : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración (g).

Mm: Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración (g).

III.4.5. Método para determinar el desgaste mediante la Máquina de Los Ángeles (ASTM C 133 AASHTO T96).

Máquina de Los Ángeles. Constituida por un cilindro de acero, hueco y cerrado en ambos extremos, con diámetro interior de 710 ± 5 mm y largo de 510 ± 5 mm, montado sobre dos soportes ubicados al centro de sus caras paralelas, que le permitan girar sobre su eje de simetría en posición horizontal con una velocidad angular de 30 a 33 rpm. El cilindro tendrá una abertura que permita introducir la muestra de prueba y las esferas metálicas, con una tapa de cierre hermético diseñada con la misma curvatura del cilindro para que la superficie interior del mismo sea continua y uniforme; además tendrá en su parte interior una placa de acero removible de 2,5 cm (1") de espesor, que se proyecte radialmente 8,9 cm (3 1/2") en toda la longitud del cilindro y contará con un dispositivo para registrar el número de revoluciones que dé el cilindro.

Juego de Mallas (cribas) Fabricadas con alambre de bronce o de inoxidable de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura determinada conforme a lo indicado en la Tabla 1 de este manual. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, de 206 ± 2 mm de diámetro interior y 68 ± 2 mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor.

Horno: Eléctrico o de gas, con capacidad mínima de 20 dm³, ventilado, con termostato capaz de mantener una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. **Balanza:** Con capacidad de 20 kg y aproximación de 0,1 g. **Máquina agitadora para mallas:** De acción mecánica, activada para un motor eléctrico o manivela de velocidad constante, mediante el cual se transmite un movimiento excéntrico controlado a un plato de soporte, sobre el que se sujeten las mallas en orden descendente.

Balanza.- Debe de tener una capacidad superior 1 kg y una precisión de 0,1 g.

Preparar la muestra del ensayo.

Lavar la muestra y secar a temperatura constante.

Tamizar la muestra obtenida de acuerdo a norma con la serie de tamices siguientes: 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4 Y N°8. Deje el material separado en cada una de las fracciones resultantes de este tamizado.

Elija el grado de ensayo que mejor represente la granulometría de acuerdo a la siguiente tabla del Anexo B.2, sume los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elija para ensayo el que entregue una mayor suma.

Pese los tamaños de los fracciones correspondientes al grado elegido, de acuerdo a la siguiente tabla registre la masa total del material como masa inicial.

Colocar la masa inicial a la Máquina de Los Ángeles y ensayo de acuerdo al grado elegido.

Una vez completado el número de revoluciones correspondientes sacar el material de la máquina evitando pérdidas y contaminación.

Separe la carga abrasiva.

Efectuar el primer tamizado en un tamiz N°8 o superior a fin de evitar daños en el tamiz de corte.

Tamice manualmente el material bajo N°8 por tamiz N°12.

Reúna todo el material retenido en ambos tamices, lavar y secar hasta masa constante en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y dejar a temperatura ambiente.

Cálculos.

$$P = \left(\frac{mi + mf}{mi} \right) * 100 \dots \dots \dots \textit{Ecuacion 12}$$

Donde:

P: pérdida de masa de la muestra en (%)

M_i: masa inicial de la muestra.

M_f: Masa final de la muestra.

III.5. DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS.

Para la dosificación de agregados se realizará por el método ACI (American Concrete Institute). A continuación se presenta un diagrama de los conceptos básicos para realizar la dosificación de hormigones a base de este método.

La dosificación por el método ACI se la realizará en base a las siguientes tablas que se presentan en el ANEXO B

III.6. ENSAYOS AL HORMIGÓN.

III.6.1. Ensayo de consistencia de la mezcla de hormigón.

Cono de Abrams.- Este ensayo nos servirá para ver la cantidad de agua que se encuentra presente en la mezcla.

Equipos.

- Molde sin fondo de forma troncocónica, provisto de dos asas para la manipulación con las siguientes dimensiones:
 - Diámetro de la base inferior 100 mm \pm 2 mm.
 - Diámetro de la base superior 200 mm \pm 2 mm.
 - Altura del tronco de cono 300 mm \pm 2 mm.
- Varilla metálica de 16 mm de diámetro y 60 cm de lardo.
- Fluxómetro.

Procedimiento.

- Se debe de colocar el molde en una superficie plana y rígida y que no absorba agua, se humedece el interior del molde y la superficie de apoyo. introducir la mezcla de hormigón en tres capas, compactando cada una de ellas con la varilla, enrasar la superficie.
- Se desmolde inmediatamente, levantando el cono despacio y con cuidado en sentido vertical sin producir sacudidas. Se mide el asiento por referencia a una regla horizontal colocada sobre el molde del cono tomando el nivel medio de la cara superior de la masa asentada. El asiento se expresa por la medida obtenida en centímetros.

Tabla III-7: Consistencia de los hormigones.

Consistencia	Asiento del cono de Abrams (cm)
Seca	0 a 2
Plástica	3 a 5
Blanda	6 a 9
Fluida	10 a 15
Líquida	≥ 16

Fuente. Referencia 2

Procedimiento empleado para la elaboración de probetas.

Se elaborarán 10 probetas por cada cantera.

- Para la elaboración de probetas se vacía el hormigón fresco en el molde de (10 cm * 20 cm) mediante tres capas de espesores aproximadamente iguales y de manera que la última capa exceda sobre el borde de la probeta.
- Los moldes deben ser estancos, siendo conveniente untarlos con aceite mineral o cualquier otra sustancia apropiada que no ataque al cemento, con el objeto de evitar la adherencia del hormigón.

- Se compacta cada capa con una varilla pisón de 1,2 cm de diámetro y una altura de 60 cm, distribuyendo los golpes en toda la sección, a razón de 20 golpes por capa.
- Después de compactar cada capa, golpear 10 o más veces en los costados del molde hasta que no continúen apareciendo burbujas de aire en la superficie de la capa compactada y se cierren los vacíos dejados por la varilla pisón.
- Después de 1 hora del vaciado de las probetas se tiene que enrazar dándole una superficie lo más lisa posible.
- A las 24 de su vaciado se procederá al desencofrado de las probetas y para luego proceder al curado de las mismas, con la inmersión total en depósitos con agua.
- Luego se procederá a la rotura de las probetas a los 7, 14 y 28 días.

III.6.2. Ensayo a la Resistencia Mecánica a la Compresión.

Para la realización del ensayo de rotura de probetas a la compresión se utilizará el procedimiento de la norma (ASTM C 39 AASHTO T22) detallándose en los siguientes pasos:

- Limpiar la superficie de las placas de la prensa y de las caras de ensayo de la probeta.
- Colocar la probeta sobre la placa inferior de la prensa alineando su eje central con el centro de esta placa.
- Asentar la placa superior de la prensa sobre la probeta, guiándola con la mano para obtener un apoyo de la placa lo más uniforme posible.
- Aplicar la carga en forma continua y sin choques a una velocidad uniforme, que permitan cumplir las siguientes condiciones:
 - Alcanzar una franca rotura de la probeta en un tiempo igual o superior a 100 segundos.
 - No superar la velocidad de 0,35 N/mm²/s.
- Registrar la carga máxima P, expresada en N.

Cálculos:

Como resultado del ensayo prueba se calculará la resistencia a compresión simple soportada por la probeta, utilizando la siguiente expresión.

$$R = \frac{P}{A} \dots \dots \dots \text{Ecuación 13}$$

Donde:

R: Resistencia a compresión simple, (kg/cm²).

P: Carga máxima soportada por el espécimen, (kg).

A: Área promedio de la sección transversal del espécimen, (cm²).

CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

IV.1. CARACTERIZACIÓN U OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS.

IV.1.1. BANCOS DE LOS MATERIALES.

Los bancos utilizados para esta investigación en el municipio de Caraparí se encuentran ubicadas de la siguiente manera:

Cantera de Boyuy se encuentra en el distrito cuatro a unos 54 Km del municipio en latitud 21'35"22,42 S y longitud 63'52"56.29 W (como se muestra en el ANEXO C). Esta cuenca no tiene mucho material para su extracción debido a la pendiente y al poco espacio que tiene la cuenca para el depósito de los materiales, como también los materiales de arrastre en esta zona su granulometría es muy desfavorable para este fin, los materiales de esta cuenca son usados netamente para los proyectos de la comunidad en sí comunidades vecinas de este distrito.

Las cantidades de material para explotación de esta cantera son muy limitadas debido a que los depósitos de materiales de arrastre de esta cuenca son muy escasos y el ancho de la misma es muy pequeño y tampoco es una cuenca que tiene un caudal superficial permanente:

El volumen aprovechable estimado es de 1000 metros cúbicos de los cuales el 55% corresponde a material grueso y el 45% de material fino.

Cantera de Zapatera Centro al igual que la anterior cantera se encuentra en el mismo distrito a unos 48,3 Km del municipio, en latitud 21'34"39,77 S y longitud 63'50"26.92 W. (como se muestra en el ANEXO C). Las características de la cuenca en esta comunidad son muy diferentes debido a que la cuenca a esa altura tiene mayores depósitos de material y las pendientes cada vez que van bajando el cauce de la cuenca las pendientes disminuyen y la granulometría tiene porcentajes elevados de material fino. Los áridos extraídos de este banco son utilizados en todo el distrito 4 del municipio y al distrito 5. Se estima que el volumen de material fino es del 60% y el 40% de material grueso de un total de 6000 metros cúbicos de material aprovechable.

Cantera de Fuerte Viejo, esta cantera se encuentra al noreste del municipio en el distrito 2 a 6,8 Km al margen derecho de la carretera Caraparí-Tarija a una latitud de 21'47"22,10 S y longitud 63'43"10.19 O (como se muestra en el ANEXO C). Esta cantera es una de las más explotadas por la cercanía al municipio y por tener varios puntos de accesibilidad. Los materiales existentes para la explotación tienen un porcentaje mayor de fino en comparación al material grueso. Debido a que la pendiente de su cauce no es fuerte, se estima unos 10000 metros cúbicos de material aprovechable con un porcentaje de 55% de material fino y un 45% de material grueso.

Cantera de Chirimoyal, la cantera se encuentra en el distrito 1 al suroeste del municipio a 20 Km entre la carretera Caraparí- Yacuiba al margen derecho su accesibilidad es por la carretera a San Alberto a una latitud 21'57"32,10 S y longitud 63'48"04.59 W (como se muestra en el ANEXO C). Los materiales de esta cantera cuentan con propiedades mejores que las anteriores cuencas, se estima unos 12000 metros cúbicos de material aprovechable con un porcentaje aproximado de 58% de material grueso y un 42% de material fino.

Santa Rosa Sur, ubicada en el distrito 2 al sur oeste a 5,6 Km del municipio a una latitud 21'57"32,10 S y longitud 63'48"04.59 W (como se muestra en el ANEXO C). Esta cuenca presenta mucho material fino debido a la pendiente de su cauce. Lo cual por más cerca que se encuentra del municipio el costo para la explotación y la producción del material grueso (grava) es muy escaso debido a que fue la primera cantera en ser explotada por el municipio, la explotación en esta cantera es muy costosa por tener mucho material fino y es costosa económicamente la obtención de material grueso, en esta cantera se estima unos 7000 metros cúbicos de material aprovechable de los cuales el 60% corresponde a material fino y unos 40% de material grueso.

IV.1.2. EXTRACCIÓN DE LOS ÁRIDOS.

De acuerdo a la norma (ASTMC C75 ASTHO 12)

Debido a que la misma cuenca presenta una variación en la su distribución granulometría de los áridos de una comunidad con respecto a otra de una misma cuenca. La mayoría de estas cuencas son generalmente de montaña, lo que las hace diferentes en sus comportamientos granulométricos, para dicha extracción se realizó a campo abierto extrayendo un cubo de material bruto a cada 100 metros a una distancia de un kilómetro con lo que se extrae aproximadamente 10 metros cúbicos por cantera de material bruto, luego se procede al traslado de este material a la gravera más cercana para la separación del material fino del grueso como también del material de desecho, por vía húmeda

IV.1.3. GRIVADO Y LAVADO DE LOS ÁRIDOS.

La extracción de los áridos de cada una de los bancos de material suelto para la presente investigación se lo realizó en sus sitios de depósito natural en cada una de las cuencas, a la altura de cada comunidad mencionada.

En la mayoría de las canteras se extrajo el material de los depósitos naturales y luego fueron trasladados a las tamizados mecánicos por vía húmeda (graveras), El cribado por vía húmeda se realiza de manera similar al cribado por vía seca con la única adición de una bomba de riego sobre las cribas, que aumentan la fluidez y el desplazamiento de la masa a cribar asegurando un mejor arrastre a través de las aberturas. Además facilita la segregación de finos y el desprendimiento de las impurezas de naturaleza arcillosa o limosa. Estas graveras están ubicadas en lugares elevados a unos 4 metros de elevación y caja de depósito con una reducción a la salidas de una malla de acero de un diámetro de 10 mm con soldadura con una abertura de 5 cm con una pendiente de 10 a 15% para separar el material de diámetros mayores para desecharlos, en la parte inferior se tiene una malla de 1 cm con una pendiente de 8 a 10% el arrastre y cribado del material es realizado debido al empuje que proporciona la bomba a la salida para el arrastre del material a las mallas de tamizado y lavado de los materiales. El proceso de cribado y lavado de los materiales es la parte más importante debido a que está totalmente inmerso en determinar la granulometría y la limpieza de los materiales.

IV. 1.4. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.

La extracción de estas muestras se la define como muestra de yacimiento según el Manual de Ensayos de Suelos y Materiales y Hormigones.

Luego de tener los materiales tamizados y lavados se procede a mezclar las muestras para evitar granulometrías que sean desfavorables para realizar el cuarteo para reducir a cada una de las muestras requeridas para la presente investigación.

Para obtener muestras más representativas de los áridos del fino como el grueso se mezcló el material entre sí, con el fin de que la muestra a ser extraída sea lo más homogénea posible y de tal manera que la caracterización de cada una de las cuencas sean lo más fehaciente en lo posible.

Para la extracción del material se tomó el material de la parte media de cada montón de material en una cantidad aproximada de 450 kilos de grava y 300 kilos de arena para cada una de las canteras en estudio, para posteriormente embolsar y trasladarla al laboratorio suelos y hormigones de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Antes de empezar a realizar la caracterización se procede a lavar de nuevo la arena y la grava con el fin eliminar las arcillas debido a que el lavado que se realiza en las graveras no son los adecuados para la obtención de materiales lo más aceptable para la elaboración de hormigones.

IV.1.5. GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA

IV.1.5.1. ÁRIDO FINO (ARENA).

La cantidad de material fino para los ensayos se tomó una cantidad de 2000 gr para cada uno de los ensayos, se empleó esta cantidad de muestra para evitar tener resultados dispersos de un ensayo a otro de una misma cantera, y en cuanto mayores son las

cantidades de muestra en los ensayos menor serán los errores y más confiables son los resultados.

Para determinar la granulometría del árido fino (arena) se realizaron 10 ensayos para cada una de las canteras de acuerdo a la norma (ASTM C 136 AASTHO T27) los valores de los 10 ensayos se presentan en el anexo A para cada una de las canteras.

La granulometría promedio y la representación gráfica para cada una de las canteras se las presentan a continuación:

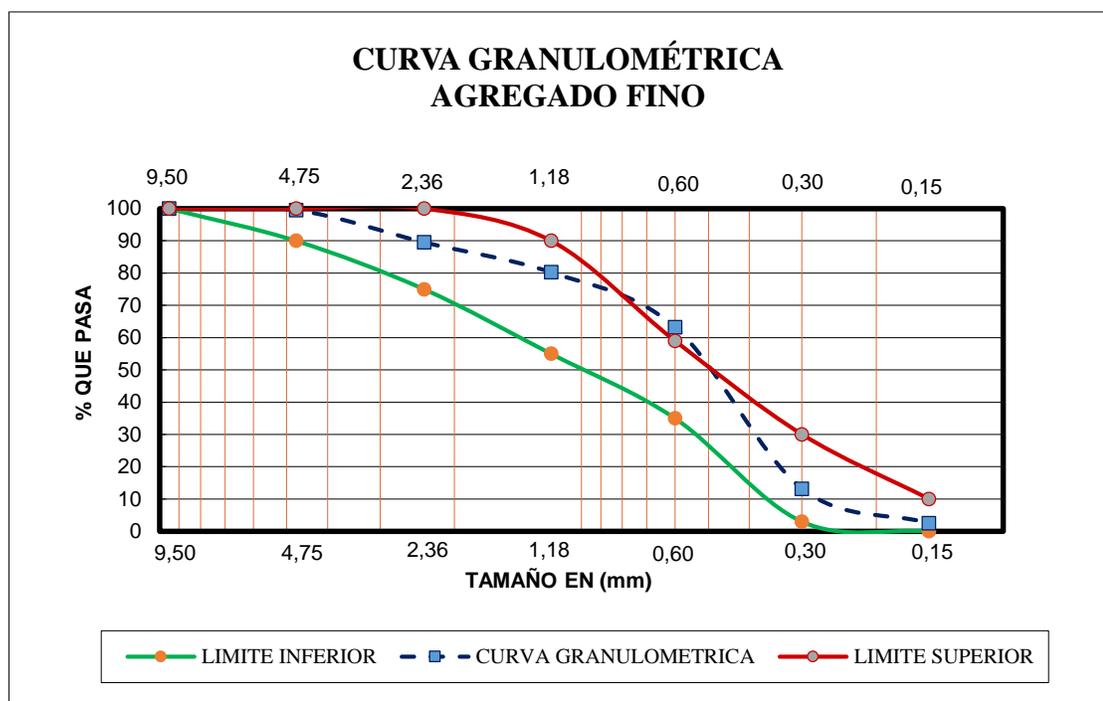
Tabla IV-1: Granulometría Promedio Cantera Boyuy del Agregado Grueso.

GRANULOMETRÍA PROMEDIO					Peso Total (gr.)	2000	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
Nº4	4,75	8,55	8,55	0,43	99,6	90	100
Nº8	2,36	192,39	200,94	10,05	90,0	75	100

N°16	1,18	183,93	384,87	19,24	80,8	55	90
N°30	0,60	350,06	734,93	36,75	63,3	35	59
N°50	0,30	1000,39	1735,32	86,77	13,2	3	30
N°100	0,15	213,63	1948,95	97,45	2,6	0	10
BASE		46,41	1995,36	99,77			
SUMA=		1995,36					
PÉRDIDAS=		4,64		Módulo de Finura =		2,51	

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-1: Control del Granulométrico Del Agregado Grueso ASTM-C39.



Fuente: Elaboración propia

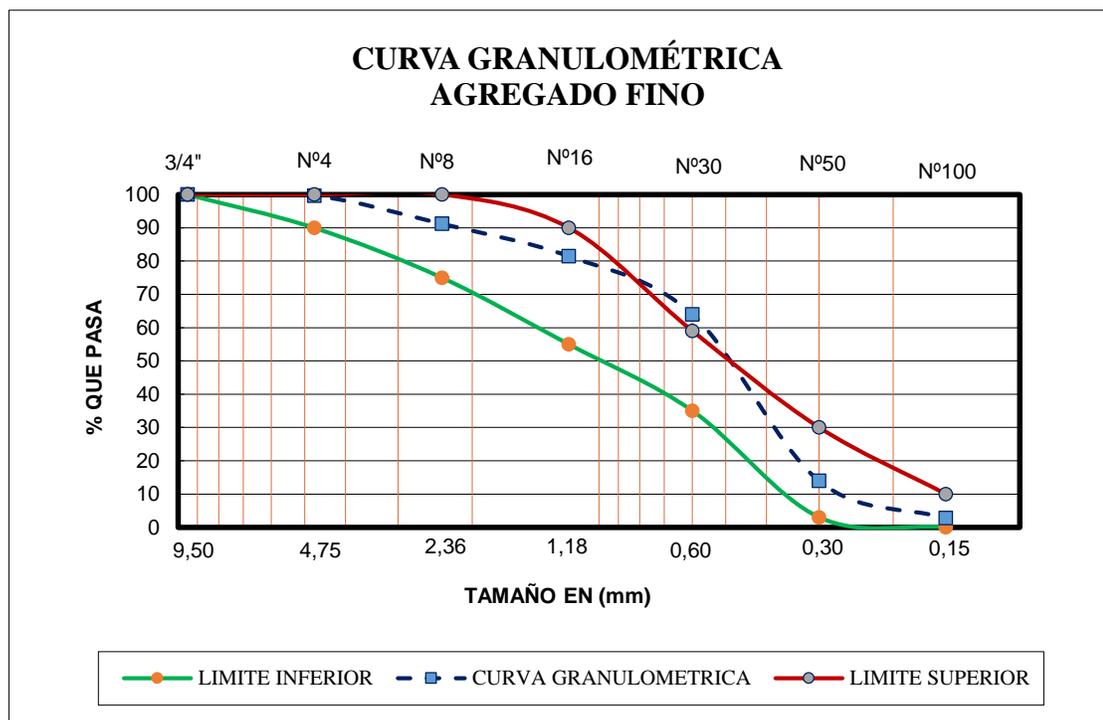
Tabla IV- 2: Granulometría Promedio Cantera Zapatera Centro del Agregado Fino.

GRANULOMETRÍA PROMEDIO					Peso Total (gr.)		2000
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
N°4	4,75	7,88	7,88	0,39	99,6	90	100
N°8	2,36	183,05	190,93	9,55	90,5	75	100

N°16	1,18	186,59	377,52	18,88	81,1	55	90	
N°30	0,60	351,17	728,69	36,43	63,6	35	59	
N°50	0,30	1005,36	1734,05	86,70	13,3	3	30	
N°100	0,15	207,99	1942,04	97,10	2,9	0	10	
BASE		52,93	1994,97	99,75				
SUMA=		1994,97						
PÉRDIDAS=		5,03						
					Módulo de Finura =	2,49		

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-2: Control del Granulométrico del Agregado Fino ASTM-C39.



Fuente: Elaboración Propia

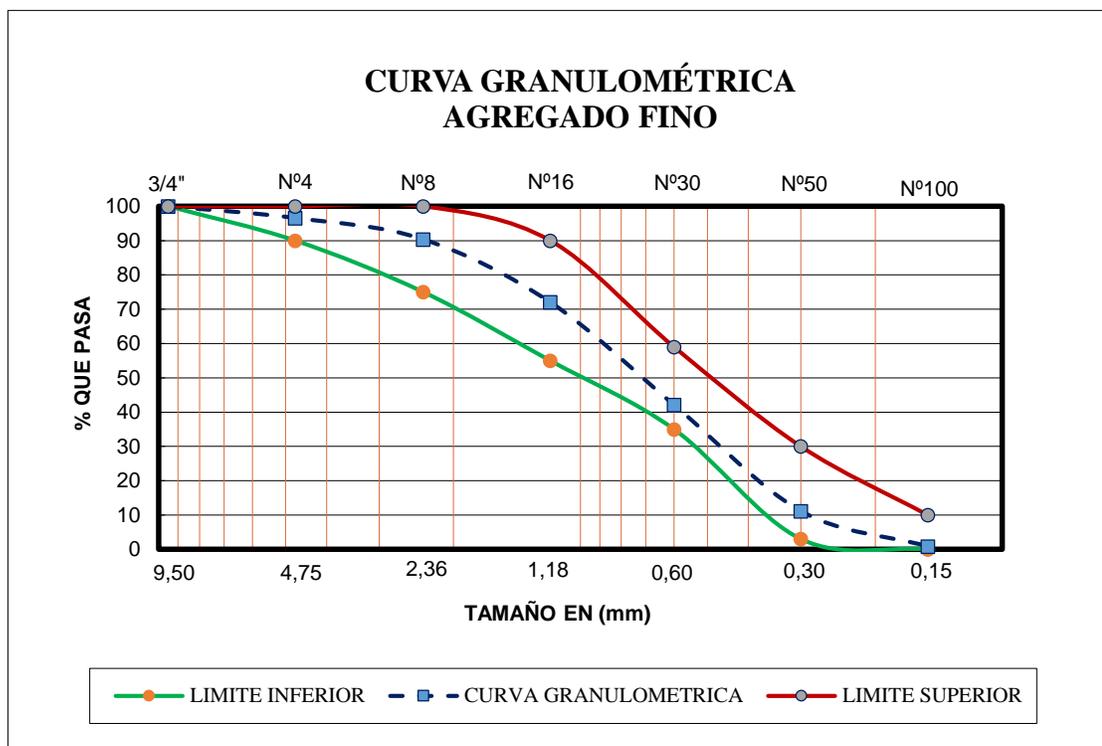
Tabla IV-3: Granulometría Promedio Cantera Fuerte Viejo del Agregado Fino.

GRANULOMETRÍA PROMEDIO					Peso Total (gr.)		2000
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100

3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
N°4	4,75	52,91	52,91	2,65	97,4	90	100
N°8	2,36	135,91	188,82	9,44	90,6	75	100
N°16	1,18	360,33	549,15	27,46	72,5	55	90
N°30	0,60	553,29	1102,44	55,12	44,9	35	59
N°50	0,30	638,74	1741,18	87,06	12,9	3	30
N°100	0,15	237,86	1979,04	98,95	1,0	0	10
BASE		18,75	1997,79	99,89			
SUMA=		1997,79					
PÉRDIDAS=		2,21	Módulo de Finura =		2,81		

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-4: Control del Granulométrico del Agregado Fino ASTM-C39.



Fuente: Elaboración Propia

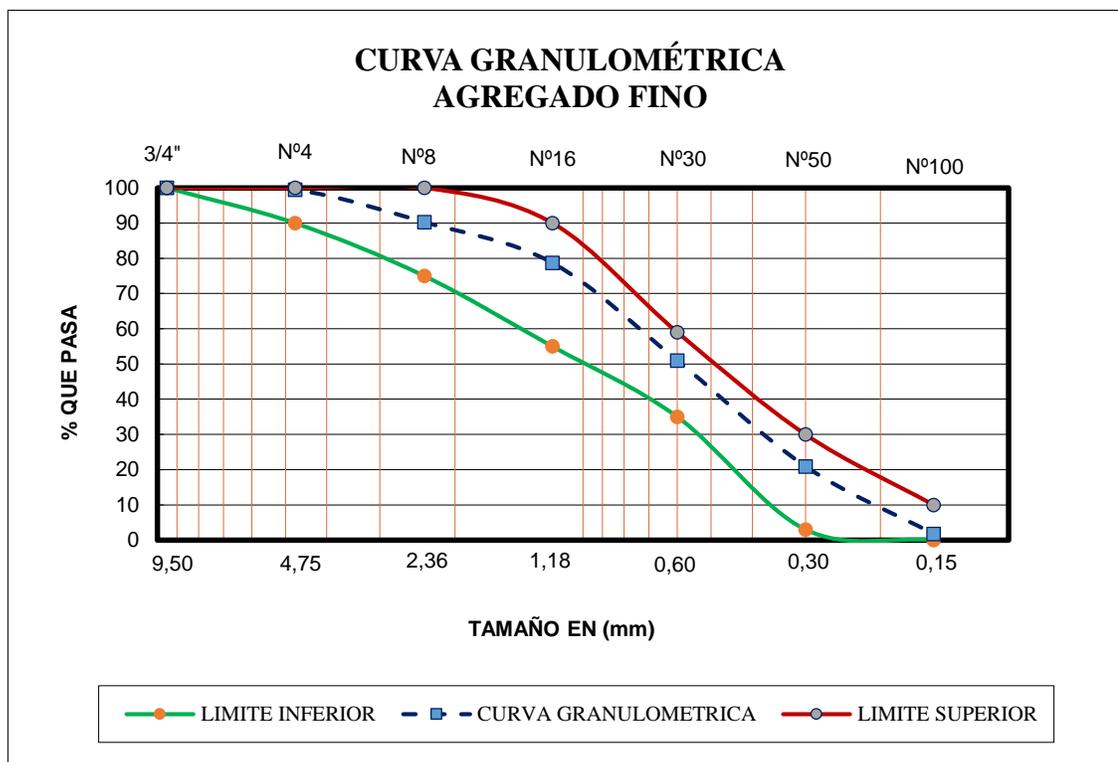
Tabla IV-5: Granulometría Promedio Cantera Santa Rosa Sur del Agregado Fino.

GRANULOMETRÍA PROMEDIO					Peso Total (gr.)	2000
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa	Especificación

	(mm)				del total	ASTM C-33			
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
Nº4	4,75	10,13	10,13	0,51	99,5	90	100		
Nº8	2,36	185,26	195,39	9,77	90,2	75	100		
Nº16	1,18	222,98	418,37	20,92	79,1	55	90		
Nº30	0,60	538,33	956,70	47,84	52,2	35	59		
Nº50	0,30	652,22	1608,92	80,45	19,6	3	30		
Nº100	0,15	357,25	1966,17	98,31	1,7	0	10		
BASE		31,47	1997,64	99,88					
SUMA=		1997,64							
PÉRDIDAS=		2,36							
						Módulo de Finura =	2,58		

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-5: Control del Granulométrico del Agregado Fino ASTM-C39.



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.5.2. ÁRIDO GRUESO (GRAVA)

La granulometría del árido es uno de los parámetros más importantes empleados para la dosificación del hormigón (La mayoría de los métodos de dosificación presentan especificaciones sobre las granulometrías óptimas que deben tener los áridos), puesto que constituye su esqueleto y tiene una gran influencia sobre sus propiedades.

El análisis granulométrico de un árido consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que lo forman, o sea, en separar al árido en diferentes fracciones de partículas del mismo tamaño, o de tamaños comprendidos dentro de determinado límites y en hallar el porcentaje que entra en el árido cada uno de éstos.

Para determinar la granulometría del árido grueso (grava) se realizaron 10 ensayos para cada una de las canteras de acuerdo a la norma (ASTM C 136 AASTHO T27) las granulometrías y las curvas que se presentan a continuación son el promedio de las 10 ensayos hechos por cantera y la totalidad de los 10 ensayos se presentan en el anexo A de cada cantera respectivamente.

Las cantidades de muestra para los ensayos se tomaron cantidades mayores a las recomendadas al fin de obtener resultados más representativos por las cantidades con lo cual se evita que los resultados no se disparen en relación de un ensayo con otro de una muestra del mismo banco.

Para este fin se tomaron muestras de 5000g. respectivamente indicadas en cada una de granulometrías realizadas para los áridos gruesos (grava), de esta manera obtener la distribución granulométrica de manera más exacta de los áridos para cada una de las canteras en estudio.

Los límites de las curvas granulométricas están normadas en base diferentes combinaciones. En la presente investigación se utiliza la combinación de 1 1/2" a N°4, por el motivo que en todas las graveras mecánicas que se encuentran en las en el municipio y las mismas que se las utilizó para el lavado y cribado de los materiales tienen esta combinación. Como también por que cuenta con todas las fracciones

granulométricas para un árido grueso y por qué esta combinación es la más utilizada en la mayoría de las especificaciones técnicas en la elaboración de hormigones.

Los requisitos de gradación de los agregados gruesos de acuerdo al tamaño máximo nominal según la norma ASTM-C33 se presentan a continuación en la Tabla IV.6.

Tabla IV-6: Límites de Granulometrías Para Diferentes Combinaciones

CANTIDADES MÁS FINAS QUE CADA TAMIZ DE LABORATORIO (ABERTURAS CUADRADAS)% EN PESO													
TAMAÑO	4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16
(mm)	100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm
3 1/2 a 1 1/2"	100	90- 100		25-60		0-15		0-5					
2 1/2" a 1 1/2"			100	90- 100	35-70	0-15		0-5					
2" a 1"				100	90-100	35-70	0-15		0-5				
2" a Nº4				100	95-100		35-70		10-30		0-5		
1 1/2" a 3/4"					100	90-100	20-55	0-15		0-5			
1 1/2" a Nº4					100	95-100		35-70		10-30	0-5		
1" a 1/2"						100	90-100	20-55	0-10	0-5			
1" a 3/8"						100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5		
1" a Nº4						100	95-100		25-60		0-10	0-5	
3/4" a 3/8"							100	90- 100	20-55	0-15	0-5		
3/4" a Nº4							100	90- 100		20-55	0-10	0-3	
1/2" a Nº4								100	90- 100	40-70	0-15	0-5	
3/8" a Nº8									100	85- 100	10-30	0- 10	0-5

Fuente: referencia 8

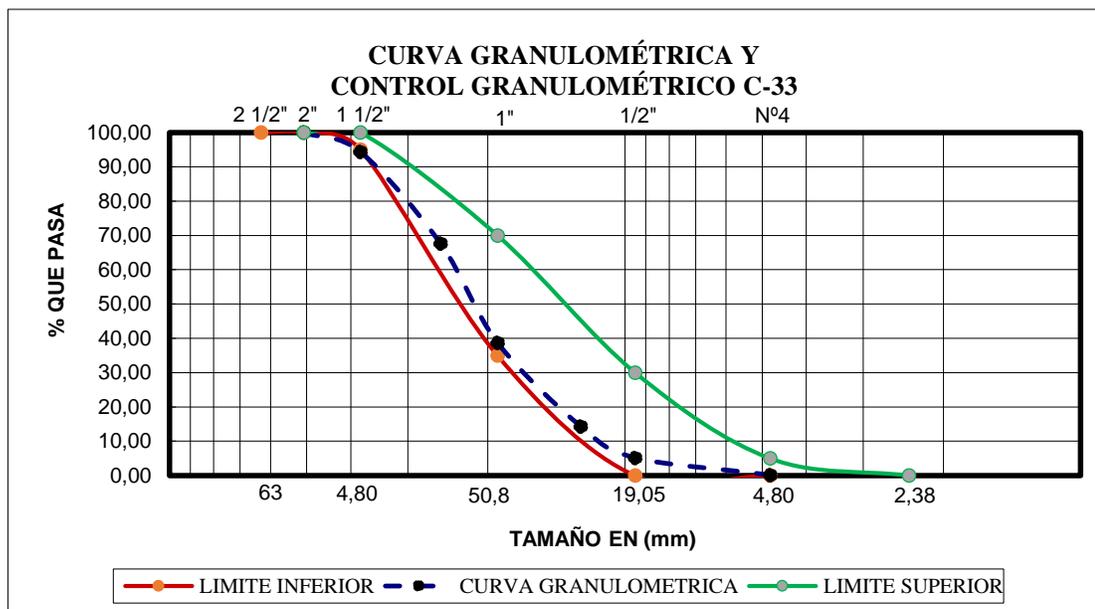
En base a lo mencionado en el párrafo anterior se presentan a continuación los datos de las canteras seleccionadas para su caracterización, los mismos resultados se muestran a continuación

Tabla IV-7: Granulometría Promedio Cantera Boyuy del Agregado Grueso (grava).

GRANULOMETRÍA PROMEDIO					Peso Total (gr.) = 500				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif. ASTM			
			(gr)	(%)					
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
1 1/2	38,10	283,16	283,16	5,66	94,3	95	100		
1	25,40	1336,38	1619,54	32,39	67,6				
3/4	19,05	1444,63	3064,17	61,28	38,7	35	70		
1/2	12,50	1222,27	4286,44	85,73	14,3				
3/8	9,50	456,14	4742,58	94,85	5,1	10	30		
Nº4	4,80	251,79	4994,37	99,89	0,1	0	5		
BASE		2,98	4997,35	99,95					
SUMA =		4997,35	TAMAÑO MAX =2"						
PÉRDIDAS =		2,65							
M.F. =		7,62							

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-7: Control del Granulométrico Del Agregado Grueso (grava) ASTM-C39.



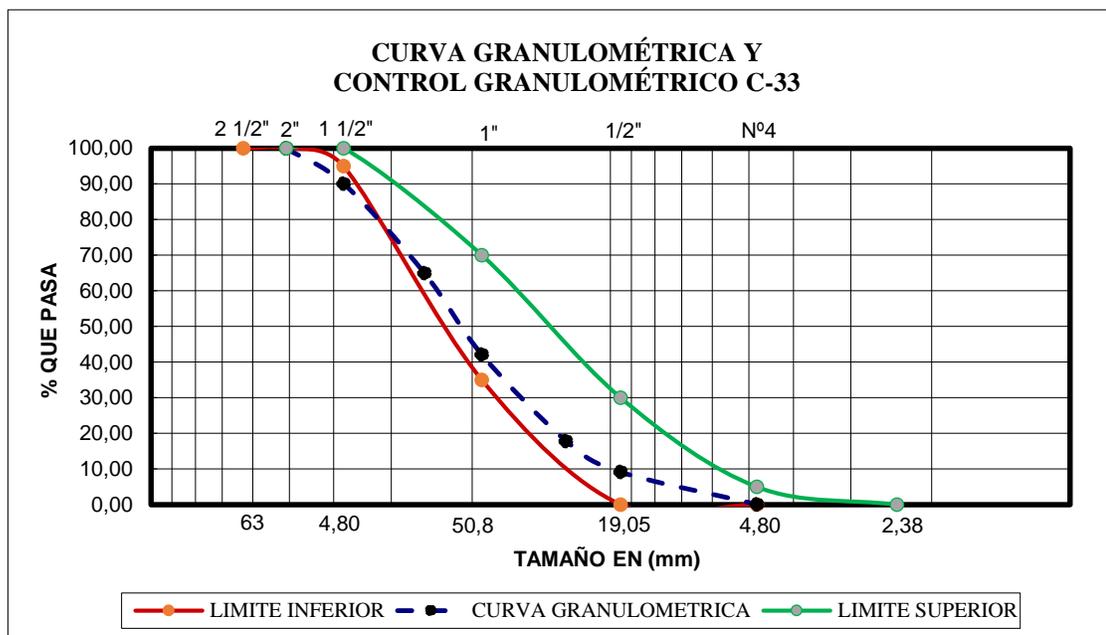
Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-8: Granulometría Promedio Agregado Grueso Cantera Zapatera Centro.

GRANULOMETRÍA PROMEDIO					Peso Total (gr.) = 500				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif. ASTM			
			(gr)	(%)					
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
1 1/2"	38,10	386,26	386,26	7,73	92,3	95	100		
1	25,40	1240,10	1626,36	32,53	67,5				
3/4	19,05	1275,38	2901,74	58,03	42,0	35	70		
1/2	12,50	1250,36	4152,10	83,04	17,0				
3/8	9,50	496,16	4648,26	92,97	7,0	10	30		
Nº4	4,80	346,76	4995,02	99,90	0,1	0	5		
BASE		2,39	4997,41	99,95					
SUMA =		4997,41	TAMAÑO MAX = 2"						
PÉRDIDAS =		2,59							
M.F. =		7,59							

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-8: Granulometría Promedio Agregado Grueso Cantera Zapatera Centro.



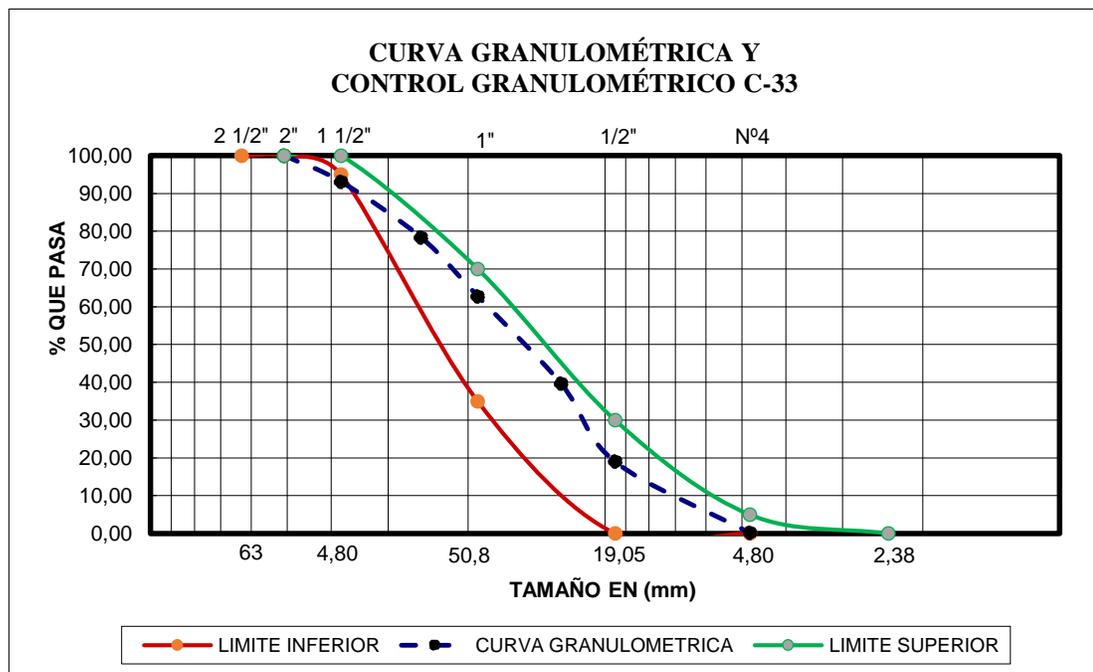
Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-9: Granulometría Promedio Agregado Grueso Cantera Fuerte Viejo.

GRANULOMETRÍA PROMEDIO					Peso Total (gr.) = 500				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa Especif. ASTM			
			(gr)	(%)					
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
1 1/2"	38,10	345,66	345,66	6,91	93,1	95	100		
1	25,40	736,42	1082,08	21,64	78,4				
3/4	19,05	778,97	1861,05	37,22	62,8	35	70		
1/2	12,50	1153,56	3014,61	60,29	39,7				
3/8	9,50	1035,39	4050,00	81,00	19,0	10	30		
Nº4	4,80	943,51	4993,51	99,87	0,1	0	5		
BASE		3,23	4996,74	99,93					
SUMA =		4996,74	TAMAÑO MAX =2"						
PÉRDIDAS =		3,26							
M.F. =		7,25							

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-9: Control del Granulométrico del Agregado Grueso (grava) ASTM-C39.



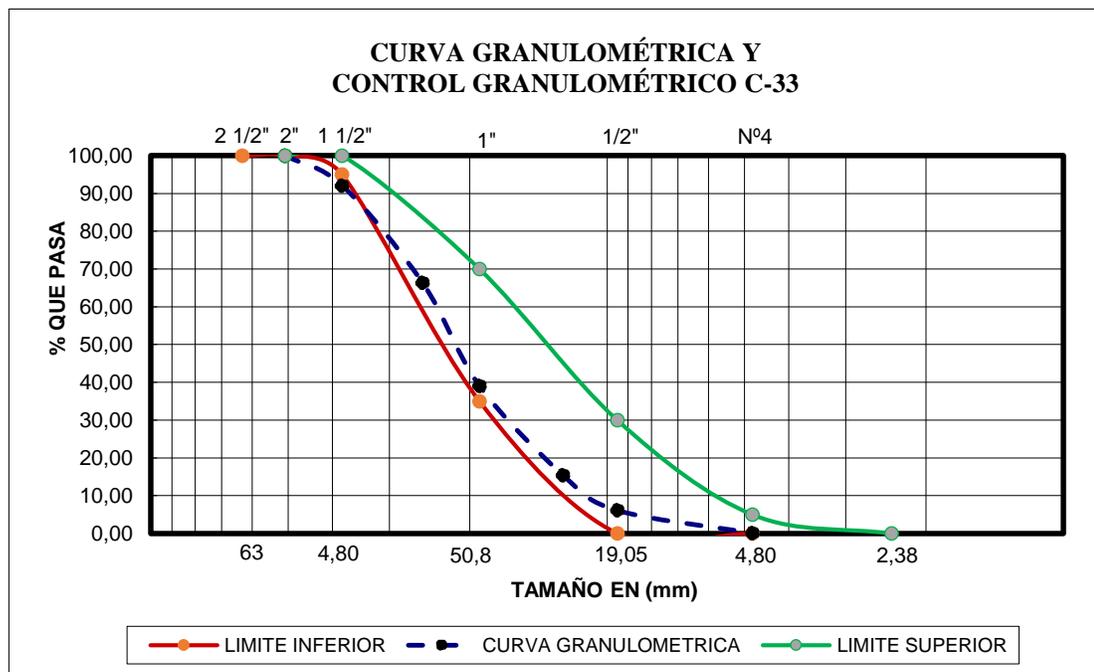
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV-10: Granulometría Promedio Agregado Grueso Cantera Chirimoyal.

GRANULOMETRÍA PROMEDIO					Peso Total (gr.) = 500				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa Especif. ASTM			
			(gr)	(%)					
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
1 1/2"	38,10	396,16	396,16	7,92	92,1	95	100		
1	25,40	1284,65	1680,81	33,62	66,4				
3/4	19,05	1365,23	3046,04	60,92	39,1	35	70		
1/2	12,50	1182,18	4228,22	84,56	15,4				
3/8	9,50	464,49	4692,71	93,85	6,1	10	30		
Nº4	4,80	303,03	4995,74	99,91	0,1	0	5		
BASE		2,86	4998,60	99,97					
SUMA =		4998,60	TAMAÑO MAX =2"						
PÉRDIDAS =		1,40							
M.F. =		7,63							

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-10: Control del Granulométrico del Agregado Grueso (grava) ASTM-C39.



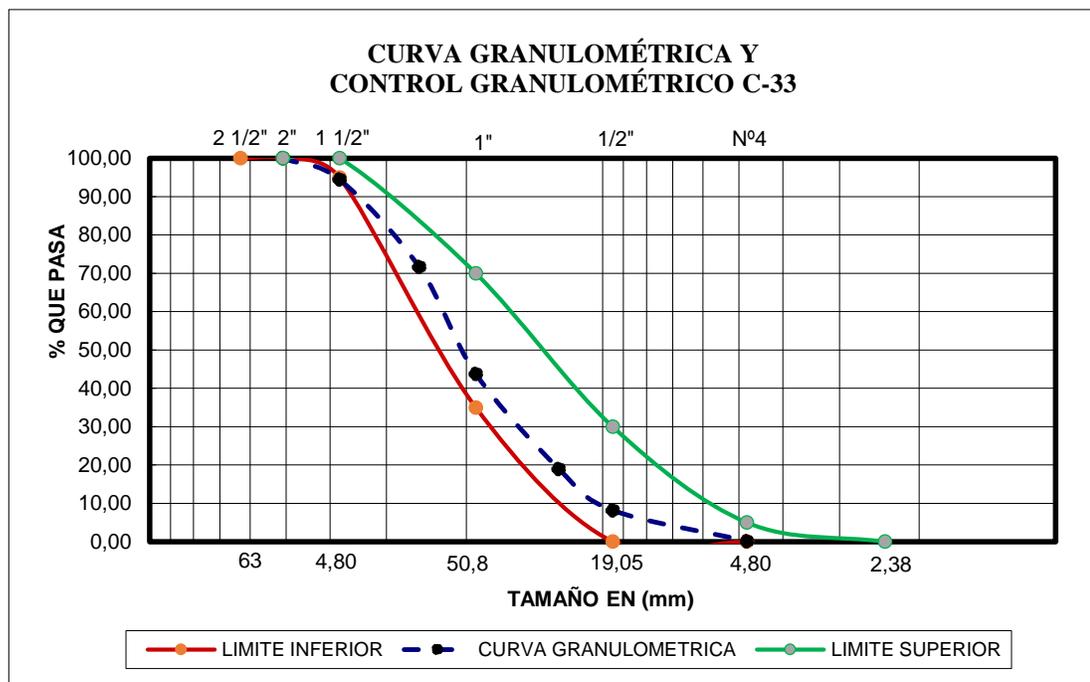
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV-11: Granulometría Promedio Agregado Grueso Santa Rosa.

GRANULOMETRÍA PROMEDIO					Peso Total (gr.) = 500				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa Especif. ASTM			
			(gr)	(%)					
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100		
1 1/2	38,10	276,01	276,01	5,52	94,5	95	100		
1	25,40	1142,46	1418,47	28,37	71,6				
3/4	19,05	1394,14	2812,61	56,25	43,7	35	70		
1/2	12,50	1238,54	4051,15	81,02	19,0				
3/8	9,50	541,00	4592,15	91,84	8,2	10	30		
Nº4	4,80	402,80	4994,95	99,90	0,1	0	5		
BASE		2,93	4997,88	99,96					
SUMA =		4997,88	TAMAÑO MAX =2"						
PÉRDIDAS =		2,12							
M.F. =		7,54							

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-11: Control del Granulométrico del Agregado Grueso (grava) ASTM-C39.



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.5.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos se puede analizar lo siguiente:

Agregado fino:

La curva granulométrica del árido fino de la cantera de Boyuy sobresale del límite superior establecida por la norma ASTM C-33.

Las restantes curvas granulométricas de las siguientes cuencas no se salen de los límites respectivos pero están muy cerca del límite superior de la curva debido a la presencia de un porcentaje elevado de material fino en cada una de las cantera seleccionadas para este fin.

El análisis granulométrico de la arena se complementa calculando su módulo de finura, que es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de la serie estándar. De ordinario, se considera que la arena presenta un módulo de finura no adecuado para la fabricación de concreto, debido a que en la mayoría de las canteras en estudio éstos son valores muy bajos; lo que confirma lo mencionado anteriormente incluso llegando a obtener un valor por debajo

del mínimo permitido para la elaboración de hormigones de la cantera de Zapatera Centro.

Las arenas de las canteras en estudio cuyo módulo de finura son inferiores a 2,4, normalmente se consideran demasiado finas y son muy perjudiciales para esta aplicación, porque suelen requerir mayores consumos de pasta de cemento, lo cual repercute adversamente en los cambios volumétricos y en el costo del concreto.

La totalidad de las curvas granulométricas son continuas, lo que nos da la certeza de que los hormigones elaborados con estos materiales están menos expuestos a la segregación y son más trabajables.

Las granulometrías del árido fino no se presentan grandes diferencias entre una cuenca con respecto a otra y en su mayoría el material fino predomina en la totalidad de las canteras.

En las Tablas IV-1, IV-2, IV-3, IV-4 y IV-5 se muestran las granulometrías promedio de 10 ensayos hechos por cada cantera. Como también en las figuras IV-1, IV-2, IV-3, IV-4 y IV-5 se muestra el comportamiento granulométrico por medio de las curvas granulométricas de acuerdo a la norma (ASTMC C75 ASTHO 12).

Agregado grueso:

Al igual que la granulometría fina el agregado grueso tampoco queda al margen de presentar su granulometría con la presencia de porcentajes de las mallas más finas son elevadas a los límites según norma.

Las curvas granulométricas obtenidas nos muestran que en la mayoría de las cuencas en estudio se encuentran con la presencia de poco material granular fino en las últimas gradaciones de la serie de tamices empleada en base a la norma AST-C33 y por consiguiente el material granular de mayor tamaño predomina lo que al representarle mediante la curva granulométrica el inicio de la curva se encuentra muy pegado al límite inferior.

La granulometría de la cantera de Zapatera Centro la gradación de sus tamices están por bajo del límite inferior, por lo que se nota claramente la presencia mayor porcentaje de material grueso con relación a la cantidad del material granular más fino.

Debido a que todas las curvas granulométricas cumplen el grado de ser continuas, esto no implica que son materiales bien graduados debido a que las proporciones granulométricas entre el material granular más fino con el más grueso son notorios y ésto lleva a que se tengan que utilizar arenas más gruesas y óptimas para evitar la segregaciones en la elaboración de hormigones especialmente las canteras de Boyuy y Zapatera Centro.

Por tanto es recomendable utilizar otros bancos para la extracción de arena para la elaboración de hormigones con el árido grueso de estas canteras mencionadas anteriormente.

En las Tablas IV-7, IV-8, IV-9, IV-10, y IV-11 se muestran las granulometrías promedio de 10 ensayos hechos por cada cantera.

El tamaño máximo nominal es el que nos indica qué límites se deben escoger para elaborar la gráfica y saber si cumple la norma, ya que con éste se logran saber dichos límites; en las figuras IV-7, IV-8, IV-9, IV-10, y IV-11 se observan estos límites y gracias a éstos es que se pudo concluir que el agregado grueso no cumple las especificaciones de la norma (ASTMC C75 ASTHO 12).

Tamaño máximo (TM).

Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad del agregado. De manera práctica representa el tamaño el tamaño más grande que representa la muestra.

Tamaño máximo nominal (TMN).

El tamaño máximo nominal de las partículas es el mayor tamaño del tamiz, listado anteriormente en la norma aplicable, sobre el cual se permite la retención de cualquier material. Es más útil que el tamaño máximo porque indica el tamaño de la partícula más grande de la masa de agregados, la cual puede ser única.

El tamaño máximo y el tamaño máximo nominal se determinan generalmente al agregado grueso únicamente.

Existen varias razones para especificar límites en las granulometrías y el tamaño máximo del agregado. La granulometría y el tamaño máximo afectan las proporciones relativas de los agregados, así como la cantidad de agua y cemento necesarios en la mezcla y también la manejabilidad, la economía, la porosidad y la contracción del concreto.

Las variaciones en la gradación pueden afectar seriamente la uniformidad de una mezcla a otra. En general, los agregados deben tener partículas de todos los tamaños con el fin de que las partículas pequeñas llenen los espacios dejados por las partículas más grandes de esta forma se obtiene un mínimo de huecos o sea una máxima densidad.

Módulo de finura

Otra de las características de los áridos tanto el grueso (grava) como el fino (arena) que tiene que ver el tamaño de sus granos se denomina módulo de fineza, especialmente en la arena debido a que este parámetro es muy importante a la hora de la dosificación; al mismo tiempo nos determina con qué clase de arena estamos elaborando los hormigones. Este parámetro tiene una gran importancia e influencia en las propiedades de un hormigón, por eso la importancia de determinar este valor.

El módulo de finura especialmente de la arena es muy importante para obtener mezclas dóciles y trabajables, pero también influyen a gran medida en obtener malos resultados especialmente en la resistencia a compresión si son muy finas, los parámetros

recomendados de una buena arena apta para la elaboración hormigones normales es de 2,3 a 3,1.

Para la determinación del módulo de fineza fue realizada de acuerdo a norma en base a los 10 ensayos realizados para cada una de las granulometrías de cada cantera tanto para la grava como así también de la arena, estos resultados fueron calculados con la ecuación E-IV-1 para los áridos finos (grava) y con la ecuación E-IV-2 para los áridos gruesos (grava).

Las ecuaciones mencionadas anteriormente se presenta con las siguientes expresiones:

$$M.F. = \frac{\sum \% Ret. acum. (3/8'' + N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100)}{100} \text{ Ecuación IV - 1}$$

$$M.F. = \frac{\sum \% Ret. acum. (3'' + 1 1/2'' + 3/4'' + 3/8'' + N^{\circ} 4)}{100} \dots \dots \dots \text{ Ecuación IV - 2}$$

Tabla IV-12: Módulo de Finura de Arena y Grava

Canteras	Módulo de finura MF (FINO)	Módulo de finura MF (GRUESO)
BOYUY	2,51	7,62
ZAPATERA CENTRO	2,49	7,59
FUERTE VIEJO	2,56	7,25
CHIRIMOYAL	2,81	7,63
SANTA ROSA SUR	2,58	7,54

Fuente: Elaboración propia

IV.1.6. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.

Árido Fino (Arena).

Los ensayos realizados de peso específico y absorción para la grava y arena se realizaron en 10 por cantera. En la Tabla IV-13, se resumen los datos promedios de las canteras en base a la procedimiento para la obtención del peso específico y absorción según norma (ASTM C 127 AASHTO T85) para áridos finos.

Tabla IV-13: *Peso Específico y Absorción Promedio.*

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS FINOS				
Canteras	Peso Específico	Unidad	Absorción	Unidad
BOYUY	2,03	Kg/cm ³	1,85	%
ZAPATERA CENTRO	2,30	Kg/cm ³	1,61	%
FUERTE VIEJO	2,28	Kg/cm ³	1,30	%
CHIRIMOYAL	2,50	Kg/cm ³	1,07	%
SANTA ROSA SUR	2,55	Kg/cm ³	1,76	%

Fuente: Elaboración propia

Árido Grueso (Grava)

En las Tabas IV-14 se resumen los datos promedios de las canteras en base a el procedimiento para la obtención del peso específico y absorción según norma (ASTM C 128 AASHTO T84) para áridos finos.

Tabla IV-14: *Peso Específico y Absorción Promedio.*

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS GRUESOS				
Canteras	Peso Específico	Unidad	Absorción	Unidad
BOYUY	2,52	Kg/cm ³	2,04	%
ZAPATERA CENTRO	2,51	Kg/cm ³	2,23	%
FUERTE VIEJO	2,59	Kg/cm ³	2,20	%
CHIRIMOYAL	2,72	Kg/cm ³	2,32	%
SANTA ROSA SUR	2,59	Kg/cm ³	2,38	%

Fuente: Elaboración propia

IV.1.7. PESOS UNITARIOS.

El peso unitario es una propiedad física importante porque es la que nos indica el grado de acomodamiento de las partículas y entre menor sea éste menor será el volumen de vacíos entre partículas que hacen que las mezclas sean más económicas por la menor cantidad de huecos a der llenadas con la pasta de cemento.

Así mismo mientras mayor sea el peso unitario habrá mayor cantidad de granos lo cual depende de la granulometría, forma, tamaño, textura y el tamaño de los mismos. Los parámetros según norma establecen un rango entre 1,2 a 1,75 g/cm³.

Para el cálculo de los pesos unitarios suelto y compacto, se hicieron para cada cantera 10 ensayos en el caso del árido fino y 10 en el caso del árido grueso. Se han hecho siguiendo el los procedimientos por la norma (ASTM E 30 ASTM C 29). La totalidad de los ensayos restantes que fueron tomados en cuenta para determinar la media los mismos valores obtenidos se presentan en las Tablas IV-15 y IV-16 para los áridos finos. Como también en las Tablas IV-16 y IV-17 para los áridos gruesos que se siguen a continuación:

Árido Fino (Arena).

Los pesos unitarios sueltos y compactos para el árido fino se presentan en la siguientes tablas:

Tabla IV-15: Pesos Unitarios Suelos.

PESOS UNITARIOS SUELTOS ÁRIDO FINO		
Canteras	Peso Unitario	Unidad
BOYUY	1,584	gr/cm ³
ZAPATERA CENTRO	1,587	gr/cm ³
FUERTE VIEJO	1,279	gr/cm ³
CHIRIMOYAL	1,602	gr/cm ³
SANTA ROSA SUR	1,482	gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-16: Pesos Unitarios Compactados.

PESOS UNITARIOS COMPACTOS ÁRIDO FINO		
Canteras	Peso Unitario	Unidad
BOYUY	1,731	gr/cm ³

ZAPATERA CENTRO	1,706	gr/cm ³
FUERTE VIEJO	1,488	gr/cm ³
CHIRIMOYAL	1,897	gr/cm ³
SANTA ROSA SUR	1,655	gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia

Árido Grueso (Grava).

Tabla IV-17: Pesos Unitarios Suelos.

PESOS UNITARIOS SUELTOS ÁRIDO GRUESO		
Canteras	Peso Unitario	Unidad
BOYUY	1,513	gr/cm ³
ZAPATERA CENTRO	1,506	gr/cm ³
FUERTE VIEJO	1,481	gr/cm ³
CHIRIMOYAL	1,524	gr/cm ³
SANTA ROSA SUR	1,402	gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-18: Pesos Unitarios Compactados.

PESOS UNITARIOS COMPACTOS ÁRIDO GRUESO		
Canteras	Peso Unitario	Unidad
BOYUY	1,573	gr/cm ³
ZAPATERA CENTRO	1,612	gr/cm ³
FUERTE VIEJO	1,611	gr/cm ³
CHIRIMOYAL	1,623	gr/cm ³
SANTA ROSA SUR	1,625	gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia

Los pesos unitarios obtenidos se encuentran dentro de los límites para la elaboración de hormigones normales, de acuerdo a norma en todas las canteras elegidas para la presente investigación.

IV.1.8. DESGASTE.

Ésta es la prueba que más se aplica para averiguar la calidad global estructural del agregado grueso. Este método establece el procedimiento a seguir para determinar el desgaste, por abrasión, del agregado grueso, menor de 1 ½" (38 mm), utilizando la máquina de los ángeles.

El método consiste en analizar granulométricamente un árido grueso, para preparar una muestra de ensayo que será sometida a abrasión en la máquina de Los Ángeles para luego expresar la pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial.

El índice de desgaste de un árido está relacionado con su resistencia a la abrasión por medios mecánicos y también con la capacidad resistente de los hormigones con él fabricados; cobra particular importancia en áridos empleados en hormigones de pavimentos.

El índice de desgaste de un árido está relacionado con su resistencia a la abrasión por medios mecánicos y también con la capacidad resistente de los hormigones, este índice cobra particular importancia generalmente para áridos empleados en hormigones y pavimentos.

En la Tabla B.2.1 del anexo B con sus respectivos grados para diferentes combinaciones. Para realizar los ensayos se empleó el grado cuatro debido a que las granulometrías del agregados tienen mayor porcentajes a comparación de los más finos para el grado cuatro la combinación es de 1 ½" a 3/8", otro factor que lleva a tomar esta combinación es que en la mayoría de los ensayos de caracterización está más dirigida a la obtención de las propiedades para la elaboración de hormigones.

La cantidad de ensayos para el desgaste de Los Ángeles fue de 5 ensayos por cantera respectivamente los cuales se detallan en el Anexo A.

A continuación se muestra la Tabla IV-18 para el muestreo y cantidades requeridas para los ensayos requeridos de acuerdo al grado utilizado para los ensayos para cada una de las canteras en estudio.

Tabla IV-19: Grado y cantidades de muestra para los ensayos

GRADO		4	5	6	7
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACIÓN		30	15	15	15

Fuente: Referencia 1

Para la prueba de desgaste fue empleada la máquina de Los Ángeles para los áridos gruesos (grava) para cada cantera, los resultados promedios se reflejan en las siguientes Tablas IV-19 y IV-20, de acuerdo a la norma (ASTM C 131 AASHTO T96)

Tabla IV-20: Datos del laboratorio para los ensayos de los ángeles.

CANTIDAD DE MATERIAL POR GRADO							
GRADO 4		GRADO 5		GRADO 6		GRADO 7	
TAMI Z	PESO RETENID O	TAMI Z	PESO RETENID O	TAMI Z	PESO RETENID O	TAMI Z	PESO RETENID O
1"	1250	1/2"	2500	1/4"	2500	N°8	5000
3/4"	1250	3/8"	2500	N°	2500		
1/2"	1250						

3/8"	1250						
------	------	--	--	--	--	--	--

Fuente: Referencia I

Tabla IV-21: Desgaste de Los Ángeles

GRADO	CANTERAS	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
4	BOYUY	40,38	35 % MAX
4	ZAPATERA CENTRO	39,39	35 % MAX
4	FUERTE VIEJO	36,64	35 % MAX
4	CHIRIMOYAL	25,42	35 % MAX
4	SANTA ROSA SUR	34,77	35 % MAX

Fuente: elaboración propia

IV.1.9. DESINTEGRACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS SULFATOS.

La de desintegración de los fueron realizados por medio del método los sulfatos de acuerdo a la norma (ASTM C 88 ASSHTO T104).

La solución empleada a utilizar para estos ensayos es el sulfato de magnesio para la desintegración por el método de los sulfatos este ensayo sólo se lo realizó con el árido grueso de cada cantera con un solo ensayo por cantera debido al tiempo que se requiere y para cada ensayo los números de ciclos fue de 5 por ensayo.

La precisión para el agregado grueso con un promedio ponderado de pérdidas por estabilidad a desintegración por dentro de un rango de 6% a 16% para sulfatos de sodio y de 9% a 20% para sulfatos de magnesio.

Es realizado sólo a los materiales granulares (grava) únicamente, para todas las canteras. Los mismos resultados promedios se reflejan en la Tabla IV-21 a continuación:

Tabla IV-22: Desintegración método de los sulfatos de áridos gruesos.

Canteras	% de Desgaste	Especificación ASTM
BOYUY	24,60	20% MAX
ZAPATERA CENTRO	23,70	20% MAX

FUERTE VIEJO	22,60	20% MAX
CHIRIMOYAL	16,30	20% MAX
SANTA ROSA SUR	22,40	20% MAX

Fuente: Elaboración propia

IV.1.10. CUANTIFICACIÓN DE PIEDRA DE COLOR ROJIZO.

La pizarra es una roca metamórfica homogénea formada por la compactación de arcillas a altas temperaturas. Se presenta generalmente en un color opaco azulado oscuro y se divide fácilmente en lascas o de forma redondez por el arrastre siendo por esta característica que es imposible eliminarlas en los áridos para tener mejores resultados de las propiedades de los mismos.

Su origen: Procede de la transformación de ciertas rocas sedimentarias, como las arcillas, que son sometidas a fuertes presiones originadas por movimientos tectónicos (procesos que causan, por ejemplo, la formación de montañas). La pizarra se forma cuando los minerales de la arcilla que integran rocas de grano fino, como la pelita, se transforma en mica o clorita.

La principal característica de la pizarra es su división en finas láminas o capas, característica conocida como foliación o esquistosidad. Los minerales que la forman son principalmente **Cuarzo y moscovita**.

Suele ser de color negro azulado o negro grisáceo, pero existen variedades rojas, verdes y otros tonos.

La cuantificación de la piedra pizarra no está realizada en su totalidad debido a que se realizó de manera manual a simple inspección ya que sólo se tomó en cuenta las pizarras rojizas y no así en la totalidad de las piedras debido a la diversidad de colores, los ensayos realizados por cantera son 5 presentados en el Anexo A, y a continuación se presenta un cuadro de la de los porcentajes medios de cada cantera presentados en la siguiente Tabla IV-22

Tabla IV-23: Cuantificación de piedra de color rojizo

Canteras	Peso de la muestra	Peso de la piedra rojiza	Peso final	%
BOYUY	5000	321,2	4678,8	6,42
ZAPATERA CENTRO	5000	300,4	4699,6	6,01
FUERTE VIEJO	5000	255,6	4744,4	5,11
CHIRIMOYAL	5000	128,1	4871,9	2,56
SANTA ROSA SUR	5000	250,9	4749,1	5,02

Fuente: Elaboración propia

IV.2. DOSIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS CARACTERIZADOS.

Al dosificar un hormigón deben tener en cuenta tres factores fundamentales, La resistencia, la consistencia y el tamaño máximo del árido grueso que son los datos a partir de los cuales se determinan las cantidades necesarias de cemento, áridos y agua.

Determinación de la resistencia de mezcla.

Para determinar la resistencia característica se toma en cuenta si los bancos cuentan con datos mayores de 30 para obtener el valor de una desviación estándar para la obtención de la resistencia característica de la mezcla.

Cuando no se cuenta con estos datos la norma ACI recomienda emplear las tablas del anexo B tabla B.2.1 para la elaboración de hormigones.

También la norma establece que se puede asumir las siguientes expresiones en base al grado de control de calidad de obra que son los siguientes:

Regular a malo = $1,3$ a $1,5 * f_c$

Bueno = $1,2 * f_c$

Excelente = $1,1 * f_c$

Determinación de la fluidez o asentamiento.

La fluidez que se desea otorgar al hormigón queda definida en este método en base al asentamiento de cono, el que se puede establecer usando como referencia la Tabla B.2.3 del anexo B respectivamente.

Esta Tabla define un rango aceptable de asentamientos para diversos tipos de elementos estructurales. Debe señalarse que esta definición es relativamente imprecisa, pues, por una parte, el rango señalado es bastante amplio y, por otra, la gama de elementos estructurales considerados es restringida y delimitada en forma poco precisa.

Determinación del tamaño máximo.

La determinación del tamaño máximo aceptable del árido más grueso de la dosificación del hormigón se efectúa con Tabla IV-33 que establece un rango de tamaños máximos aplicables a diversos elementos estructurales en función de la dimensión mínima de la sección. El TM debe precisarse en el rango señalado, aumentándolo mientras mayor sea la dimensión del elemento.

Tabla IV-24: Tamaño máximo recomendado (mm.) en función de la dimensión mínima de la sección (ACI)

Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción				
Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pul. (mm.)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 - 15	1/2"(12) - 3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19) - 1"(25)	3/4"(19) - 1 3/4"(38)
19 - 29	3/4"(19) - 1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38) - 3"(76)
30 - 74	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)
75 o más	1 1/2"(38) - 3"(76)	6"(152)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76) - 6"(152)

Fuente: Referencia 1

Según la norma ACI 211

$$D_n \begin{cases} 1/5 \text{ de la menor dimensión interna del encofrado} \\ < 3/4 \text{ del espacio libre entre armaduras} \\ 1/3 \text{ del espesor de las losas armadas} \end{cases}$$

Cuando se desea hormigón de alta resistencia se pueden obtener mejores resultados con el uso de áridos de menor tamaño máximo nominal, ya que éstos producen mayores resistencias para una razón A/C dada.

Determinación de la dosis de agua.

Se emplea la Tabla B.2.4, del Anexo B que establece la cantidad de agua expresada en l/m^3 de hormigón colocado y compactado, en función del asentamiento de cono definido y del tamaño máximo determinados anteriormente. Se debe distinguirse el caso del empleo de aire incorporado, ya que éste permite una reducción de la dosis de agua por su efecto plastificador. Esta misma parte de la tabla puede emplearse en el caso de haber previsto el uso de un aditivo plastificador.

El asentamiento asumido para esta dosificación se empleó el mismo para todas las canteras que son los asentamientos más óptimos para la elaboración de hormigones.

Determinación de la razón Agua/Cemento.

Las Tablas B.2.5 del Anexo B, definen la razón agua/cemento en función de la resistencia media y especificada para el hormigón, respectivamente, en probetas cilíndricas.

Cálculo de la cantidad de cemento.

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado de la Tabla B.2.4, dividido entre la relación A/C de Tabla B.2.5 del Anexo B, no obstante la especificación incluye por separado un límite mínimo de cemento además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en aquel criterio que conduzca a la mayor cantidad de cemento.

Estimación de la cantidad de agregado grueso.

Los áridos esencialmente similares en granulometría y en tamaño máximo producen un hormigón de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplee un volumen determinado de árido grueso y seco, compactado con varilla, por volumen unitario de hormigón.

Se puede observar que para obtener una trabajabilidad similar, el volumen de árido grueso para un volumen unitario de hormigón sólo depende de su tamaño máximo y del módulo de fineza del árido fino, los volúmenes necesarios en la dosificación se presentan en la Tabla B.2.6 del Anexo B.

Cantidad de arena, grava, agua y cemento en las dosificaciones.

Las cantidades de materiales por metro cúbico para cada una de las canteras de la investigación y porciones de mezclas, las mismas se detallan en las Tablas IV-36 a IV-41 promedios para cada una de las canteras seleccionadas que se presenta a continuación:

Tabla IV-25: Cantidad de materiales necesarios para la dosificación.

INGREDIENTES	CANTIDADES DE INGREDIENTES PARA LA DOSIFICACIÓN DE CADA CANTERAS					UNIDAD
	BOYUY	ZAPATERA CENTRO	FUERTE VIEJO	CHIRIMOYAL	SANTA ROSA SUR	
CEMENTO	354,17	338,78	340	343,43	350,52	kg/m ³
AGUA	192,25	177,65	191,19	182,73	195,75	Lt/m ³
GRAVA	1173,25	1256,53	1208,97	1166,4	1165,17	kg/m ³
ARENA	522,52	539,78	593,13	749,6	693,05	kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-26: Proporción de materiales necesarios para la dosificación.

INGREDIENTES	PROPORCIONES DE INGREDIENTES PARA LA DOSIFICACIÓN DE LAS CANTERAS
--------------	---

	BOYUY	ZAPATERA CENTRO	FUERTE VIEJO	CHIRIMOYAL	SANTA ROSA SUR
CEMENTO	1	1	1	1	1
AGUA	-	-	-	-	-
GRAVA	3,3	3,7	3,5	3,4	3,3
ARENA	1,5	1,6	1,7	2,2	2

Fuente: Elaboración propia

IV.3. RESISTENCIAS OBTENIDAS CON DATOS MEDIOS DE CADA UNA DE LAS CANTERAS.

Para la obtención de las resistencias se dosificó para un total de 10 probetas por cantera, las mismas en las que se toman en cuenta todas resistencias que están en rango de ± 10 de la resistencia de diseño.

En su totalidad de las probetas de cada una de las canteras el ensayo de rotura se lleva a cabo después de cada 28 días calendario, los las resistencias de las canteras de Boyuy, Zapatera Centro, y Fuerte Viejo no llegan a la cumplir con las resistencias a las que fueron diseñadas.

Las resistencias media obtenidas en cada cantera se presentan en la Tabla IV-41. Y en el Anexo A se presentan todas las resistencias obtenidas de cada probeta.

Tabla IV-27: Resistencias promedio a los 28 del vaciado de las probetas.

Canteras	Resistencia (Kg/cm ²)
BOYUY	205,84
ZAPATERA CENTRO	209,11
FUERTE VIEJO	210,79
CHIRIMOYAL	215,70
SANTA ROSA SUR	211,86

Fuente: Elaboración propia

IV.4. CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LAS 5 CANTERAS

ENSAYOS	AGREGADOS	CANTERAS					UNIDAD
		BOYUY	ZAPATERA CENTRO	FUERTE VIEJO	CHIRIMOYAL	SANTA ROSA SUR	
MÓDULO E FINURA	GRAVA	7,62	7,59	7,25	7,63	7,54	-
	ARENA	2,49	2,49	2,56	2,81	2,58	-
PESO ESPECIFICO REAL	GRAVA	2,52	2,51	2,59	2,72	2,59	Kg/cm ³
	ARENA	2,03	2,3	2,28	2,5	2,55	Kg/cm ³
ABSORCIÓN	GRAVA	2,2	2,32	2,2	2,32	2,38	%
	ARENA	1,85	1,61	1,3	1,07	1,76	%
PESO UNITARIO SUELTO	GRAVA	1,513	1,506	1,481	1,524	1,402	Kg/cm ³
	ARENA	1,584	1,587	1,279	1,602	1,482	Kg/cm ³
PESO UNITARIO COMPACTO	GRAVA	1,573	1,612	1,611	1,623	1,625	Kg/cm ³
	ARENA	1,731	1,706	1,488	1,897	1,655	Kg/cm ³
DESGASTE DE LOS ANGELES	GRAVA	40,38	39,39	36,64	25,42	34,77	%
DESINTEGRACIÓN POR MEDIO DE SULFATOS	GRAVA	24,6	23,7	22,6	16,3	22,4	%
DESINTEGRACIÓN POR MEDIO DE LOS ÁNGELES	GRAVA	6,42	6,01	5,11	2,56	5,02	%
RESISTENCIAS		205,84	209,11	210,79	215,7	211,86	Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1. CONCLUSIONES.

- ❖ La caracterización de los áridos, fino y grueso de las canteras de mayor explotación en el municipio, son un factor fundamental en el diseño de mezclas de hormigón, pues, las cantidades por metro cubico son dependientes de la granulometría, el módulo de fineza, pesos unitarios, el tamaño máximo del árido, etc.
- ❖ Este proyecto de investigación viene a llenar un vacío en cuanto a datos inexistentes en el municipio en la área de construcción, los datos de las propiedades de los áridos son de gran importancia debido a que los mismos constituyen el esqueleto de toda obra civil.
- ❖ De todas las canteras seleccionadas para este proyecto se concluye que los áridos que se emplean en el municipio tienen una fuerte contaminación de finos los mismos que para la obtención de hormigones se tienen que emplear más cemento lo que encarece significativamente el costo en la construcción.
- ❖ Los materiales que emplea el municipio, cumplen con resistencia en laboratorio debido a las mejoras y lavados que se les realiza a los mismos. No ocurre lo mismo en obra, lo cual quedo demostrado con este proyecto de investigación, especialmente con las canteras que tienen mucho arrastre de arcillas y limos, ya que en obra no se realiza ninguna mejora ni lavado extra antes de la elaboración de hormigones.
- ❖ La presencia extra de agregados finos (o comercialmente llamados “sucios”) respecto de lo establecido, trae como consecuencia una mayor demanda de la relación a/c en los hormigones elaborados con estos materiales, en la mayoría de los bancos estudiados, que implica un costo mayor para la limpieza y tamizado del material para obtener una granulometría óptima de los arados finos.

- ❖ De los 5 bancos caracterizados los bancos de Boyuy y Zapatera Centro sus granulometrías se salen de los límites de acuerdo a norma, lo que nos indica que sus arenas son finas, de tal forma que sus resistencias a la compresión de un hormigón con estas arenas son muy limitadas.
- ❖ Los métodos de explotación de áridos, naturales o pétreos, relevados en las zonas de estudios, presentan una deficiencia en la separación de las impurezas, limos y arcillas especialmente en las canteras Boyuy y Zapatera debido a la presencia de muchos finos, y también por la escasez de agua en estas canteras debido al corto tiempo con que se cuenta de agua superficial para el lavado en cualquier estación del año lo que no permiten explotar estas canteras continuamente.
- ❖ De la totalidad de los bancos en estudio, la cantera de Chirimoyal cuenta con materiales aptos para la elaboración de hormigones, no tanto por sus granulometrías sino por la presencia de sus materiales con menos contaminación de materiales que son desfavorables para conseguir las resistencias más útiles en la construcción civil. Y a la presencia de sus materiales con mejores propiedades y menor cantidad piedra rojiza en el árido grueso.
- ❖ De las canteras seleccionadas para esta caracterización se puede afirmar que la única cantera que se puede utilizar el material grueso (grava) para la elaboración de cementos asfálticos es la cantera de Chirimoyal pero con el cumplimiento de sus características mínimas para este fin. No tanto por la granulometría, sino por la facilidad al desgaste debido a la presencia de pizarras y en cuanto a las demás canteras el porcentaje de este material en el árido son mucho más visibles, especialmente en el árido grueso.

- ❖ Es notoria la presencia piedra pizarra especialmente en las cabeceras de las cuencas, que se presentan en mayor cantidad y a medida que avanza la distancia de arrastre aguas abajo los porcentajes disminuyen considerablemente lo que se puede afirmar que en su totalidad de los bancos con que cuenta el municipio se encuentran contaminados con este material.
- ❖ Por la presencia elevada de pizarras los materiales de todas las canteras estudiadas no son recomendables para la elaboración de bases para el asfaltado de carreteras por el alto porcentaje al desgaste que presentan estos materiales, pero también es problema en la elaboración de hormigones por la porosidad interna de la grava, que son huecos que no pueden ser cubiertos totalmente por la pasta de cemento llevando al hormigón al envejecimiento más rápido y a la oxidación más fácil del acero.
- ❖ Las propiedades obtenidas del árido fino y grueso de cada una de los bancos seleccionados con fin de su caracterización los resultados no tienen una variación significativa entre los bancos de Boyuy, Zapatera Centro, Fuerte Viejo y Santa Rosa Sur.
- ❖ La eliminación parcial de limos, arcilla y materia orgánica en la arena es costosa, más aún cuando el lavado se realiza por medio de graveras que no cuentan con ningún mecanismo de lavado que sea el óptimo para la eliminación de los desechos mencionados anteriormente, los que son totalmente perjudiciales para obtener resultados satisfactorios en la elaboración de hormigones.
- ❖ Los productos de un proceso de investigación científica no son estáticos y solo pueden ser comprados o refutados a través de más investigación. En consecuencia, la comunidad en este tipos de trabajo es un factor fundamental para el logro de mejores resultados.

V.2. RECOMENDACIONES.

- ❖ Para determinar las resistencias de los hormigones con los materiales de las canteras en estudio se deben realizar tal como se extrae los áridos de las graveras, debido a que en obra estos materiales son utilizados, y no forzar lavando en laboratorio los materiales necesarios para los resultados satisfagan el cumplimiento de los pliegos de especificación técnica de los proyectos en la etapa de ejecución.
- ❖ Es recomendable que para la mayoría de los proyectos donde se requieren resistencias a la compresión se utilicen los materiales de la cantera de Chirimoyal, pues es la que cuenta con mejores propiedades dentro de sus características por lo cual los resultados son los más garantizados en comparación con las otras canteras ensayadas en la presente investigación.
- ❖ Cuando se quiera utilizar estos áridos para la elaboración de hormigones, se tiene aumentar un 10% ciento de cemento para la obtención de las resistencias de diseño para una mayor confiabilidad, debido a que las áreas son pésimas para este fin y con este porcentaje se pueda compensar esta deficiencia de la arena.
- ❖ Antes de emplear estos materiales en cualquier obra civil se deben realizar los ensayos pertinentes y no realizar comparaciones de las características de estos bancos con otros similares o de la misma cuenca, pero en otra comunidad diferente.