

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Caracterización de los Agregados y Propiedades Físico –
Mecánicas para uso del Laboratorio de hormigones.**

Proyecto de Investigación

Luis Santiago Navas Figueroa

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación de pregrado presentado como requisito

para la obtención del título de

Ingeniero Civil

Quito, 14 de mayo de 2019

Universidad San Francisco de Quito USFQ
Colegio Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Caracterización de los Agregados y Propiedades Físico Mecánicas para Uso
del Laboratorio de Hormigones

Luis Santiago Navas Figueroa

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico:

Ing. Gustavo Tapia, MDI.

Firma del profesor:

Quito, 14 de mayo de 2019

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Luis Santiago Navas Figueroa

Código: 00115474

Cédula de Identidad: 1722079934

Lugar y fecha: Quito, 14 de mayo de 2019

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a mis padres que han sido el pilar fundamental de mi vida, me han enseñado a nunca rendirme a pesar de todo. A mis hermanas que me han enseñado a trazarme metas y cumplirlas.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de cumplir una de mis metas. De igual manera agradezco a mi familia por ser siempre ese apoyo incondicional, a mi novia y amigos por estar presentes a lo largo de esta etapa importante en mi vida.

Resumen

Este trabajo se realizó con el fin de identificar las propiedades físico-mecánicas de los agregados de las canteras que se encuentran a las afueras de ciudad de Quito. Se escogieron 5 canteras al azar, en las cuales, se procedió estudiar las características tanto de los agregados fino como gruesos para de esta manera saber cómo se va a comportar en una mezcla de hormigón. Dichas características se las va a obtener mediante la ayuda de la American Society for Testing Materias (ASTM), las cuales nos ayudaran a identificar resistencia a la abrasión, densidades, tamaños nominales, impurezas, entre otros. Para la mezcla de hormigón, se decidió usar una relación agua/cemento (W/C) de 0.5 para de esta manera poder identificar las variantes que existen en el uso de los diferentes agregados. Una vez realizada la mezcla se procederá a ensayar cilindros de hormigón correspondientes a las canteras de estudio en donde se identificará la resistencia máxima de los mismos para diferentes edades, las cuales son: 7, 14, 28 días. En dichos ensayos se puede apreciar que las canteras del Río Guayllabamba y la Mina de Copeto tienen un mejor desempeño en lo que se refiere a mezclas. Sin embargo, la Mina de Copeto está ubicada en Santo Domingo, lo cual aumentaría los costos de transporte lo cual deberá ser analizado. A pesar de arrojar dichos resultados se puede apreciar que con los agregados de las demás canteras de estudio también se puede llegar a las resistencias necesarias siempre y cuando se realicen los ensayos necesarios para optimizar su dosificación y asegurar su desempeño.

Palabras clave: ASTM, W/C, cantera, resistencia.

Abstract

This work was carried out in order to identify the physical and mechanical properties of the aggregates of the quarries located outside of the city of Quito. Five quarries were chosen at random, in which we proceeded to study the characteristics of both the fine and coarse aggregates in order to know how they will behave in a concrete mixture. These characteristics will be obtained with the help of the American Society for Testing Matters (ASTM), which will help us identify resistance to abrasion, densities, nominal sizes, impurities, among others. For the concrete mix, it was decided to use a water / cement ratio (W / C) of 0.5 in order to identify the variants that exist in the use of the different aggregates. Once the mixture is made, concrete cylinders corresponding to the study quarries will be tested where the maximum resistance of the same will be identified for different ages, which are: 7, 14, 28 days. In these tests the quarries of the Guayllabamba River and the Copeto Mine have a better performance in terms of mixtures. However, the Copeto Mine is located in Santo Domingo, which would increase transportation costs, which should be analyzed. Despite these results, with the aggregates of the other study quarries, the necessary resistances can also be reached as long as the necessary tests are carried out to optimize their dosage and ensure their performance.

Key words: ASTM, W/C, quarry, strength.

Tabla de contenido

1.	CAPITULO 1.....	14
1.1.	Introducción	14
1.2.	Antecedentes.....	15
1.3.	Objetivos.....	16
1.4.	Justificación	16
2.	CAPITULO 2.....	17
2.1.	Geología del Distrito Metropolitano de Quito.....	17
2.2.	Hormigón.....	19
2.2.1.	Problemas en el hormigón ocasionados por los agregados 21	
2.3.	Canteras de estudio y generalidades	23
3.	CAPITULO 3.....	27
3.1.	Propiedades de los agregados	27
3.1.1.	Muestreo de agregados ASTM D 75.....	27
3.1.2.	Granulometría ASTM C 136	29
3.1.3.	Material fino que pasa del tamiz N°200 – ASTM C117	41
3.1.4.	Resistencia a la abrasión e impacto agregado grueso ASTM C131 43	
3.1.5.	Point load test ASTM 5731.....	45
3.1.6.	Densidad y absorción agregado grueso ASTM C127	47
3.1.7.	Densidad y absorción agregado fino ASTM C128.....	48

3.1.8.	Módulo de Elasticidad en hormigón a compresión ASTM C 469	49
3.1.9.	Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón ASTM C 39	52
4.	CAPITULO 4	53
4.1.	Dosificaciones de hormigón con los agregados de las diferentes canteras	53
4.2.	Comparación de resultados de las diferentes canteras	56
5.	CÁPITULO 5	63
5.1.	Conclusiones y recomendaciones	63
6.	Bibliografía	65
7.	Anexos	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Granulometría del agregado fino Cantera Holcim-Pifo.....	30
Tabla 2: Granulometría Agregado Grueso / Cantera Holcim – Pifo.....	31
Tabla 3: Granulometría Agregado Fino / Cantera Rosita – Pomasqui.....	32
Tabla 4: Granulometría Agregado Grueso / Cantera Rosita – Pomasqui....	33
Tabla 5: Granulometría Agregado fino / Cantera Río Guayllabamba.....	34
Tabla 6: Granulometría Agregado grueso / Cantera Río Guayllabamba.....	35
Tabla 7: Granulometría Agregado fino / Cantera El Corazón – Pomasqui..	36
Tabla 8: Granulometría Agregado grueso / Cantera El Corazón – Pomasqui.....	37
Tabla 9: Granulometría del agregado grueso / Mina Copeto.....	38
Tabla 10: Granulometría del agregado fino / Mina Copeto.....	39
Tabla 11: Pasante del tamiz N°200 – Agregado Fino.....	42
Tabla 12: Resumen de los porcentajes de abrasión de los agregados.....	44
Tabla 13: Tipo de roca según AASTHO T96.....	44
Tabla 14: Resultados del Point Load Test de las canteras de estudio.....	46
Tabla 15: Resumen de las densidades de los agregados gruesos de las canteras estudiadas.....	48
Tabla 16: Resumen de las densidades de los agregados finos de las canteras estudiadas.....	49
Tabla 17: Resumen de los Módulos de Elasticidad de las canteras de estudio.....	50
Tabla 18: Modulo de elasticidad teórico del hormigón.....	51
Tabla 19: Resumen de las resistencias de los cilindros a diferentes edades.....	52
Tabla 20: Resumen de la dosificación de la Cantera HOLCIM Pifo.....	54

Tabla 21: Resumen de la dosificación de la Cantera Rosita – Pomasqui.....	54
Tabla 22: Resumen de la dosificación de la Cantera El Corazón de Pomasqui.....	54
Tabla 23: Resumen de la dosificación de la Cantera Río Guayllabamba.....	55
Tabla 24: Resumen de la dosificación de la Mina Copeto.....	55
Tabla 25: Resumen de la relación W/C de las diferentes canteras.....	55
Tabla 26: Uniformidad en la resistencia a la abrasión e impacto.....	61
Tabla 27: Point Load Test Data – Holcim Pifo.....	67
Tabla 28: Point Load Test Data – Cantetra Rosita.....	68
Tabla 29: Point Load Test – El Corazón de Pomasqui.....	69
Tabla 30: Point Load Test Data Río Guayllabamba.....	69
Tabla 31: Point Load Test Data – Mina Copeto.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa Geológico del Ecuador.....	18
Figura 2: Cantera Holcim Pifo.....	23
Figura 3: Cantera Rosita – Pomasqui.....	24
Figura 4: Cantera El Corazón de Pomasqui.....	25
Figura 5: Cantera Río Guayllabamba.....	26
Figura 6: Mina Copeto.....	26
Figura 7: Explotación de la Cantera el Corazón.....	28
Figura 8: Muestreo de agregado grueso.....	28
Figura 9: Granulometría Agregado Fino / Cantera Holcim-Pifo.....	31
Figura 10: Granulometría Agregado Grueso / Holcim – Pifo.....	32
Figura 11: Granulometría Agregado Fino / Cantera Rosita – Pomasqui.....	33
Figura 12: Granulometría Agregado Grueso / Cantera Rosita – Pomasqui.....	34
Figura 13: Granulometría Agregado fino / Cantera Río Guayllabamba.....	35
Figura 14: Granulometría Agregado grueso / Cantera Río Guayllabamba.....	36
Figura 15: Granulometría Agregado fino / Cantera El Corazón – Pomasqui.....	37
Figura 16: Granulometría Agregado grueso / Cantera El Corazón – Pomasqui.....	38
Figura 17: Granulometría del agregado grueso / Mina Copeto.....	39
Figura 18: Granulometría del agregado fino / Mina Copeto.....	40
Figura 19: Material pasante del tamiz N° 200 – Agregado Fino.....	42
Figura 20: Resumen de los porcentajes de abrasión de los agregados.....	45

Figura 21: Resultados del Índice de carga puntual.....	47
Figura 22: Modulo de Elasticidad de las diferentes canteras.....	50
Figura 23: Resistencia a la compresión de cilindros a diferentes edades...	53
Figura 24: Granulometría del agregado grueso de las canteras con los límites de la Piedra 57.....	57
Figura 25: Granulometría del agregado fino de las canteras con los límites de la norma ASTM C 33.....	58
Figura 26: Uniformidad de dureza ASTM C 131.....	61
Figura 27: Módulos de Elasticidad de los diferentes tipos de roca. Fuente: (CTM-Construcción, 2019).....	70
Figura 28: Cantera El Corazón.....	70
Figura 29: Almacenaje de la Cantera Río Guayllabamba.....	71
Figura 30: Método de cuarteo ASTM C 702.....	71
Figura 31: Masa de Agregado Grueso con Superficie Saturada Seca.....	71
Figura 32: Muestra DE agregado Fino para ensayo de la norma ASTM C 117.....	72
Figura 33: Determinación de masa con superficie saturada seca.....	72
Figura 34: Muestra agregado fino con masa en superficie saturada seca.	72
Figura 35: Determinación de dimensiones de cilindros.....	73
Figura 36: Resultados del ensayo a compresión.....	73
Figura 37: Cilindro después de ensayo a compresión.....	73

1. CAPITULO 1

1.1.Introducción

En el campo de la construcción es muy importante el uso de hormigones, los cuales se realizan con materiales pétreos que provienen de las diferentes canteras que están ubicadas a las afueras de la ciudad de Quito. Debido a que la industria de la construcción es muy extensa en cuanto al uso de los materiales pétreos, se conoce algunas características de dichos materiales. Estas características se las ha ido identificado debido al constante uso de dichos materiales de las diferentes canteras que se las estudiara a continuación. A pesar de conocer las características de los diferentes agregados se siguen usando materiales pétreos de las canteras más cercanas a la obra debido al costo del transporte que es un factor importante al momento de la construcción. En la Ingeniería Estructural es donde conocer las características físico – mecánicas de los agregados es de vital importancia debido a que de estas depende su diseño y aplicación. La resistencia, durabilidad, funcionabilidad son características que imponen un límite y son importantes al momento de toma de decisiones en una obra. De esta manera se puede notar lo importante que es la correcta fabricación de los agregados cumpliendo todos los estándares y normas vigentes.

Al momento de crear un hormigón existen varias alternativas para la obtención de este. Una de las opciones es el hormigón premezclado, que es uno de los más usados a nivel mundial y nacional. Se lo conoce de esta manera debido a que se puede obtener grandes volúmenes con un control de calidad optimo tanto en la fabricación como en el transporte. En cambio, con el hormigón realizado en obra

aumenta la incertidumbre de obtener las características deseadas, motivo por el cual es importante saber las características de los agregados que van a ser usados para de esta manera disminuir el porcentaje de falla.

1.2. Antecedentes

El avance que se ha venido dando en la creación de hormigones ha sido muy amplio, razón por la cual, el estudio de los agregados y sus características es importante para contar con datos confiables frente a la necesidad de diseñar hormigones con un buen desempeño, es decir, que sean de alta resistencia, trabajables, posean fraguado acelerado, autocompactantes, etc. Para lograr estas propiedades es de vital importancia el estudio de los agregados de manera específica, como se lo va a realizar en este proyecto. Las características de los agregados van a depender del lugar de explotación, su tratamiento después de la extracción, transporte, entre otros. Motivo por el cual, se va a identificar las canteras de estudio identificando la distancia a la que se encuentra y si constan con los permisos necesarios para su extracción y distribución de acuerdo con las normas ASTM juntamente con su geología y la demanda de los materiales.

En esta investigación se va a estudiar los diferentes agregados de las canteras que rodean la ciudad de Quito con el fin de identificar que agregado es óptimo para cierto uso. Con eso nos abrimos paso a poder identificar la proveniencia de cada uno de ellos.

1.3. Objetivos

Objetivo Principal

Estudiar y analizar los materiales de las diferentes canteras ubicadas en alrededor de la ciudad de Quito de acuerdo con las normas ASTM.

Objetivos específicos

- Realizar los diferentes ensayos de laboratorio para la caracterización e identificación de las propiedades físico-mecánicas de los agregados
- Comparar el desempeño de los agregados de las diferentes canteras en una mezcla de hormigón basados en la prueba de resistencia a la compresión.
- Obtener información sobre la geología en las cercanías de la ciudad de Quito.

1.4. Justificación

El estudio sobre las características y propiedades físico-mecánicas que tienen los agregados que comúnmente se usan en la ciudad de Quito, tienen una gran importancia en el ámbito de la construcción que se desarrolla día a día en el país.

Existe la necesidad de contar con información confiable y conocer el cumplimiento de los requisitos de los agregados a todo nivel: estudiantes, constructores, contratistas para cualquier fin necesario dentro de la ingeniería civil. La importancia del estudio de los agregados es garantizar las condiciones en que el hormigón se va a desempeñar durante su vida útil. Delimitando de esta manera el desempeño de los agregados de las diferentes canteras estudiadas, con el fin de prevenir hormigones de baja calidad, y cumpliendo con los requerimientos necesarios para que el hormigón se adapte a cada caso en particular en donde se lo utilice sin perder las características deseadas. En este proyecto, se estudiará los agregados con el fin

de mejorar la eficacia de su uso tanto en el Laboratorio de hormigones de la USFQ como en las diferentes hormigoneras y constructoras. Este trabajo comprenderá el estudio de la granulometría, resistencia a la abrasión, densidad y absorción, materiales pasantes del tamiz N°200, ensayos a la compresión de cilindros, módulos de elasticidad de los mismos en las diferentes canteras alrededor de la ciudad de Quito. El objetivo principal es realizar un muestreo de los agregados más usados en la ciudad de Quito para la dosificación de hormigones y realizar un estudio de laboratorio que establezca las características buenas y malas en el hormigón, para de esta manera mejorar su desempeño y su uso en los diferentes campos de la Ingeniería Civil.

2. CAPITULO 2

2.1. Geología del Distrito Metropolitano de Quito

El Ecuador está compuesto por tres grandes regiones caracterizadas a su vez, por su geología. Estas tres regiones son la Costa, la Cuenca Oriente y el Valle Interandino. La ciudad de Quito está ubicada en el Valle interandino, el cual se formó mediante la convergencia de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana generando deformaciones en las superficies, levantamiento de estas y volcanismo en el continente. Como resultado de todo lo mencionado anteriormente se formó cadenas montañosas denominadas la Cordillera Real y Occidental, las cuales confirman el Valle Interandino lugar en donde está asentada la ciudad de Quito (Domenech Gordillo & Espinoza Barahona, 2016).

La Cordillera Real está formada por rocas metamórficas provenientes de la edad Paleozoica, las cuales están cubiertas por material volcánico. Dichos materiales

están separados por las diferentes fallas regionales como es el caso de la Falla Peltetec, Llanganates, entre otras. Por otro lado, la Cordillera Occidental está compuesta por rocas de origen oceánico las cuales llegaron allí en la época del Cretáceo tardío. Estas se dividen en las formaciones Pallatanga y Macuchi. Estas están constituidas por materiales volcánicos plásticos, areniscas, turbiditas.

Como se mencionó anteriormente, Quito se encuentra en el Valle Interandino y está rodeado por relieves montañosos como el Rucu y el Guagua Pichincha al oeste y las Lomas de Lumbisí – Batan en el este. Este valle está situado en dirección N-S con un ancho de 6 km.

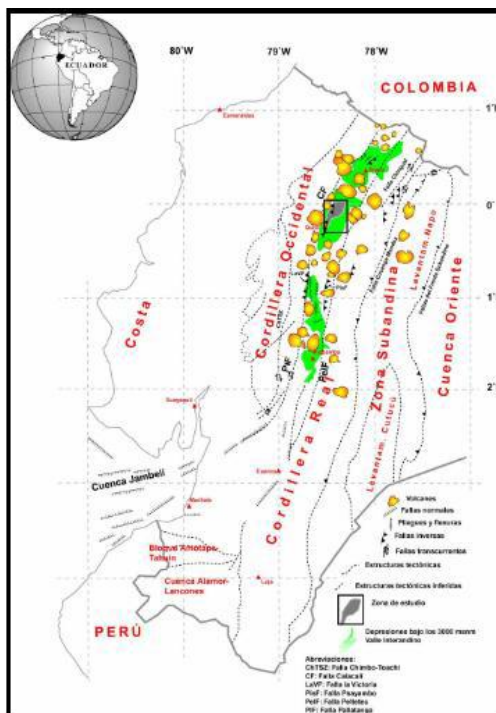


Figura 1: Mapa Geológico del Ecuador.

Fuente: (Delgado, 2008).

Como se mencionó la cuenca de Quito está compuesta por materia volcánico que a su vez este compuesto por una unidad de basamento y una unidad denominada Miembro Quito.

En la unidad de basamento podemos encontrar flujos de lodo, lahares y lavas de composición andesítica intercalada por flujos piroclásticos, caídas pómez y ceniza, que son provenientes de los volcanes Ruco Pichincha y Atacazo estas unidades de materiales se los puede encontrar de manera heterogénea y muy gruesa.

Por otro lado, en la unidad Miembro Quito se puede encontrar depósitos fluviales y flujos de lodo más homogéneos que los nombrados en la unidad de basamento y otra característica que identifica a esta unidad es que los materiales son mucho más pequeños que la otra.

2.2. Hormigón

El hormigón es uno de los principales materiales usados en la construcción, este se compone de cemento, arena fina, arena gruesa y agua. Estos componentes pueden variar de acuerdo con las necesidades de los constructores. Los hormigones se caracterizan por la resistencia que estos tienen al momento de endurecerse. La resistencia varia por las cantidades que se usan de los materiales antes mencionados y de las propiedades de estos mismos.

Para la elaboración del hormigón es importante tener en cuenta las propiedades de los materiales, dosificación, manejo, colocación, y curado para asegurar que este va a ser de buena calidad. En la elaboración del hormigón es de suma importancia el mezclado, debido a que la secuencia de colocación de los materiales puede influenciar mucho en los resultados. Por eso, se recomienda seguir procedimientos estandarizados por normas como la ASTM, para de esta manera asegurar su calidad.

Por otra parte, la trabajabilidad del hormigón es otro aspecto importante en la mezcla ya que dependiendo de los requerimientos este parámetro puede cambiar.

Este aspecto consiste en guardar la homogeneidad de la mezcla después de su manejo y transporte sin que exista segregación. La consistencia es un buen indicador de trabajabilidad, y la misma se puede medir mediante la prueba de revenimiento (Cono de Abrahams), la cual consiste en medir la trabajabilidad de la mezcla. Se debe tener en cuenta que mientras más trabajable la mezcla, mayor será su revenimiento con la única deficiencia que puede ocurrir segregación de los agregados. En conclusión, se debe obtener una mezcla que sea de fácil colocación evitando la segregación de los agregados.

De la misma manera que se debe tener en cuenta la segregación de los agregados en la trabajabilidad también se debe tener cuenta este aspecto en la consolidación de la mezcla en su encofrado, debido a que por el exceso de vibración mecánica o manual suceda el mismo fenómeno. Motivo por el cual, se debe lograr un reacomodo de todos los agregados que conforman la mezcla equitativamente en el volumen deseado.

Una vez colocado el hormigón en su encofrado se debe tener en cuenta el sangrado. El sangrado consiste en una capa de agua que se forma en la superficie del hormigón, la cual no es dañina para el elemento, pero si esto sucede de forma excesiva puede generar daños en su resistencia y desempeño debido a que puede aumentar la relación agua cemento.

Para finalizar con el proceso del manejo y colocación del hormigón existe un proceso final que asegura la calidad de este. Este proceso se lo conoce como curado, el cual se asegura de evitar la pérdida de agua en la mezcla. Para llegar a la resistencia deseable es muy importante este aspecto debido a que, si no se hidrata

la mezcla y se deja secar, el hormigón va a perder las características para las cuales fue diseñado.

2.2.1. Problemas en el hormigón ocasionados por los agregados

Si quisiéramos categorizar a algunos de los principales problemas en el hormigón. Se puede dividir en dos grupos: estado fresco y endurecido.

En estado Fresco

- Segregación

Es la separación de sus componentes una vez mezclados todos sus componentes, es decir, que su mezcla tiene una distribución no uniforme. Este problema puede ser ocasionado por el mal acomodo de los agregados al momento de compactar, es decir una falta de cohesión entre los mismos y la pasta cementante. Se recomienda uso de materiales de alta densidad, rugosos y con una buena gradación (Sanchez de Gúzman, 2011).

- Porosidad

Son los espacios vacíos que se forman debido a la evaporación de agua o aire atrapado en la mezcla, o simplemente la porosidad característica de la pasta de cemento. Así mismo, se puede asociar el concepto con la falta de compactación de las mezclas y una razón podría ser la mala gradación empobreciendo el desempeño de los hormigones.

- Consistencia o Trabajabilidad

Es la capacidad de manejar la mezcla de hormigón, como se mencionó anteriormente se busca una mezcla trabajable evitando la segregación de los

agregados. Esto se puede dar por el uso de partículas alargadas, excesivo uso de agua en la mezcla, o una mala granulometría para la mezcla.

En estado endurecido

- Fisuras y agrietamiento

Las fisuras son aberturas ubicadas en los exteriores de los elementos de hormigón o morteros. Por otro lado, los agrietamientos son aberturas que atraviesan todo el elemento, las cuales son más perjudiciales. Las razones por las que sucede este tipo de problemas es la baja resistencia a sulfatos en la mezcla, la reactividad álcali – agregado, la porosidad en los agregados.

- Durabilidad

Es la resistencia a las acciones para las que fue diseñado, es decir a la acción del medio ambiente, cargas aplicadas a los elementos, acciones sísmicas, y obviamente una unión de todas estas acciones. Las características de los agregados que afectan directamente a la durabilidad es la abrasión, resistencia a sulfatos, densidad de los agregados, las cuales interactúan directamente con la dosificación de la mezcla. Dichas características se tratarán más adelante. Por otro lado, la reacción Alcalí Sílice es otro factor que afecta a la durabilidad del hormigón, la cual se produce por la presencia de efectos ambientales, sodio y potasio, cambio temperatura y presión, alrededor de las partículas gruesas las cuales generan una expansión en la pasta que en un futuro cercano se convertirán en fisuras en el elemento. Este fenómeno se lo puede identificar visualmente por una red de fisuras o dislocación de diferentes partes de una estructura (Morales & Martínez, 2012).

2.3. Canteras de estudio y generalidades

Para poder identificar de mejor manera las canteras de estudio se las localiza de manera geo referencial con la ayuda del programa Google Earth, como se mostrará a continuación.

- Cantera Holcim Pifo



Figura 2: Cantera Holcim Pifo

Fuente: Google Earth 2019

Esta cantera cuenta con una extensión de 8 hectáreas aproximadamente, en dicha extensión se puede encontrar una capa de 30 a 40 metros de material orgánico, seguido de material volcánico que es muy competente para la construcción. Este material se encuentra a unos pocos kilómetros de una carretera de primer orden, lo cual hace de estos agregados de fácil acceso aparte de tener un volumen considerable que es de aproximadamente de diez millones de metros cúbicos. Este volumen contiene en su gran mayoría andesita dacita y brechas.

- Cantera Rosita - Pomasqui

La cantera se encuentra ubicada a las afueras de la ciudad de Quito, en donde se puede encontrar arena fina, gruesa (ripio), piedra bola, basílica, chispa y polvo. Esta cantera está ubicada a unos 40 minutos de la ciudad.

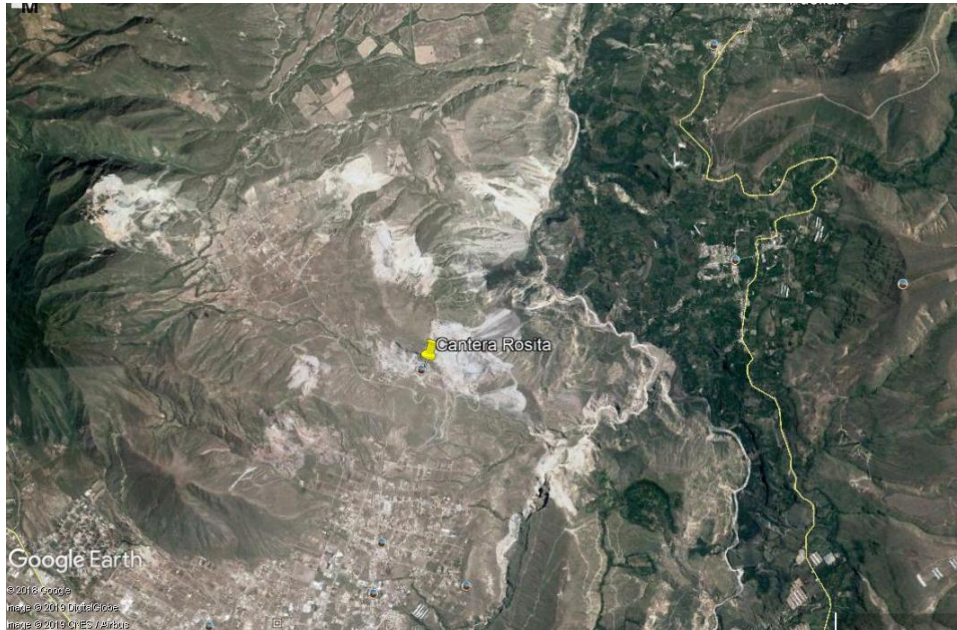


Figura 3: Cantera Rosita – Pomasqui

Fuente: Google Earth 2019

- Cantera El Corazón de Pomasqui

La cantera se encuentra ubicada a unos 30 minutos de la ciudad de Quito. Esta cantera se encarga de obtener polvo, ripio, basílica, piedra bola, arena fina, lastre grueso y fino, y basílica especial para muros de piedra.



Figura 4: Cantera El Corazón de Pomasqui

Fuente: Google Earth 2019

- Cantera del Río Guayllabamba

La cantera se encuentra ubicada $0^{\circ}04'07.73''$ S, $78^{\circ}22'27.56''$ O, a un lado del río Guayllabamba, en el kilómetro 19 de la vía Quito – Guayllabamba. Esta cantera se encarga de obtener sus productos directamente del río, lo cuales son procesados para de esta manera obtener los derivados necesarios. Dicha cantera tiene una sobrecarga de material piroclástico y algunos depósitos lagunares, este afloramiento contiene roca volcánica maciza, con varias capas de lutitas. Con respecto a la calidad de los materiales, se puede decir que es muy competente para la construcción.



Figura 5: Cantera Río Guayllabamba

Fuente: Google Earth 2019

- Mina Copeto

La mina Copeto se encuentra ubicada en el margen derecho del río Toachi a un kilómetro y medio de la vía Santo Domingo – Los Bancos a 5 km del centro de la ciudad. En mina se puede encontrar ripio, arena lavada, polvo, chispa, lastre, entre otros.

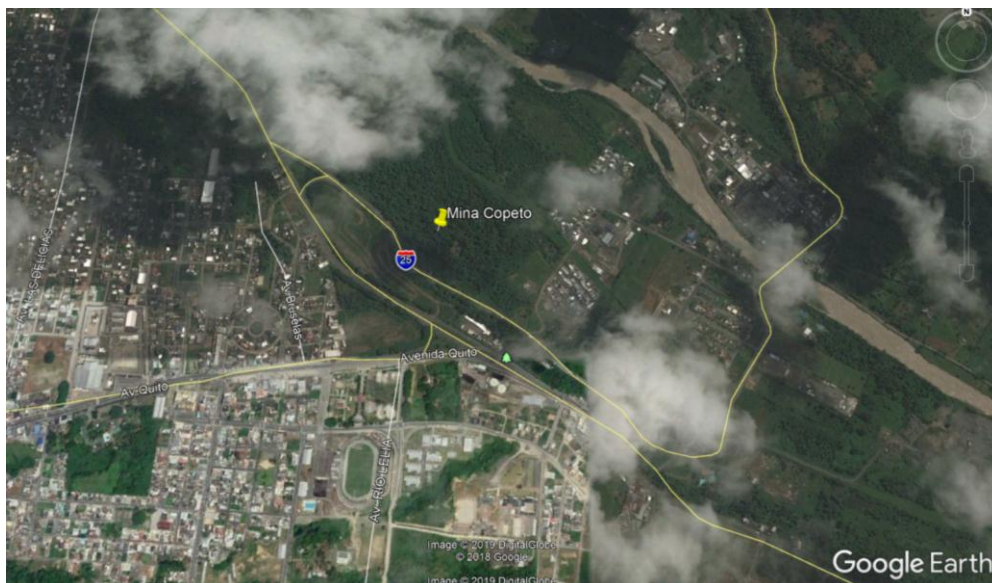


Figura 6: Mina Copeto

Fuente: Google Earth 2019

3. CAPITULO 3

3.1. Propiedades de los agregados

3.1.1. Muestreo de agregados ASTM D 75

El muestreo de los agregados son de vital importancia ya que debido a esto se puede garantizar una homogeneidad en la misma. Este muestreo es de igual importancia que las pruebas mismas de caracterización debido a que si no existe un buen muestreo no se van a poder identificar las características de la cantera. Por otro lado, al momento del muestreo se deben tomar las precauciones que especifica la norma para asegurarse que se realizó de manera correcta y la muestra tomada sea representativa en referencia a la cantera (ASTM-D75, 2003).

Existen 4 maneras para realizar el muestreo de los agregados y estas son:

- Muestreo desde una correa que descarga material
- Muestreo desde la banda transportadora de material
- Muestreo desde el almacenaje o unidades de transporte
- Muestreo para bases y subbases

De estos 4 tipos de muestreo se escogió el muestreo desde el almacenaje o unidades de transporte ya que se visitaba cada una de las canteras y se obtenía el material de estudio. Este método consiste en tomar al menos 3 incrementos del tercio superior, de la mitad y de la base teniendo en cuenta que se debe clavar la pala en dirección vertical a los 3 lugares antes mencionados evitando la segregación del material; este proceso se realiza para el muestreo para agregados gruesos. En cambio para agregados finos, se debe retirar la capa

superior de la pila de material ya que esta ha estado sometida a situaciones externas, después se colocan 5 tubos con una longitud máxima de 2 metros en lugares aleatoriamente.



Figura 7: Explotación de la Cantera el Corazón

Por otro lado, para reducir las muestras obtenidas en las porciones necesarias para los ensayos que se verán a continuación se usó la norma ASTM C 702 y se usó el método de cuarteo como se muestra en la Figura N°8. Dicha norma ayuda a que la distribución de la muestra sea lo más parecida a la de la población, lo cual, asegura que sus resultados sean reales y se los pueda usar para cualquier análisis y diseño de mezclas (ASTM-C702, 2003).



Figura 8: Muestreo de agregado grueso

3.1.2. Granulometría ASTM C 136

La granulometría es una característica muy importante debido a que esta ayuda a reducir los costos del hormigón ya que si el tamaño de las partículas es mayor entonces se ocupara una cantidad menor de cemento en la mezcla. Por otro lado, también se debe tener en cuenta el espaciado del armado de los aceros para las estructuras ya que podría ser un problema al momento del colado del hormigón. La granulometría cumple un papel fundamental en la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del hormigón. Las variaciones en la granulometría son directamente proporcionales con la uniformidad de la mezcla debido a su tamaño y cantidad de material en cada una de estas. Si la distribución de granulometría es normal se puede asegurar un buen desempeño del hormigón endurecido y su durabilidad. También se debe tener en cuenta que una distribución homogénea de los tamaños del agregado ayuda a que estos sean trabajables al momento de su colado y esto ayuda a disminuir cantidades de aire atrapado en la mezcla lo cual mejorara su desempeño al momento de que este empiece a trabajar. Una vez entendido los usos de la granulometría de los agregados, se procede a realizar el ensayo para las diferentes canteras de estudio como se muestra a continuación (ASTM-C136, 2014).

Para completar este análisis e identificar si los agregados de las diferentes canteras están bien gradados se usó como referencia la norma ASTM C 33, en donde, se puede observar los diferentes tipos de piedra reconocidos por la norma. Los tipos de rocas poseen tanto límites superiores como inferiores los cuales nos ayudan en la clasificación de los agregados.

- Cantera Holcim Pifo

En las siguientes graficas se mostrarán los limites superiores e inferiores que se especifican en la norma ASTM C 33, la cual ayuda a identificar el tipo de gradación que tienen las canteras.

- Agregado Fino

Minicial = 12005 gr.

Tabla 1: Granulometría del agregado fino Cantera Holcim-Pifo

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.760	498.00	4.15	4.15	95.85
8	2.380	2350.00	19.60	23.75	76.25
10	2.000	0.00	0.00	23.75	76.25
16	1.190	2341.00	19.52	43.27	56.73
20	0.840	0.00	0.00	43.27	56.73
30	0.595	2792.00	23.28	66.56	33.44
40	0.420	0.00	0.00	66.56	33.44
50	0.297	3471.00	28.95	95.51	4.49
60	0.250	0.00	0.00	95.51	4.49
80	0.177	0.00	0.00	95.51	4.49
100	0.149	460.00	3.84	99.34	0.66
200	0.074	72.00	0.60	99.94	0.06
Base		7.00	0.06	100.00	0.00
Total		11991.5			
%Perdida		0.11%			

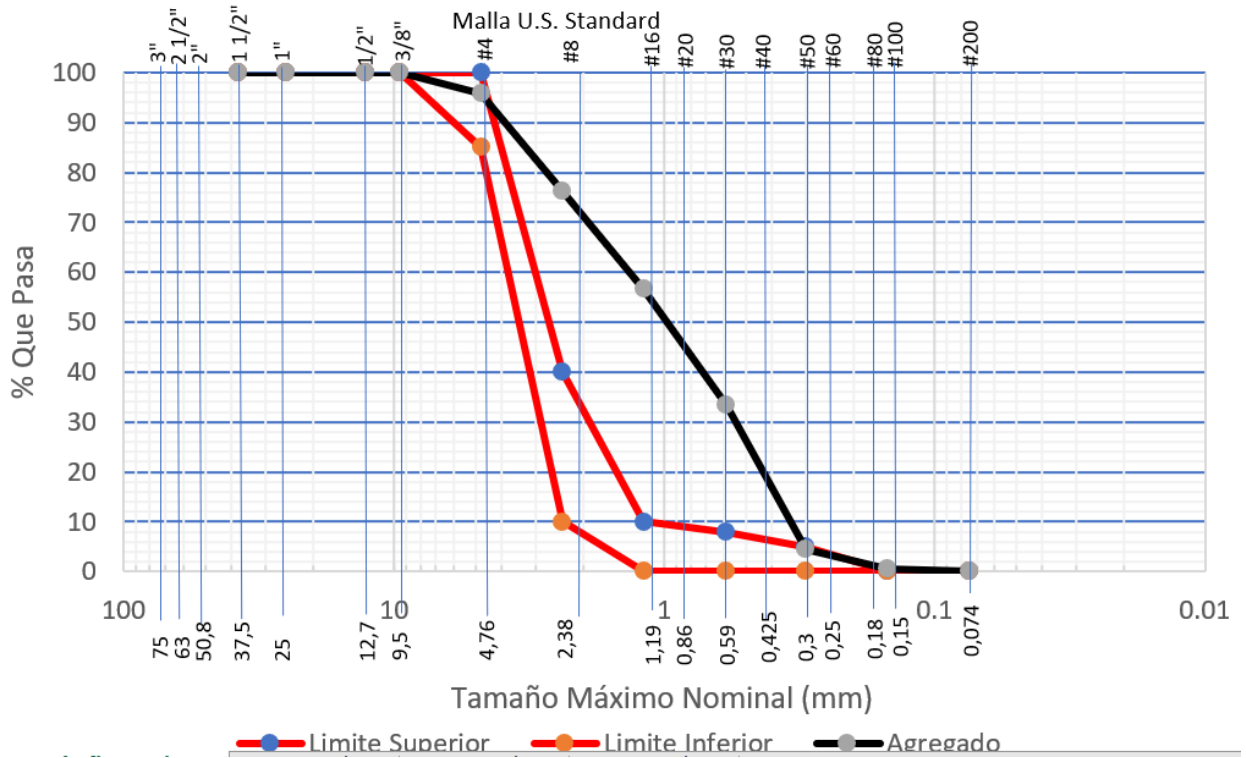


Figura 9: Granulometría Agregado Fino / Cantera Holcim-Pifo

○ Agregado Grueso

Minicial= 12144 gr.

Tabla 2: Granulometría Agregado Grueso / Cantera Holcim - Pifo

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.1	599.50	4.94	4.94	95.06
1"	25.4	4317.50	35.57	40.51	59.49
¾"	19.05	0.00	0.00	40.51	59.49
½"	12.7	3478.50	28.66	69.17	30.83
3/8"	9.525	1150.00	9.48	78.65	21.35
¼"	6.35	0.00	0.00	78.65	21.35
4	4.760	1954.00	16.10	94.75	5.25
Base		637.46	5.25	100.00	0.00
Total		12136.96			
%Perdida		0.06%			

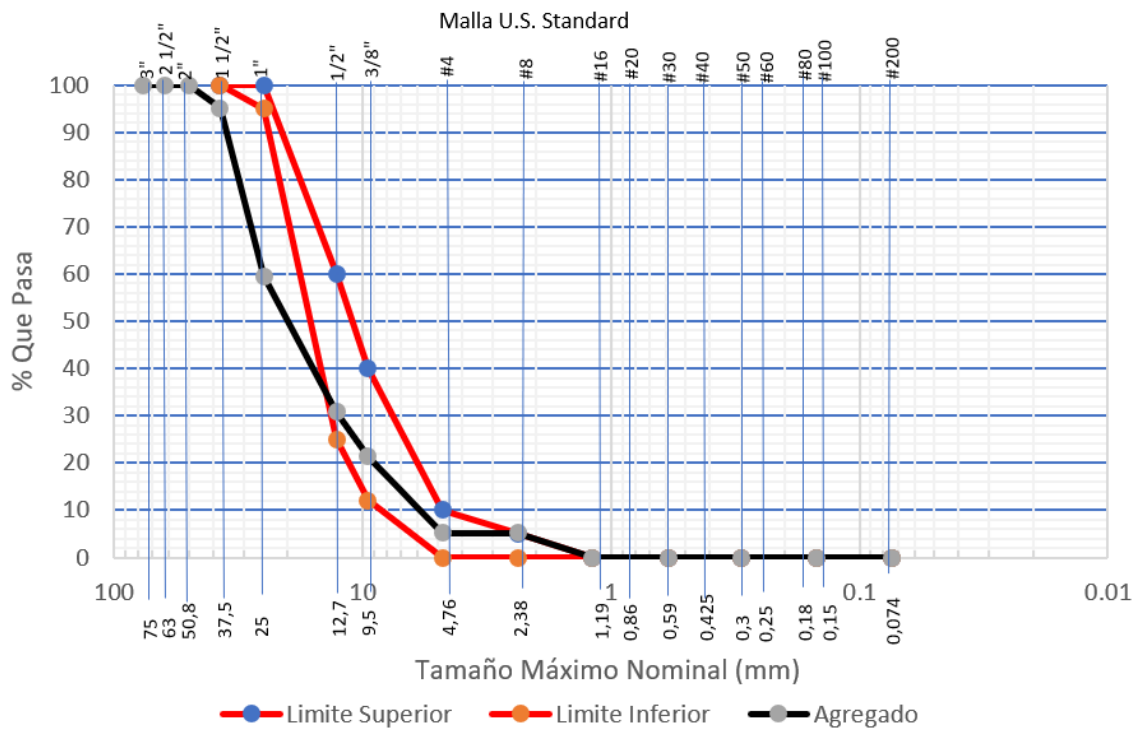


Figura 10: Granulometría Agregado Grueso / Holcim - Pifo

- Cantera Rosita de Pomasqui
 - Agregado fino

Minicial= 10000 gr.

Tabla 3: Granulometría Agregado Fino / Cantera Rosita - Pomasqui

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.760	417.00	4.17	4.17	95.83
8	2.380	1542.00	15.43	19.60	80.40
10	2.000	0.00	0.00	19.60	80.40
16	1.190	1812.00	18.13	37.73	62.27
20	0.840	0.00	0.00	37.73	62.27
30	0.595	3574.00	35.76	73.50	26.50
40	0.420	0.00	0.00	73.50	26.50
50	0.297	2306.00	23.07	96.57	3.43
60	0.250	0.00	0.00	96.57	3.43
80	0.177	0.00	0.00	96.57	3.43
100	0.149	304.00	3.04	99.61	0.39
200	0.074	35.50	0.36	99.97	0.03
Base		3.00	0.03	100.00	0.00
Total		9993.5			
%Perdida		0.07%			

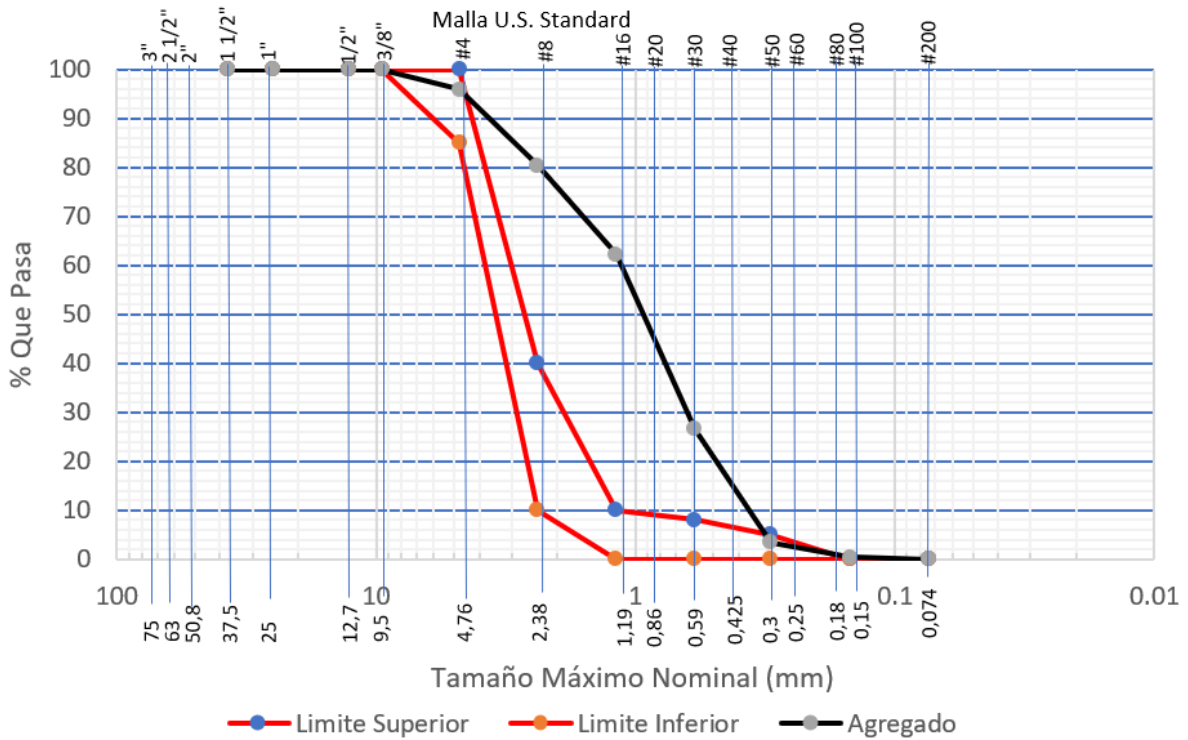


Figura 11: Granulometría Agregado Fino / Cantera Rosita - Pomasqui

○ Agregado grueso

Minicial = 10000 gr.

Tabla 4: Granulometría Agregado Grueso / Cantera Rosita - Pomasqui

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	474.50	4.75	4.75	95.25
¾"	19.05	0.00	0.00	4.75	95.25
½"	12.7	5011.50	50.13	54.88	45.12
3/8"	9.525	1617.50	16.18	71.06	28.94
¼"	6.35	0.00	0.00	71.06	28.94
4	4.760	2253.50	22.54	93.60	6.40
Base		640.00	6.40	100.00	0.00
Total		9997			
%Perdida		0.03%			

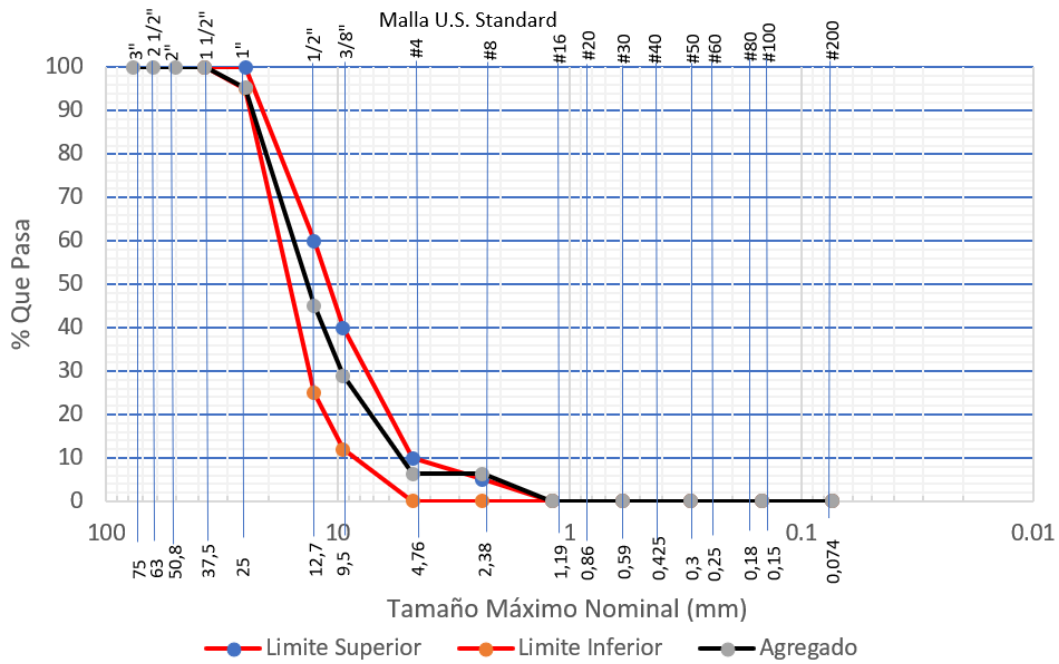


Figura 12: Granulometría Agregado Grueso / Cantera Rosita - Pomasqui

- Cantera Río Guayllabamba
 - Agregado fino

Minicial = 3000.5 gr.

Tabla 5: Granulometría Agregado fino / Cantera Río Guayllabamba

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.760	36.50	1.22	1.22	98.78
8	2.380	371.50	12.39	13.61	86.39
10	2.000	127.00	4.24	17.84	82.16
16	1.190	422.50	14.09	31.93	68.07
20	0.840	0.00	0.00	31.93	68.07
30	0.595	667.50	22.26	54.19	45.81
40	0.420	0.00	0.00	54.19	45.81
50	0.297	733.00	24.45	78.64	21.36
60	0.250	0.00	0.00	78.64	21.36
80	0.177	0.00	0.00	78.64	21.36
100	0.149	431.00	14.37	93.01	6.99
200	0.074	167.00	5.57	98.58	1.42
Base		42.50	1.42	100.00	0.00
Total		2998.50			
%Perdida		0.07%			

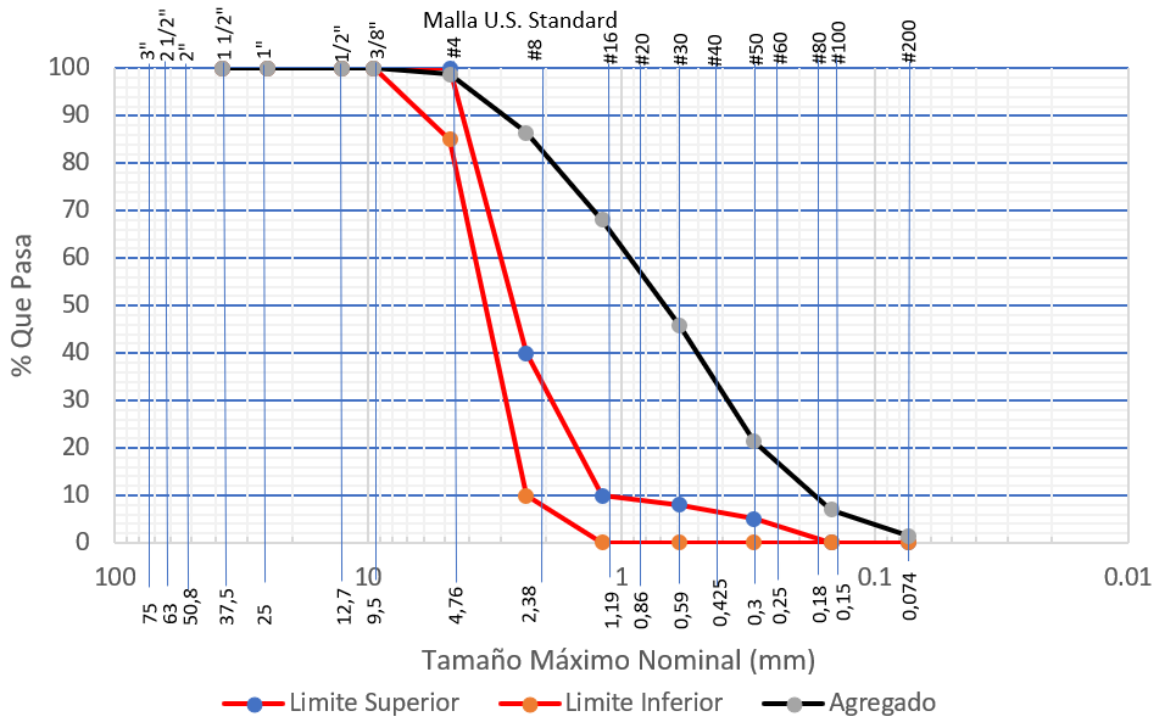


Figura 13: Granulometría Agregado fino / Cantera Río Guayllabamba

○ Agregado grueso

Minicial = 3002 gr.

Tabla 6: Granulometría Agregado grueso / Cantera Río Guayllabamba

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
¾"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
½"	12.7	2218.50	73.91	73.91	26.09
3/8"	9.525	683.50	22.77	96.68	3.32
¼"	6.35	0.00	0.00	96.68	3.32
4	4.760	93.50	3.12	99.80	0.20
Base		6.00	0.20	100.00	0.00
Total		3001.5			
%Perdida		0.02%			

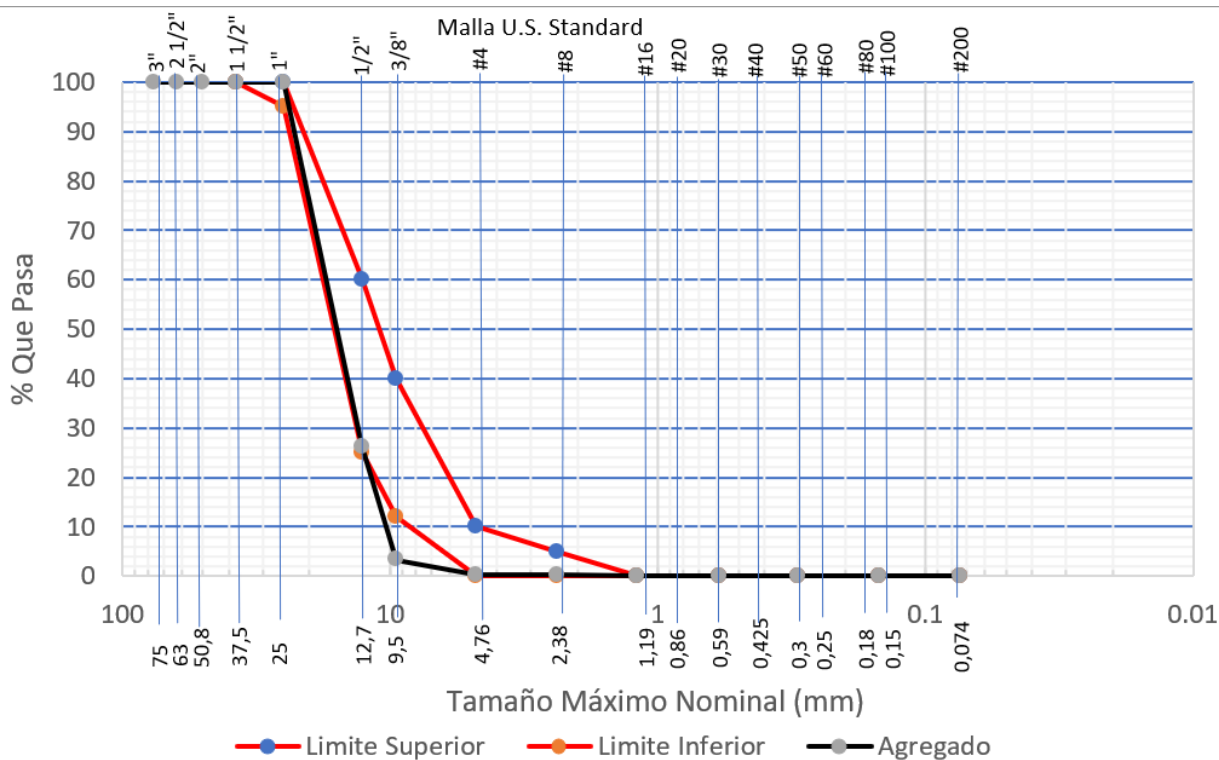


Figura 14: Granulometría Agregado grueso / Cantera Río Guayllabamba

- Cantera El Corazón - Pomasqui
 - Agregado Fino

Minicial = 10002 gr.

Tabla 7: Granulometría Agregado fino / Cantera El Corazón - Pomasqui

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.760	148.00	1.48	1.48	98.52
8	2.380	1242.50	12.43	13.91	86.10
10	2.000	447.50	4.48	18.38	81.62
16	1.190	1401.00	14.01	32.39	67.61
20	0.840	0.00	0.00	32.39	67.61
30	0.595	1932.50	19.33	51.72	48.29
40	0.420	0.00	0.00	51.72	48.29
50	0.297	1743.50	17.44	69.15	30.85
60	0.250	0.00	0.00	69.15	30.85
80	0.177	0.00	0.00	69.15	30.85
100	0.149	1328.00	13.28	82.43	17.57
200	0.074	683.00	6.83	89.26	10.74
Base		1074.00	10.74	100.00	0.00
Total		10000.00			
%Perdida		0.02%			

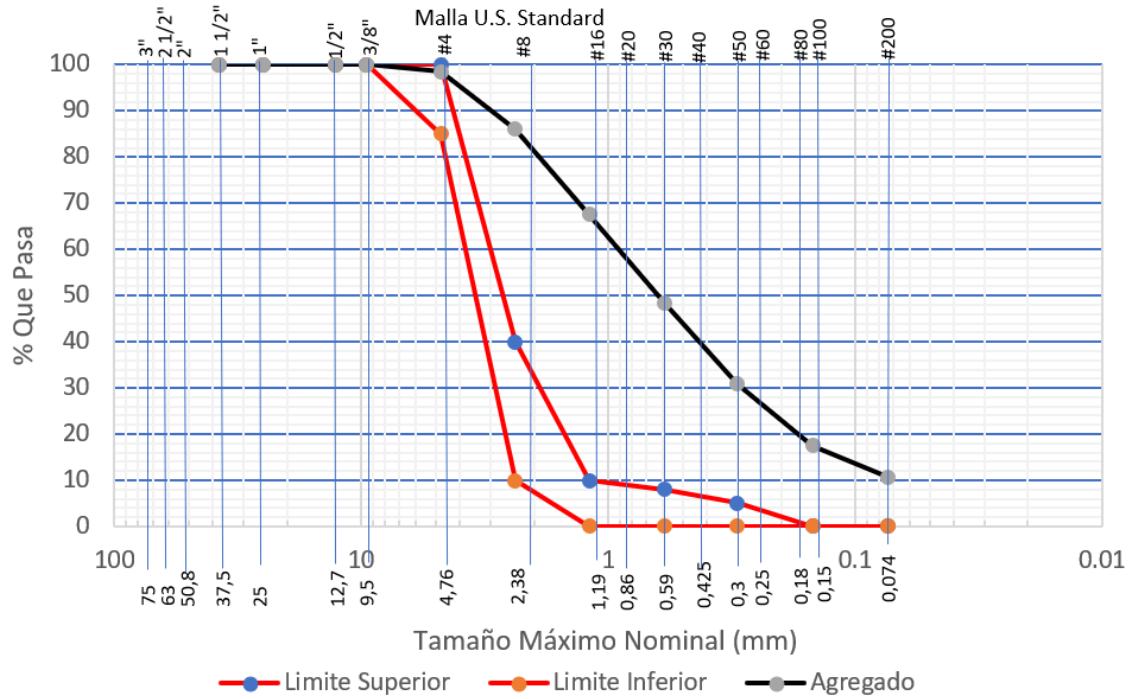


Figura 15: Granulometría Agregado fino / Cantera El Corazón - Pomasqui

○ Agregado Grueso

Minicial = 10005 gr.

Tabla 8: Granulometría Agregado grueso / Cantera El Corazón - Pomasqui

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	1011.50	10.11	10.11	89.89
¾"	19.05	0.00	0.00	10.11	89.89
½"	12.7	6172.00	61.70	71.81	28.19
3/8"	9.525	1756.00	17.55	89.36	10.64
¼"	6.35	0.00	0.00	89.36	10.64
4	4.760	973.00	9.73	99.09	0.91
Base		91.20	0.91	100.00	0.00
Total		10003.7			
%Perdida		0.01%			

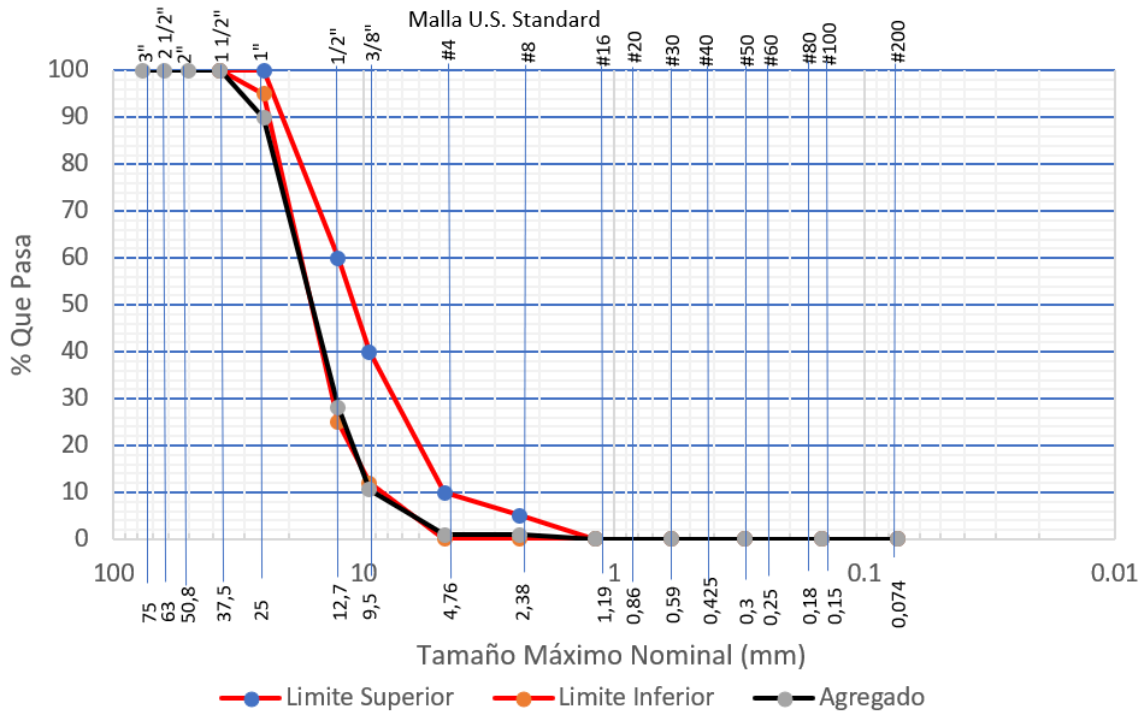


Figura 16: Granulometría Agregado grueso / Cantera El Corazón - Pomasqui

- Mina Copeto
 - Agregado Grueso

Minicial = 10000 gr.

Tabla 9: Granulometría del agregado grueso / Mina Copeto

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	88.00	0.88	0.88	99.12
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.88	99.12
1/2"	12.7	6556.00	65.60	66.48	33.52
3/8"	9.525	2072.50	20.74	87.22	12.78
1/4"	6.35	0.00	0.00	87.22	12.78
4	4.760	1210.50	12.11	99.33	0.67
Base		66.50	0.67	100.00	0.00
Total		9993.5			
%Perdida		0.07%			

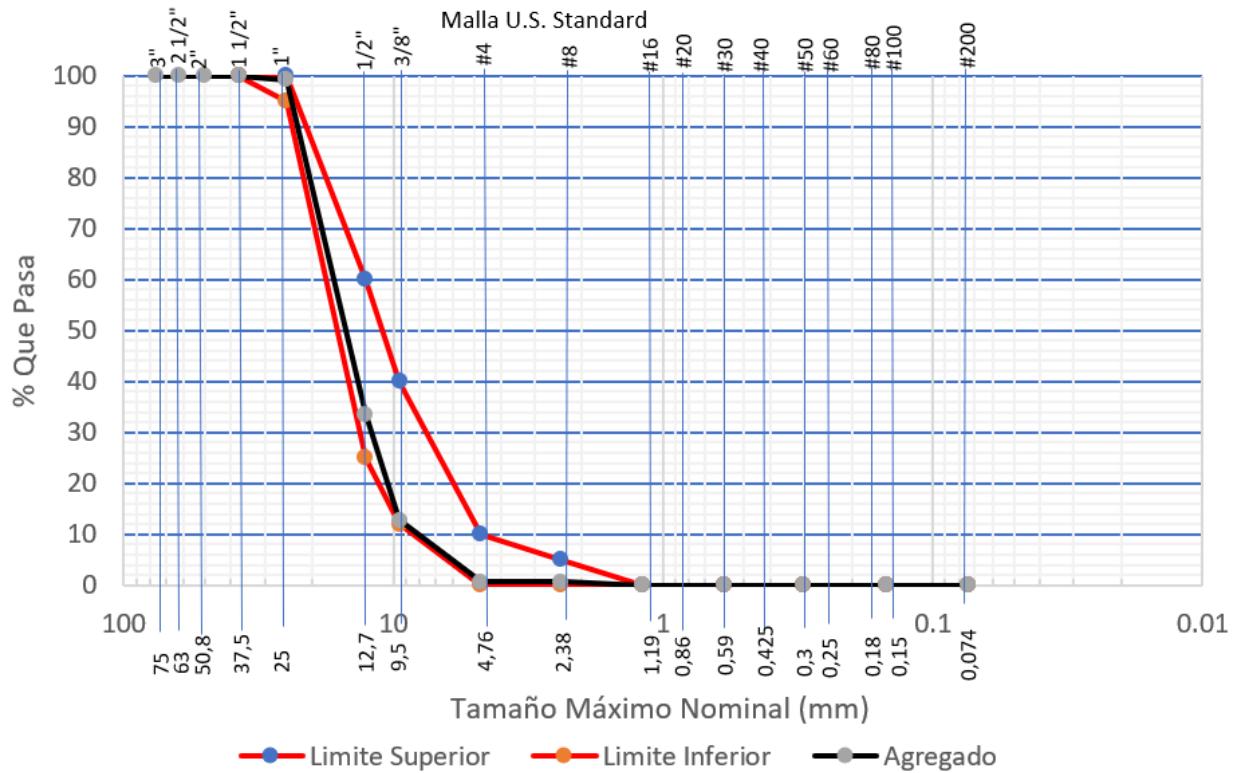


Figura 17: Granulometría del agregado grueso / Mina Copeto

○ Agregado Fino

Minicial = 10005 gr.

Tabla 10: Granulometría del agregado fino / Mina Copeto

Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.760	486.00	4.86	4.86	95.14
8	2.380	1476.00	14.76	19.62	80.38
10	2.000	377.00	3.77	23.39	76.61
16	1.190	1127.50	11.28	34.67	65.33
20	0.840	0.00	0.00	34.67	65.33
30	0.595	2199.00	21.99	56.66	43.34
40	0.420	0.00	0.00	56.66	43.34
50	0.297	2386.00	23.86	80.52	19.48
60	0.250	0.00	0.00	80.52	19.48
80	0.177	0.00	0.00	80.52	19.48
100	0.149	1297.50	12.98	93.49	6.51
200	0.074	397.00	3.97	97.46	2.54
Base		253.50	2.54	100.00	0.00
Total		9999.50			
%Perdida		0.01%			

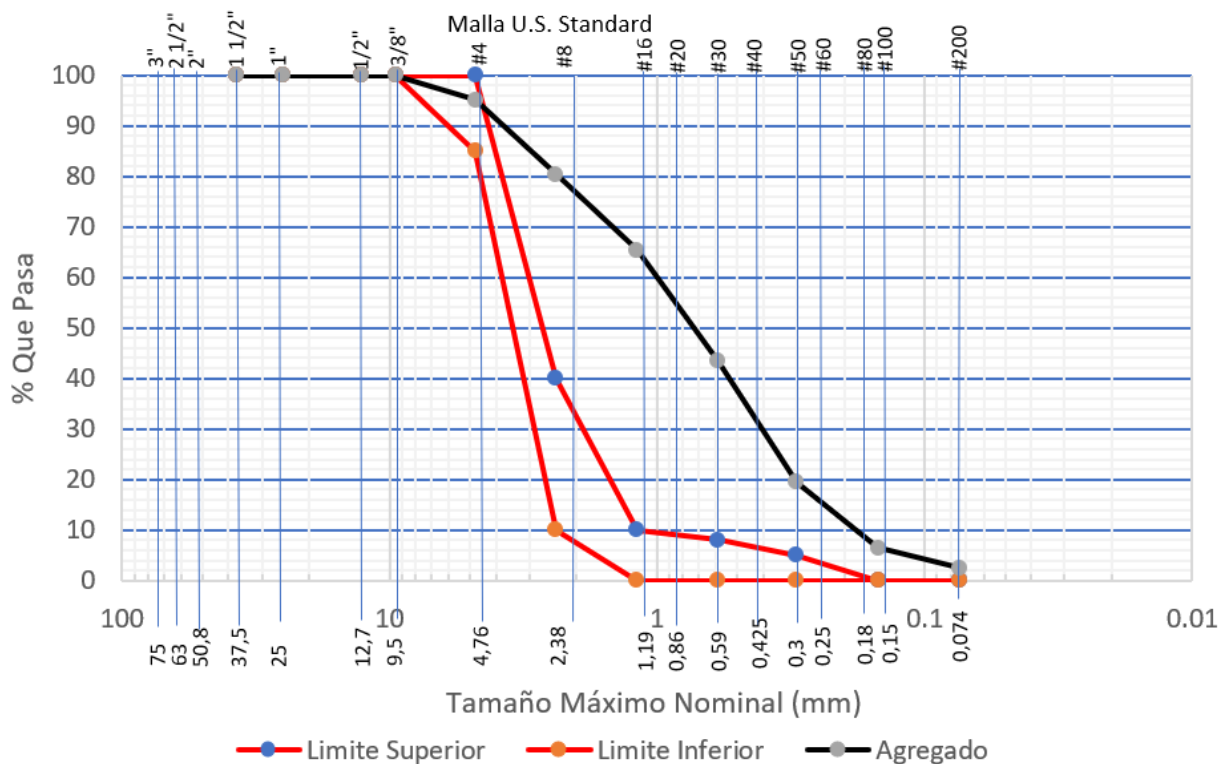


Figura 18: Granulometría del agregado fino / Mina Copeto

Una vez realizadas las granulometrías de las diferentes canteras y tipos de agregados se procedió a comparar con dichas curvas con los diferentes tipos de tamaños de piedras que nos sugiere la norma ASTM C33. En las canteras de estudio se pudo apreciar que para el agregado grueso su clasificación es la Piedra 57 ya que esta es la más acertada y se encuentran en sus límites. Por otro lado, el agregado fino no cumplió con los límites establecidos en la norma por lo cual es un problema, debido a que esto puede afectar en la producción del hormigón como se lo menciono anteriormente, más adelante se presentaran los resultados de las diferentes canteras en una misma imagen en donde se apreciaran de mejor manera su distribución y clasificación.

3.1.3. Material fino que pasa del tamiz N°200 – ASTM C117

La razón de estudio del material pasante del tamiz N°200, es porque en cantidades grandes puede afectar la dosificación. Dichos materiales finos afectan la hidratación y la adherencia de la pasta del cemento con los mismos agregados motivo por el cual la norma ASTM C 117 nos sugiere porcentajes máximos sobre la presencia de estos en los agregados finos y gruesos. Los porcentajes que recomienda la norma de estudio se encuentran en un rango de 1 a 3% de material fino pasante el tamiz N°200 (ASTM-C117, 2017).

Por otro lado, la norma ASTM C33 nos menciona que si los agregados son usados para hormigones no resistentes a la abrasión se permite un 5% de material pasante y si estos van a ser usados para hormigones sujetos a la abrasión sus porcentajes cambian y se debe tener en cuenta si estos están libres de arcilla y esquistos como se puede apreciar en la Tabla 1 de la norma antes mencionada (ASTM-C33, 2013). Por otro lado, si no se especifica el porcentaje pasante se debe tomar un 3% como límite para el diseño de hormigón.

Los hormigones resistentes a la abrasión que menciona la norma son usados en el ámbito industrial ya que estos se ven más afectados tanto por su uso o ubicación. Deben ser resistentes a altas temperaturas, corrosión, o un posible ataque químico lo cual exige un mayor desempeño del elemento (IMCYC, 2007).

Esta norma la podemos realizar mediante el lavado mecánico y manual. En este caso se optó por el lavado manual y se tomó una muestra de 500 gr de material fino para cada una de las canteras. Se debe tener en cuenta que el límite aceptable de material fino es del 5% como se mostrara a continuación en una gráfica.

Tabla 11: Pasante del tamiz N°200 – Agregado Fino

Cantera	Holcim Pifo	Rosita de Pomasqui	El corazón	Río Guayllabamba	Copeto - Snt. Domingo
Pesos	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
B	497	488	474	491.5	473
C	425	399	403.5	431	440.5
A	15%	18%	15%	12%	7%

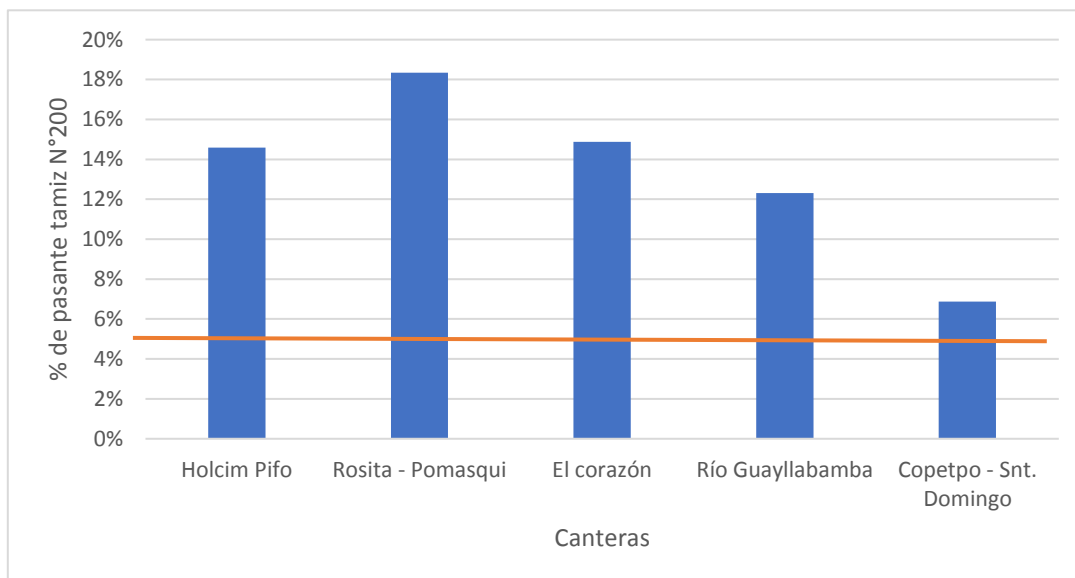


Figura 19: Material pasante del tamiz N° 200 – Agregado Fino

Como se puede observar en la grafico ninguna de las canteras está cumpliendo con lo recomendado en las normas antes mencionadas, por lo cual, si no existe un control más riguroso en las canteras y al momento de la construcción podrían ocurrir catástrofes a gran escala en los siguientes años si existiese algún fenómeno natural. También se pudo observar que las canteras que extraen su material de algún río y no de una reserva natural tienen menor porcentaje de pasante y esto se da debido a que dichas canteras realizan un lavado del material antes de su comercialización.

3.1.4. Resistencia a la abrasión e impacto agregado grueso ASTM C131

Este ensayo es de vital importancia debido a que esta característica ayuda a mejorar el desempeño que va a tener el hormigón, cabe recalcar que esta característica está relacionada directamente con el agregado grueso. Una buena resistencia a la abrasión es un buen indicador sobre la capacidad que van a tener los agregados al momento de producir hormigones resistentes a la abrasión y con buenas resistencias a la compresión (Tafur, Chavez, Delgado, Soria, & Fasando, 2015).

El rango que considera la norma para identificar si un agregado grueso es resistente a la abrasión es de 10 a 45% si su tamaño máximo nominal es de 19 mm (3/4 in.) (ASTM-C131, 2014). Por otro lado, la norma también evalúa la uniformidad de la muestra bajo acción de la prueba y esta se mide determinando el radio de la pérdida después de las 100 revoluciones y las 500. Este radio no debe superar el 20% si el agregado tiene una uniformidad de dureza (ASTM-C131, 2014).

En este ensayo se van a obtener 2 diferentes pesos "C" y "Y".

En donde:

- C.- Masa original de la muestra
- Y.- Masa final de la muestra

Tabla 12: Resumen de los porcentajes de abrasión de los agregados

Cantera	Tipo de Abrasión	Peso inicial	Peso (100 rev)	Peso (500 rev)	Abrasión (100 rev)	Abrasión (500 rev)
		gr	gr	gr		
Holcim - Pifo	A	5041.5	4346	2255	14%	55%
Rosita - Pomasqui	B	5000	4413	2564	12%	49%
El Corazón	B	5001	4289	2155	14%	57%
Río Guayllabamba	B	5006	4673	3736	7%	25%
Copeto - Snt. Domingo	B	5001	4614.5	3568.5	8%	29%

A continuación, con ayuda de la AASTHO T96 o la INEN 890 se va a identificar qué tipo de roca es la que posee cada cantera de acuerdo con su porcentaje de abrasión. En algunos casos van a existir más de dos opciones para los resultados obtenidos por lo cual se escogerá el que concuerde con las características de cada cantera mostradas anteriormente.

Tabla 13: Tipo de roca según AASTHO T96

Cantera	Tipo de Roca
Holcim - Pifo	Metamorfica
Rosita – Pomasqui	Granito
El Corazón	Metamorfica
Río Guayllabamba	Caliza o cuarcita
Copeto – Snt. Domingo	Caliza o Cuarcita

Una vez identificados los tipos de rocas, se puede corroborar que las resistencias a la abrasión de cada agregado ayudan a identificar qué tipo de depósitos son los que constan en cada cantera (ASTHO-T96, 2006).

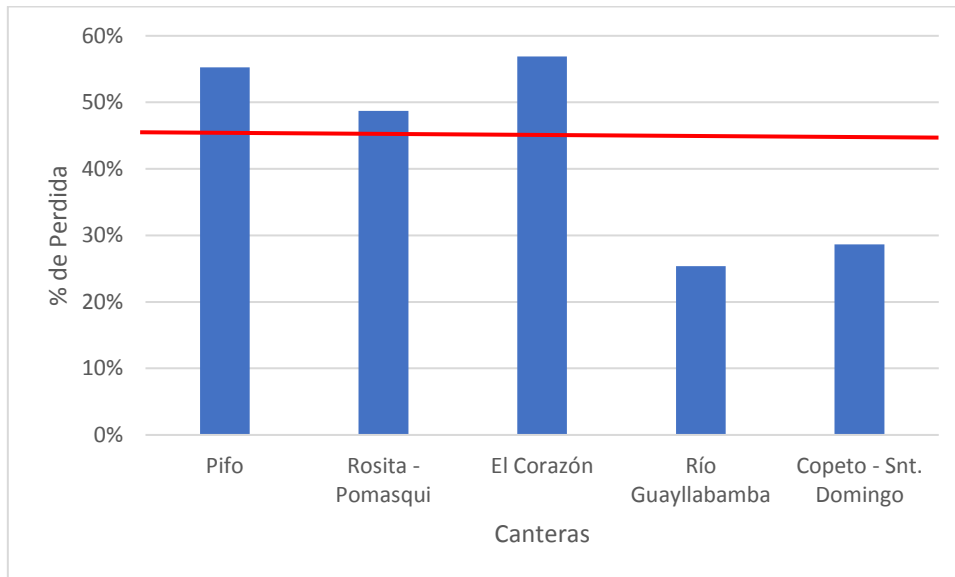


Figura 20: Resumen de los porcentajes de abrasión de los agregados

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos, solo dos de las canteras de estudio cumplen con lo requerido en la norma. Una vez más las canteras que obtienen sus agregados de los ríos tienen mejores características que las de reservas naturales. Debido a que los porcentajes de diferencia entre el límite que nos da la norma y los resultados son grandes se puede despreciar que hubo un error humano al momento de realizar el ensayo.

3.1.5. Point load test ASTM 5731

Este ensayo se encarga de analizar e identificar el índice de fuerza de carga puntual de la roca, dicho índice se obtiene sometiendo a los especímenes a una carga cada vez más concentrada hasta que se produce la falla rompiendo la muestra. Este ensayo puede ser usado para muestras obtenidas mediante la

extracción de núcleos de rocas de gran tamaño, o también se puede calcular dicho índice mediante muestras con textura irregular como es nuestro caso y se mostrara a continuación (ASTM-D5731, 2016). Las muestras irregulares deben cumplir con ciertos requerimientos que nos da la norma como es la relación entre D y W, la cual debe estar entre 1/3 y 1. Por otro lado, la distancia L debe ser al menos 0.5W. Con respecto a su figura deben ser de tipo rectangular en donde cumplan lo antes mencionado.

Tabla 14: Resultados del Point Load Test de las canteras de estudio.

Canteras	Holcim Pifo	Rosita	El Corazón	Río Guayllabamba	Copeto
Media $I_{s(50)}$ (MPa)	1.892	1.982	2.305	6.667	8.803
Desviación Estándar (MPa)	0.461	0.625	0.715	1.838	1.528
Designación Resistencia	Alto	Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto

Debido a que nuestro análisis solo fue de agregados irregulares solo se puede obtener el promedio de los ensayos a las muestras obtenidas, como se muestra en la Tabla 14. Para enfatizar y corroborar los resultados obtenidos se comprobaron con el programa realizado por Jorge Carpío para su proyecto de investigación, en donde se analiza lo obtenido de las muestras irregulares de cada cantera de estudio. (Ver Tabla 26 – 30). El $I_{s(50)}$ es el índice de carga puntual de cada muestra y se acompaña del numero 50 debido a que este es el diámetro preferido para el muestreo.

Los resultados nos muestran que las canteras Río Guayllabamba y Copeto son las de mejor capacidad en cuestión de resistencia. Por otro lado, la cantera de Holcim-Pifo es la que menor resistencia, pero esto no afecta directamente a

la resistencia del hormigón debido a que estos resultados no se los puede utilizar para el diseño o análisis de mezclas de hormigón.

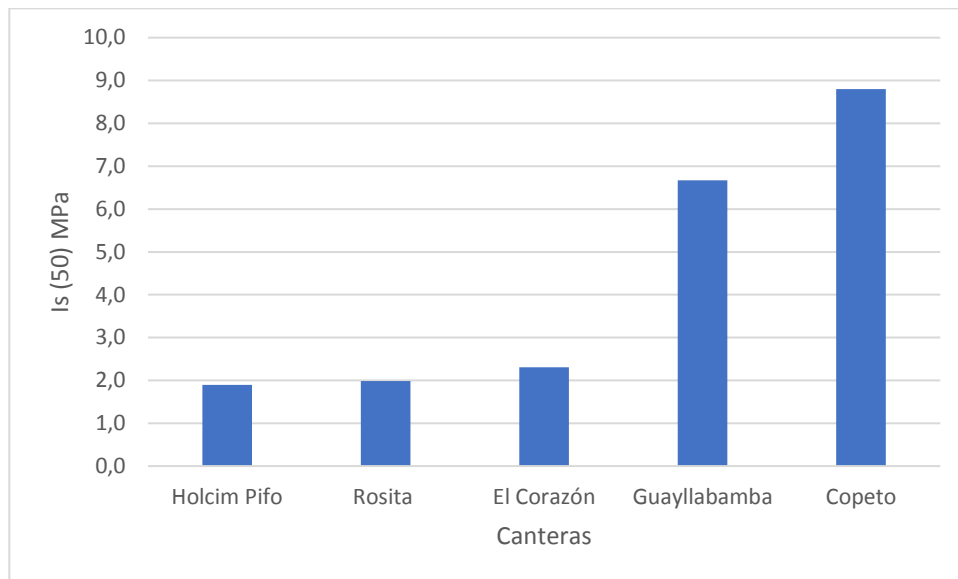


Figura 21: Resultados del Índice de carga puntual

En dicha gráfica se puede apreciar como los agregados que son obtenidos de ríos y triturados son de mejor capacidad que los que se explotan de canteras o yacimientos naturales.

3.1.6. Densidad y absorción agregado grueso ASTM C127

Este ensayo es muy importante ya que conforme se obtenga los resultados de los ensayos, se procederá a realizar la dosificación para cada una de las canteras de estudio. Esta norma se encarga de obtener la densidad aparente, la densidad SSD, la densidad OD y la absorción para los agregados gruesos (ASTM-C127, 2015). Esta norma nos ayuda a optimizar nuestra mezcla de hormigón debido a que se calcula el contenido de agua que existe en el agregado para de esta manera no usar demasiada agua al momento de la mezcla o viceversa si el agregado está demasiado seca agregar el agua necesaria para la obtención del hormigón. Por otro lado, al momento

de obtener la densidad aparente también podemos predecir la resistencia del hormigón al sumar las densidades de todos sus componentes. A continuación, se mostrará el tamaño de la muestra tomada juntamente con sus resultados de las diferentes densidades.

En donde:

- A.- Masa de la muestra de prueba seca
- B.- Masa de la muestra con superficie saturada seca al aire
- C.- Masa aparente con superficie saturada o sumergida

Tabla 15: Resumen de las densidades de los agregados gruesos de las canteras estudiadas

Canteras	Pesos (gr.)			Resultados (gr./gr.)			
	A	B	C	OD	SSD	Gravedad Específica	% Abs
Holcim Pifo	8100	8480	5031	2.35	2.46	2.64	4.7%
Rosita - Pomasqui	4000	4150	2496.5	2.42	2.51	2.66	3.8%
El Corazón	4980	5210	2990	2.24	2.35	2.50	4.6%
Río Guayllabamba	2978	3006	1848.5	2.57	2.60	2.64	0.9%
Sant. Domingo	3960	4040	2492	2.56	2.61	2.70	2.0%

Para interpretar dichos resultados se debe tener en cuenta que los valores pueden cambiar dependiendo de la época del año o su almacenaje, debido a que los ensayos se realizaron con los agregados sin someterse a su lavado o secado inicial que sugiere la norma.

3.1.7. Densidad y absorción agregado fino ASTM C128

De igual manera que la densidad y absorción del agregado grueso es importante para la dosificación, las características del agregado fino también son de vital importancia ya que de esta manera se puede obtener las cantidades de cada uno de los componentes del hormigón y optimizar la mezcla (ASTM-C128, 2015).

En la siguiente tabla se muestran las cantidades de la muestra tomada para cada cantera juntamente con los resultados. En donde:

- A.- Masa de la muestra con superficie seca
- B.- Masa del picnómetro lleno con agua hasta la marca de calibración.
- C.- Masa del picnómetro lleno con la muestra y agua hasta la marca de calibración
- S.- Masa de la muestra con superficie saturada seca

Tabla 16: Resumen de las densidades de los agregados finos de las canteras estudiadas

Canteras	Pesos (gr.)				Resultados (gr./gr.)			
	A	B	C	S	OD	SSD	Gravedad Específica	% Abs
Holcim Pifo	491	3523.5	3826.5	500.5	2.49	2.53	2.61	1.9%
Rosita - Pomasqui	499.5	3523.5	3845	502	2.77	2.78	2.81	0.5%
El Corazón	487.5	3523.5	3820	501.5	2.38	2.45	2.55	2.9%
Río Guayllabamba	481	3523.5	3819.5	502	2.33	2.44	2.60	4.4%
Snt. Domingo	490	3523.5	3828	500.5	2.50	2.55	2.64	2.1%

3.1.8. Módulo de Elasticidad en hormigón a compresión ASTM C 469

El módulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo al que está sometido un elemento y su deformación unitaria, es decir, la resistencia que tiene un elemento ante la deformación bajo la acción de una fuerza. Este ensayo tiene como objetivo identificar el módulo de elasticidad del hormigón, por lo cual, se realizaron las mezclas de hormigón con los agregados correspondientes a cada cantera y somete al cilindro a un proceso de carga y descarga, en donde, el límite de la carga impuesta es el 40% de su fuerza máxima la cual se obtuvo previamente. Las dosificaciones usadas se mencionan en el siguiente capítulo en donde podremos apreciar cual es el aporte de cada uno de

los materiales para su resistencia. Este ciclo de carga y descarga se realiza debido a que el aparato se debe acomodar o encerrar para evitar error en la medición. A continuación, se mostrará una tabla en donde se muestran los módulos de elasticidad de los cilindros para las canteras de estudio para una edad de 14 días (ASTM-C469, 2014).

Tabla 17: Resumen de los Módulos de Elasticidad de las canteras de estudio

Cantera	E (GPa)
Holcim Pifo	13.54
Rosita - Pomasqui	12.90
El Corazón	15.20
Río Guayllabamba	24.08
Copeto - Snt. Domingo	22.27

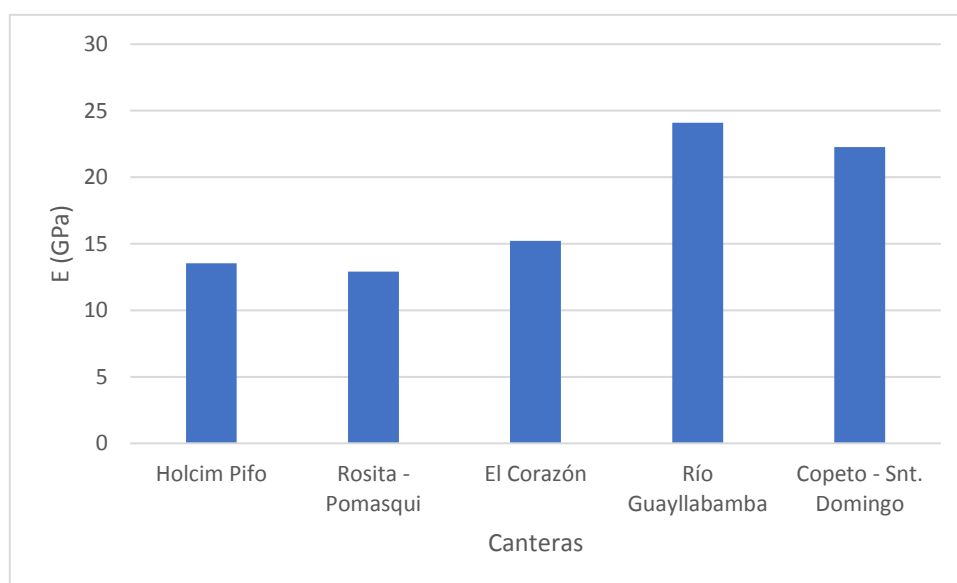


Figura 22: Modulo de Elasticidad de las diferentes canteras

Como se puede apreciar en la figura anterior el modulo de elasticidad de las canteras es relativamente bajo, pero se debe tener en cuenta que los ensayos se realizaron en a los 14 días motivo por el cual su desempeño no es el óptimo, razón por la cual se decidió comprobar los resultados obtenidos con las ecuaciones que nos sugiere la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC,

2014). En la siguiente tabla se mostrará los diferentes módulos de elasticidad de las rocas juntamente con la resistencia de los cilindros ensayados a los 14 días. Los módulos de elasticidad de la roca se los obtuvo de la Figura 27, en donde se tomo un promedio de los limites sugeridos, estos valores se los definió por el tipo de roca que se clasifico al momento de realizar el ensayo de Resistencia a la Abrasión e Impacto (Ver Tabla 13). Una vez obtenidos los Módulos y resistencias se procede a calcular los Módulos de Elasticidad del hormigón como se muestra a continuación. En donde:

- Ec_1.- Es el Modulo de elasticidad calculado según la resistencia a la compresión y el modulo de elasticidad de la roca.
- Ec_2.- Es el Modulo de elasticidad calculado según la resistencia a la compresión.

Tabla 18: Modulo de elasticidad teórico del hormigón

Canteras	Holcim Pifo	Rosita	El Corazón	Río Guayllabamba	Copeto
f'c (MPa)	19.6	26.6	17.5	21.8	25.9
Ea (GPa)	44.13	49.03	44.13	53.94	53.94
Ec_1 (GPa)	17.99	21.71	17.00	20.29	22.11
Ec_2 (GPa)	20.81	24.24	19.66	21.94	23.92

Como se puede observar, los valores teóricos con los prácticos son parecidos y la diferencia entre ellos se la puede otorgar a que el módulo de elasticidad de las rocas solo fue basado en la identificación de la roca mediante el porcentaje de abrasión e impacto y aparte fueron un promedio de los valores sugeridos.

3.1.9. Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón ASTM C 39

Este ensayo se encarga de poner a prueba cilindros de hormigón bajo esfuerzos de compresión. Para esta prueba se usa una prensa hidráulica la cual nos indicara la fuerza máxima (KN) y el esfuerzo máximo (MPa) a la que pueden llegar las muestras de hormigón. Estos cilindros tienen 10cm de diámetro y 20 cm de altura aproximadamente, si estos no cumplen con las dimensiones mencionadas existen factores de corrección para obtener sus estados máximos que se pueden encontrar en la misma norma (ASTM-C39, 2003).

La prensa hidráulica somete al cilindro a una fuerza de compresión de velocidad constante hasta que llegue a la fractura momento en el cual se registra dichos valores y se puede identificar el tipo de falla. A continuación, se mostrarán los resultados de los ensayos a compresión de las diferentes canteras para las tres diferentes edades de los cilindros.

Tabla 19: Resumen de las resistencias de los cilindros a diferentes edades

Edad (días)	Canteras				
	Holcim Pifo f'c (MPa)	Copeto f'c (MPa)	Rosita f'c (MPa)	El Corazón f'c (MPa)	Río Guayllabamba f'c (MPa)
7	18.0	24.0	14.8	19.0	22.9
14	19.6	26.6	17.5	21.8	25.9
28	20.6	29.4	20.7	25.1	29.3

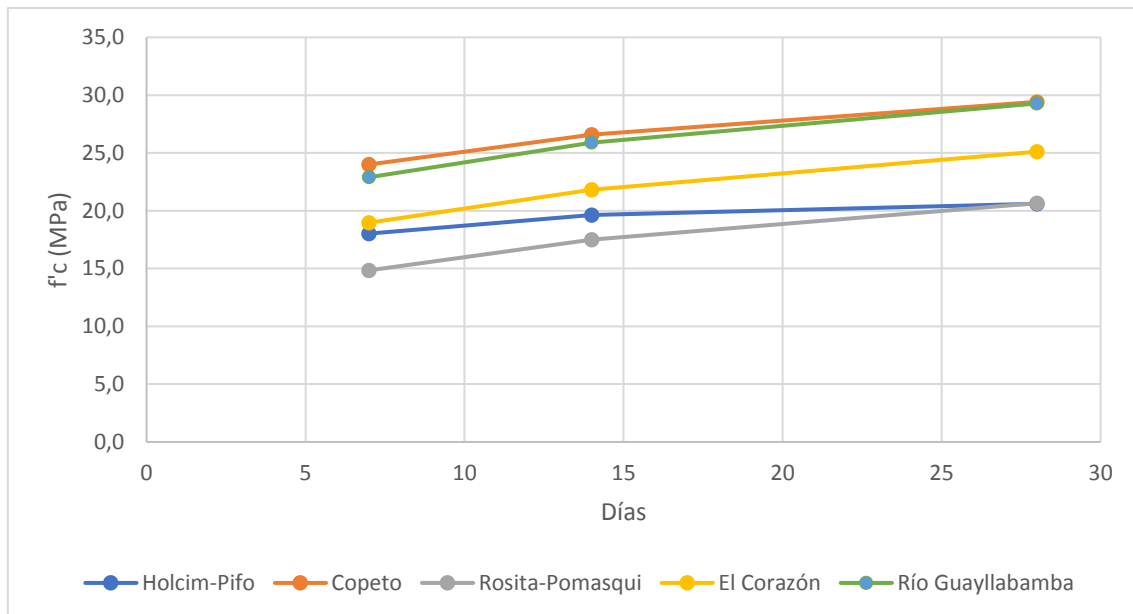


Figura 23: Resistencia a la compresión de cilindros a diferentes edades

4. CAPITULO 4

4.1. Dosificaciones de hormigón con los agregados de las diferentes canteras

En las dosificaciones de las diferentes canteras se decidió usar una relación agua / cemento (W/C) de 0.5 para todas las mezclas de la investigación. Por otro lado, las propiedades de los agregados gruesos y finos son las que van a ir variando en las diferentes mezclas, las cuales fueron estudiadas y obtenidas previamente. Se decidió utilizar la misma relación W/C para poder identificar la diferencia que tiene el uso de los agregados de las canteras de estudio. Los resúmenes mostrados a continuación son los valores finales de la dosificación ya que en algunos casos se obtuvo un sobrante de agua con lo cual se determinó sus valores finales. Para cada una de las dosificaciones no se realizaron granulometrías inversas o revisiones de

porcentajes de material fino debido a que se quiere identificar los efectos que tiene realizar la mezcla sin algún tipo de los estudios realizados anteriormente.

- Cantera Pifo Holcim

Tabla 20: Resumen de la dosificación de la Cantera HOLCIM Pifo

Resumen	Kg/cm³
Arena Fina	452.11
Arena Gruesa	867.04
Cemento	531.86
Agua	277.95
Aire	0.00
Total:	2128.96

- Cantera Rosita – Pomasqui

Tabla 21: Resumen de la dosificación de la Cantera Rosita - Pomasqui

Resumen	Kg/cm³
Arena Fina	438.17
Arena Gruesa	901.28
Cemento	556.59
Agua	274.88
Aire	0.00
Total:	2170.93

- Cantera El Corazón – Pomasqui

Tabla 22: Resumen de la dosificación de la Cantera El Corazón de Pomasqui

Resumen	Kg/cm³
Arena Fina	443.53
Arena Gruesa	834.22
Cemento	511.24
Agua	279.20
Aire	0.00
Total:	2068.19

- Cantera Río Guayllabamba

Tabla 23: Resumen de la dosificación de la Cantera Río Guayllabamba

Resumen	Kg/cm³
Arena Fina	507.49
Arena Gruesa	884.49
Cemento	561.92
Agua	271.46
Aire	0.00
Total:	2225.36

- Mina Copeto – Snt. Domingo

Tabla 24: Resumen de la dosificación de la Mina Copeto

Resumen	Kg/cm³
Arena Fina	503.63
Arena Gruesa	913.80
Cemento	574.29
Agua	259.83
Aire	0.00
Total:	2251.55

Una vez mostrados los resúmenes de las dosificaciones usadas procedemos a mostrar las relaciones W/C finales ya que en el proceso de la mezcla existieron sobrantes de agua, lo cual cambia su relación.

Tabla 25: Resumen de la relación W/C de las diferentes canteras

Cantera	W/C
Pifo	0.52
Rosita	0.49
El Corazón	0.55
Río Guayllabamba	0.48
Snt. Domingo	0.45

Como se puede apreciar las dosificaciones y las relaciones W/C varían debido a las características originales de los agregados, es decir, las propiedades que tenían al momento de tomar las muestras en cada cantera. Estos agentes son importantes

para realizar la dosificación, debido a que estos pueden variar por la época del año y también por la forma de obtención.

Por ejemplo, en la Mina Copeto se obtienen los agregados del río Toachi, en donde, se tritura y lava el material para proceder a su apilamiento. Entonces las propiedades de estos agregados van a variar debido a que si el material es producido recientemente va a tener una saturación de agua, la cual sería la principal característica que cambiaría nuestra dosificación.

4.2. Comparación de resultados de las diferentes canteras

Con respecto al tamaño máximo nominal de los agregados gruesos se pudo observar que en 4 de las 5 canteras el tamaño máximo nominal es de 1 in. y en la cantera restante es de $\frac{1}{2}$ in. Por otro lado, con respecto a la distribución de tamaños del agregado grueso se pudo identificar que se acercan a la clasificación Piedra #57 de acuerdo con la norma ASTM C 33-13, Tabla 3. Se pudo identificar dicha clasificación debido a que la norma nos muestra una serie de valores tanto para los límites superiores e inferiores, los cuales nos ayudan a identificar el tipo de piedra con la que estamos trabajando. A continuación, se mostrará una gráfica en la cual podamos apreciar como la distribución de tamaños del agregado grueso de las canteras de estudio se encuentran bajo los límites mencionados por la norma (ASTM-C33, 2013). Como se puede apreciar en la gráfica, las curvas granulométricas de las diferentes canteras se aproximan a la clasificación antes mencionada y se denominaría al agregado grueso de las canteras de estudio como Piedra #57.

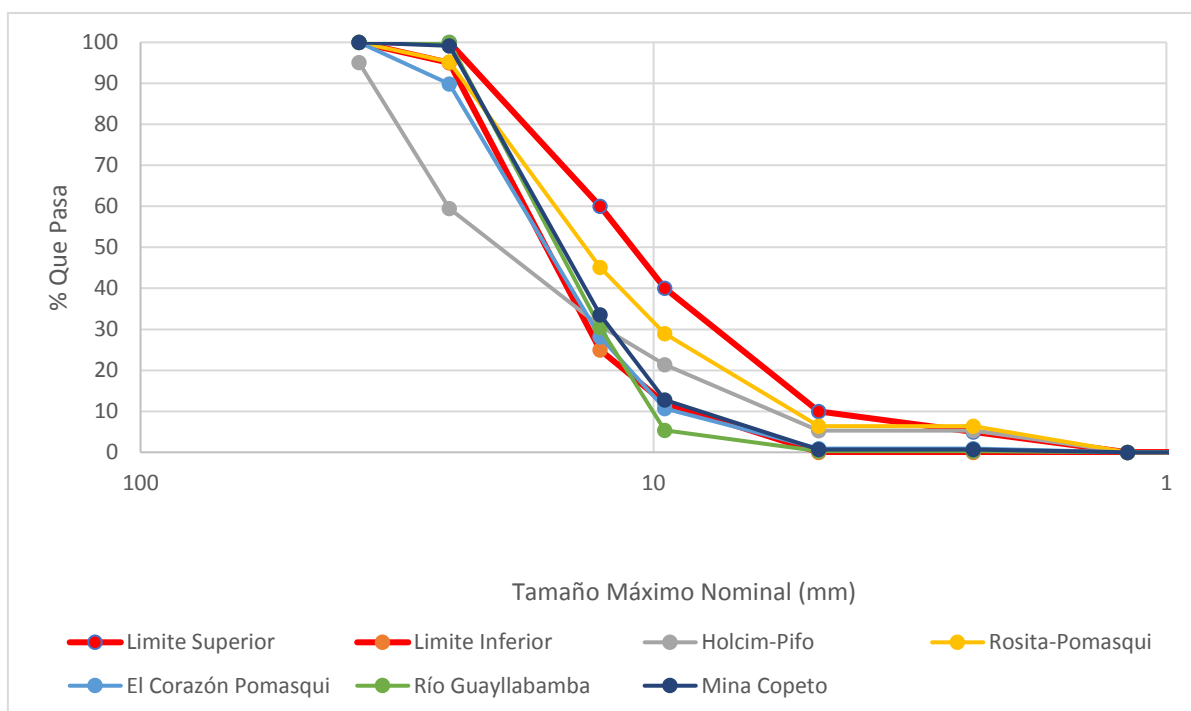


Figura 24: Granulometría del agregado grueso de las canteras con los límites de la Piedra 57

Por otro lado, el agregado fino solo cuenta con una distribución de tamaños aconsejada por esta norma, la cual usaremos para ver si el agregado fino de las canteras de estudio cumple con lo que establece la norma. Para realizar dicha comprobación se realizó una gráfica que indique las curvas granulométricas y dichos límites como se puede apreciar a continuación.

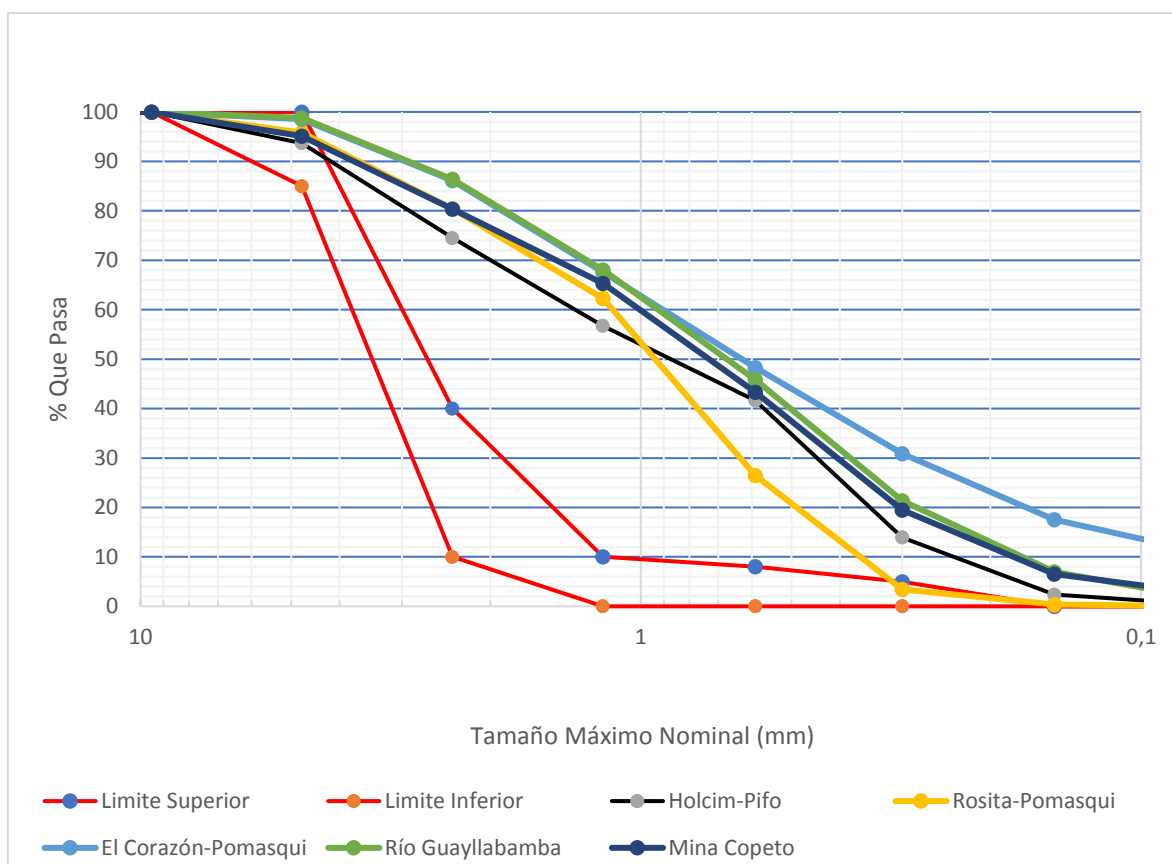


Figura 25: Granulometría del agregado fino de las canteras con los límites de la norma ASTM C 33.

Como se puede apreciar en la imagen, ninguna de las canteras cumple con la distribución de tamaños sugeridos por la norma. Lo que nos indica que se necesita una regularización o control en el proceso de producción de agregados para la construcción.

Una vez realizada la granulometría de los agregados se identificó que en algunas ocasiones no cumplen con la normativa impuesta pero también debemos tener en cuenta que existen agentes que pueden alterar dichos resultados como es el caso del muestreo. Para la obtención de las muestras se siguió la norma ASTM D75 y la norma ASTM C 702. En el caso de estas dos muestras existen varios procesos de muestreo, pero para nuestro estudio se escogió el proceso manual el cual puede no ser el más acertado.

Otra característica de los agregados es el análisis del material fino pasante el tamiz N°200. Estos materiales pueden ser arcilla o partículas que interfieren con su desempeño. Estos materiales son removidos por medio del lavado con agua del material, lo cual se reflejaría en porcentaje como se mostró en la Tabla 11. Como se pudo apreciar en la Figura 20, la cantera Rosita de Pomasqui es la que tiene más porcentaje de material fino, lo cual afectaría a su desempeño en la mezcla del hormigón. Por otro lado, la Mina Copeto es la que tiene menor porcentaje, pero se debe tener en cuenta que dicha mina en su proceso de producción realiza un lavado del material, lo cual disminuye el material pasante del tamiz N° 200. El tener menor material pasante el tamiz N°200 es una ventaja ya que estos pueden afectar la mezcla y disminuir su desempeño al momento de la construcción motivo por el cual se decidió realizar una mezcla de cada una de las canteras y comparar sus resistencias para de esta forma identificar si estos materiales afectan a la mezcla. Se debe tener en cuenta que el límite de material fino es del 3% y como se pudo apreciar en la figura N°20, ninguna de las canteras cumple con lo establecido por la norma. Otro motivo por el cual, el contenido de material fino en los agregados puede ser la forma y lugar de almacenamiento de los agregados

Las características más importantes al momento de la dosificación de la mezcla de hormigón son las densidades y absorción de los agregados tanto finos como gruesos. Para poder identificar dichas características se usaron las normas ASTM C 127 y C 128. Las normas de acuerdo con el tamaño máximo nominal nos indica la cantidad de agregado que se debe usar para realizar la prueba, en donde, se obtendrán la densidad SSD, OD, densidad relativa y absorción. Dichos

resultados se mostraron en la Tabla 13 y 14. Como se mencionó anteriormente estas características pueden ir variando de acuerdo con la época del año y como se las almacena ya que su contenido de humedad puede cambiar por lluvias en la semana. Con respecto a los resultados de los agregados gruesos, la densidad SSD y la absorción son los más importantes ya que estos van a ser usados para realizar la dosificación. Estos resultados nos ayudan a encontrar la cantidad de agua que se necesita en la mezcla.

La resistencia a la abrasión e impacto de los agregados es muy importante debido a que la resistencia de estos está ligada directamente con la resistencia de los cilindros del hormigón, es decir, que si se obtiene un porcentaje de abrasión menor tendrá un buen desempeño al momento de que el hormigón empiece a trabajar a compresión. Como se pudo observar en la Figura 21, la cantera que posee mejor resistencia a la abrasión e impacto es la cantera Río Guayllabamba. Dicha cantera tiene un 25% de resistencia a la abrasión lo cual nos indica que se desempeñara bien al momento del ensayo de los cilindros, por otro lado, la que menor resistencia tiene a la abrasión e impacto es la cantera de El Corazón. El límite permitido para la resistencia a la abrasión e impacto para los agregados a ser usados para una mezcla de hormigón es de 45%, los resultados de los análisis realizados a los agregados de las canteras nos arrojan que solo dos de los analizados son aptos para su uso. En la figura 21 se puede apreciar que el porcentaje de las canteras que no cumplen con el requerimiento no difiere por mucho con lo que establece la norma, motivo por el cual esperaremos a ver su desempeño en la mezcla y en los ensayos a compresión de los cilindros. En este ensayo también se pone a prueba la uniformidad de la resistencia a la abrasión

e impacto y se la pone a prueba mediante la comparación del porcentaje de pérdida a las 100 revoluciones y a las 500. El radio entre estos dos porcentajes no debe superar el 20%, en nuestro caso no tenemos uniformidad a la resistencia como se mostrará a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 26: Uniformidad en la resistencia a la abrasión e impacto

Cantera	Uniformidad	
	Radio	Cumple
Holcim - Pifo	25%	No
Rosita -Pomasqui	24%	No
El Corazón	25%	No
Río Guayllabamba	26%	No
Copeto - Snt. Domingo	27%	No

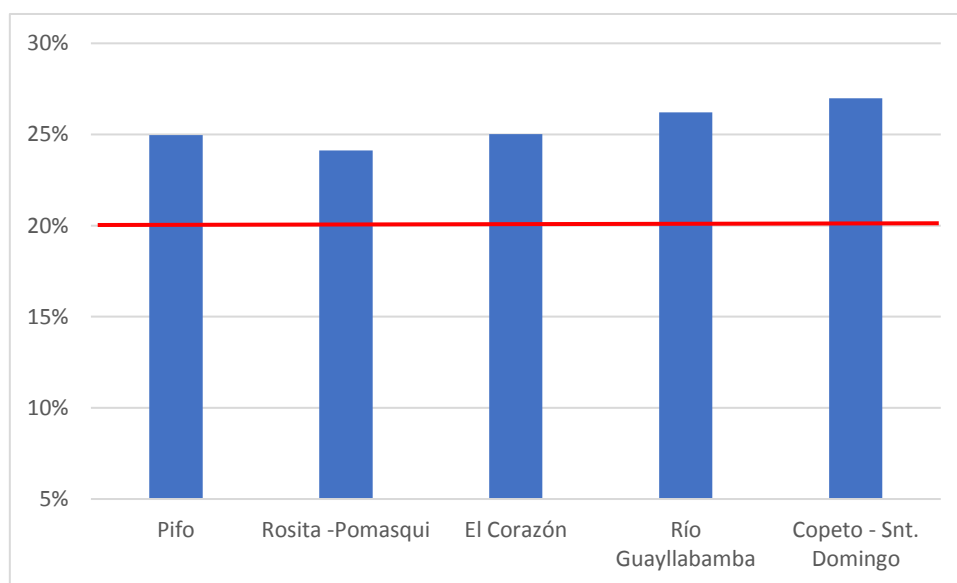


Figura 26: Uniformidad de dureza ASTM C 131

Como se puede observar en la Figura 26, las canteras de estudio no poseen dicha uniformidad en la dureza de sus rocas, por lo cual se puede decir

que una vez que los agregados son sometidos a varios impactos pierden sus características o resistencia.

Como se pudo apreciar en la tabla N°13, los resultados de los ensayos del Point Load Test fueron favorables para la Mina Copeto seguida por la cantera del Río Guayllabamba. Con esto se puede decir que las rocas provenientes de la Mina Copeto son mucho más duros o resistentes. Pero para tener un análisis más completo se deberían realizar pruebas a muestras de bloque, núcleos de roca y de esta manera tener un resultado más aproximado a la realidad. Por otro lado, la norma nos indica rangos para clasificar la resistencia de nuestras rocas, en donde, las canteras del Río Guayllabamba y la de Copeto son las que mayor resistencia tienen al obtener una clasificación de “MUY ALTO” mientras que las demás canteras tuvieron una clasificación de “ALTO”.

Al momento de la mezcla se tomó en cuenta el revenimiento, el cual para las diferentes canteras se encontraba entre 7 y 8.5 cm. Dichos valores son aceptados según la norma ACI 211, por lo cual se decidió a realizar la fundición de los cilindros para sus futuros ensayos.

La resistencia de los cilindros a diferentes edades la podemos apreciar tanto en la Tabla 18 como en la Figura 23. Los cilindros que obtuvieron mejor desempeño al momento de la compresión fueron los de la cantera Río Guayllabamba y la Mina Copeto, las cuales, desde un inicio vinieron dando resultados favorables como es en el caso del material fino pasante del tamiz N°200, de la resistencia a la abrasión e impacto, etc. Por otro lado, dos de las

canteras no obtuvieron el mínimo permitido por la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), que es al menos 21 MPa por lo cual es de suma importancia realizar los ensayos presentados en este proyecto de titulación.

5. CAPÍTULO 5

5.1. Conclusiones y recomendaciones

- Los agregados gruesos de las canteras de estudio cumplen con límites indicados de la Piedra #57 en la norma ASTM C 33. Por otro lado, los agregados finos difieren de los límites indicados en la norma, pero se debe tener en cuenta factores externos como es el método de almacenamiento y de obtención de a muestra (Ver Figura 24 y 25).
- El porcentaje de material fino pasante el tamiz N°200 de las 5 canteras de estudio es superior al permitido. El porcentaje de la Mina Copeto es el que más se acerca, por lo cual, sería el que menos se vería afectado en su resistencia por este efecto.
- La cantera del Río Guayllabamba y la de Copeto son canteras que obtienen sus agregados directamente de un río y la mayoría de sus productos son sometidos previamente a un lavado, motivo por el cual estas arrojan menores valores en el porcentaje de material fino pasante el tamiz N°200.
- El agregado grueso de la cantera Río Guayllabamba y de la Mina Copeto cumplen con el porcentaje de la resistencia a la abrasión e impacto, lo cual ayudaría a un mejor desempeño al momento de ensayar cilindros de hormigón con dichos agregados.
- En los ensayos a compresión de cilindros se pudo apreciar como el de la cantera del Río Guayllabamba y de la Mina Copeto son los más aptos para su uso. Pero

se debe tener en cuenta la distancia a la que se encuentran de la obra ya que estos pueden generar costos extras al proyecto.

- Debido a que los agregados de la Mina Copeto y de la cantera Río Guayllabamba fueron los que cumplían todos los requerimientos de las normas usadas para su análisis, estos obtuvieron las mejores resistencias en todas las edades ensayadas. Este es un claro ejemplo de que tanto las impurezas en los agregados como la resistencia a la abrasión e impactos afectan directamente a la resistencia de los cilindros de hormigón.
- Se recomienda identificar de una manera precisa el método de muestreo de los agregados para evitar segregación del material y de esta manera poder identificar las características de los agregados.
- Se recomienda realizar estos ensayos de manera continua ya que pueden variar debido a la época o por lluvias que se han dado en días pasados.
- Se recomienda usar agregados con características optimas a pesar de que estos generen un aumento en el costo del proyecto.
- Los resultados obtenidos de la norma ASTM D5731 no se los debe usar para cálculos de diseño o algún tipo de análisis.
- Se debe tener en cuenta que los resultados del Point Load Test se pueden ver afectados debido al manejo que se le dio al material desde su explotación.
- Se recomienda utilizar todos los tipos de muestras que recomienda la norma ASTM D5731, para reducir nuestro error al momento de calcular la resistencia de la roca.

6. Bibliografía

AASTHO-T96. (2006). Standard Test Method of Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine . Washington: AASTHO.

ASTM-C117. (2017). Standard Test Method for Materials Finer than 75um (No.200) Sieve in Mineral Agregates by Washing. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM-C127. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM-C128. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM-C131. (2014). Standard Test Method For Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM-C136. (2014). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM-C33. (2013). Standard Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM-C39. (2003). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM-C469. (2014). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete of Compression. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM-C702. (2003). Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size. West Conshohocken: ASTM International.

- ASTM-D5731. (2016). Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM-D75. (2003). Standard Practice for Sampling Aggregates. West Conshohocken: ASTM International.
- CTM-Construcción. (09 de 05 de 2019). Sindicato Nacional. Obtenido de CTM Construcción:
<https://www.sindicatonacional.org/site/index.php>
- Delgado, C. (2008). Hidrogeología y Modelación del Acuífero Pifo-Quinche. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Domenech Gordillo, M. A., & Espinoza Barahona, A. R. (2016). Determinación de las Propiedades Físico-Mecánicas de los Homígones y Morteros Utilizando Materiales Pétreos de las Canteras de Pifo y Pomasqui-San Antonio. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- IMCYC. (2007). Resistencia a la Abrasion. El Concreto en la Obra: Problemas, Causas y Soluciones, 74-79.
- Morales, M., & Martínez, K. (2012). Reacción Álcali Agregado. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogroviejo.
- NEC. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Estructuras de Hormigón Armado, 33-34.
- Sanchez de Gúzman, D. (2011). Durabilidad y Patología del Concreto. Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto.
- Tafur, G., Chavez, I., Delgado, D., Soria, O., & Fasando, T. (2015). ESTUDIO DE GRANULOMETRIA Y RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO. Tarapoto: Universidad Científica de Perú.

7. Anexos

- Anexo de Tablas

Tabla 27: Point Load Test Data – Holcim Pifo

#	Test Type	W (mm)	D (mm)	P (KN)	De ² (mm ²)	De (mm)	Is (Mpa)	F	Is ₍₅₀₎ (Mpa)
1	Irregular Lump	32.5	32	2.656	1324.17	36.4	2.01	0.87	1.739
2	Irregular Lump	37.5	30	2.918	1432.39	37.8	2.04	0.88	1.797
3	Irregular Lump	45	35	4.146	2005.35	44.8	2.07	0.95	1.967
4	Irregular Lump	30	30	3.622	1145.92	33.9	3.16	0.84	2.652
5	Irregular Lump	45	33	2.558	1890.76	43.5	1.35	0.94	1.270
6	Irregular Lump	31	30	1.812	1184.11	34.4	1.53	0.85	1.293
7	Irregular Lump	35	30	2.114	1336.90	36.6	1.58	0.87	1.374
8	Irregular Lump	38	31	2.534	1499.88	38.7	1.69	0.89	1.506
9	Irregular Lump	35	35	1.674	1559.72	39.5	1.07	0.90	0.965
10	Irregular Lump	36	36	4.742	1650.12	40.6	2.87	0.91	2.617
11	Irregular Lump	36	32	3.19	1466.77	38.3	2.17	0.89	1.929
12	Irregular Lump	32	30	4.44	1222.31	35.0	3.63	0.85	3.092
13	Irregular Lump	45	38	3.046	2177.24	46.7	1.40	0.97	1.356
14	Irregular Lump	35	35	4.18	1559.72	39.5	2.68	0.90	2.410
15	Irregular Lump	38	37	4.99	1790.17	42.3	2.79	0.93	2.586
16	Irregular Lump	36	31	4.43	1420.94	37.7	3.12	0.88	2.746
17	Irregular Lump	45	31	2.408	1776.17	42.1	1.36	0.93	1.255
18	Irregular Lump	32	30	2.822	1222.31	35.0	2.31	0.85	1.965
19	Irregular Lump	34	33	2.822	1428.57	37.8	1.98	0.88	1.742
20	Irregular Lump	43	31	3.83	1697.23	41.2	2.26	0.92	2.068
								Media Is (50) \bar{x}	1.740

Tabla 28: Point Load Test Data – Cantetra Rosita

#	Test Type	W (mm)	D (mm)	P (KN)	De ² (mm ²)	De (mm)	Is (Mpa)	F	Is ₍₅₀₎ (Mpa)
1	Irregular Lump	42	40	6.39	2139.04	46.2	2.99	0.97	2.884
2	Irregular Lump	43	41	6.608	2244.72	47.4	2.94	0.98	2.873
3	Irregular Lump	44	36	3.414	2016.81	44.9	1.69	0.95	1.613
4	Irregular Lump	51	46	8.606	2987.02	54.7	2.88	1.04	2.999
5	Irregular Lump	36	35	7.198	1604.28	40.1	4.49	0.91	4.061
6	Irregular Lump	45	30	3.392	1718.87	41.5	1.97	0.92	1.814
7	Irregular Lump	48	41	3.176	2505.74	50.1	1.27	1.00	1.268
8	Irregular Lump	43	41	4.852	2244.72	47.4	2.16	0.98	2.110
9	Irregular Lump	55	43	4.01	3011.21	54.9	1.33	1.04	1.389
10	Irregular Lump	50	34	3.658	2164.51	46.5	1.69	0.97	1.636
11	Irregular Lump	46	42	7.296	2459.90	49.6	2.97	1.00	2.955
12	Irregular Lump	42	34	3.9	1818.19	42.6	2.14	0.93	1.997
13	Irregular Lump	45	40	2.056	2291.83	47.9	0.90	0.98	0.880
14	Irregular Lump	45	30	3.948	1718.87	41.5	2.30	0.92	2.111
15	Irregular Lump	37	35	4.668	1648.85	40.6	2.83	0.91	2.578
16	Irregular Lump	44	41	2.886	2296.92	47.9	1.26	0.98	1.233
17	Irregular Lump	48	38	3.114	2322.39	48.2	1.34	0.98	1.319
18	Irregular Lump	42	35	2.136	1871.66	43.3	1.14	0.94	1.069
19	Irregular Lump	50	41	7.058	2610.14	51.1	2.70	1.01	2.730
20	Irregular Lump	66	45	4.142	3781.52	61.5	1.10	1.10	1.202
							Media Is (50) \bar{x}		1.727

Tabla 29: Point Load Test – El Corazón de Pomasqui

#	Test Type	W (mm)	D (mm)	P (KN)	De ² (mm ²)	De (mm)	Is (Mpa)	F	Is ₍₅₀₎ (Mpa)
1	Irregular Lump	45	34	6.732	1948.06	44.1	3.46	0.95	3.267
2	Irregular Lump	39	36	5.28	1787.63	42.3	2.95	0.93	2.739
3	Irregular Lump	43	35	6.454	1916.23	43.8	3.37	0.94	3.172
4	Irregular Lump	55	40	9.262	2801.13	52.9	3.31	1.03	3.392
5	Irregular Lump	47	36	8.456	2154.32	46.4	3.93	0.97	3.796
6	Irregular Lump	49	38	2.244	2370.77	48.7	0.95	0.99	0.935
7	Irregular Lump	48	39	6.686	2383.50	48.8	2.81	0.99	2.775
8	Irregular Lump	57	38	8.81	2757.84	52.5	3.19	1.02	3.266
9	Irregular Lump	57	37	3.038	2685.26	51.8	1.13	1.02	1.150
10	Irregular Lump	62	41	2.7	3236.57	56.9	0.83	1.06	0.884
11	Irregular Lump	52	45	5.254	2979.38	54.6	1.76	1.04	1.834
12	Irregular Lump	48	33	4.468	2016.81	44.9	2.22	0.95	2.111
13	Irregular Lump	50	47	6.33	2992.11	54.7	2.12	1.04	2.203
14	Irregular Lump	49	42	5.918	2620.33	51.2	2.26	1.01	2.283
15	Irregular Lump	53	43	2.4	2901.71	53.9	0.83	1.03	0.855
16	Irregular Lump	52	39	3.45	2582.13	50.8	1.34	1.01	1.346
17	Irregular Lump	48	40	4.71	2444.62	49.4	1.93	0.99	1.917
18	Irregular Lump	55	33	5.148	2310.93	48.1	2.23	0.98	2.189
19	Irregular Lump	45	37	6.452	2119.94	46.0	3.04	0.96	2.933
20	Irregular Lump	68	32	7.47	2770.57	52.6	2.70	1.02	2.759
								Media Is (50)	1.854

Tabla 30: Point Load Test Data Río Guayllabamba

#	Test Type	W (mm)	D (mm)	P (KN)	De ² (mm ²)	De (mm)	Is (Mpa)	F	Is ₍₅₀₎ (Mpa)
1	Irregular Lump	39	48	7.63	2383.50	48.8	3.20	0.99	3.167
2	Irregular Lump	39	42	13.218	2085.57	45.7	6.34	0.96	6.085
3	Irregular Lump	48	32	14.326	1955.70	44.2	7.33	0.95	6.932
4	Irregular Lump	42	40	17.764	2139.04	46.2	8.30	0.97	8.018
5	Irregular Lump	46	38	17.794	2225.62	47.2	8.00	0.97	7.789
6	Irregular Lump	44	37	12.182	2072.83	45.5	5.88	0.96	5.634
7	Irregular Lump	42	36	18.766	1925.14	43.9	9.75	0.94	9.191
8	Irregular Lump	49	35	17.662	2183.61	46.7	8.09	0.97	7.846
9	Irregular Lump	57	46	33.512	3338.43	57.8	10.04	1.07	10.713
10	Irregular Lump	47	37	18.13	2214.16	47.1	8.19	0.97	7.968
11	Irregular Lump	42	36	10.19	1925.14	43.9	5.29	0.94	4.991
12	Irregular Lump	52	36	15.512	2383.50	48.8	6.51	0.99	6.439
13	Irregular Lump	50	45	5.526	2864.79	53.5	1.93	1.03	1.989
14	Irregular Lump	56	42	10.376	2994.66	54.7	3.46	1.04	3.608
15	Irregular Lump	32	31	13.256	1263.05	35.5	10.50	0.86	9.001
								Media Is (50)	5.441

Tabla 31: Point Load Test Data – Mina Copeto

#	Test Type	W (mm)	D (mm)	P (KN)	De ² (mm ²)	De (mm)	Is (Mpa)	F	Is ₍₅₀₎ (Mpa)
1	Irregular Lump	40	40	21.64	2037.18	45.1	10.62	0.95	10.144
2	Irregular Lump	45	36	21.526	2062.65	45.4	10.44	0.96	9.994
3	Irregular Lump	45	36	25.58	2062.65	45.4	12.40	0.96	11.876
4	Irregular Lump	36	32	17.62	1466.77	38.3	12.01	0.89	10.655
5	Irregular Lump	48	36	17.61	2200.16	46.9	8.00	0.97	7.777
6	Irregular Lump	37	32	11.97	1507.52	38.8	7.94	0.89	7.086
7	Irregular Lump	38	31	12.87	1499.88	38.7	8.58	0.89	7.649
8	Irregular Lump	40	31	11.81	1578.82	39.7	7.48	0.90	6.745
9	Irregular Lump	48	47	14.21	2872.43	53.6	4.95	1.03	5.104
10	Irregular Lump	38	31	17.45	1499.88	38.7	11.63	0.89	10.371
								Media Is (50)	8.212

- Anexo de Figuras

Roca	Resistencia a la Compresion Kg/cm ²	Modulo de Elasticidad Kg/Cm ² x10 ⁵
Gabro	150 - 300	6 - 11
Granito	70 - 250	3 - 7
Basalto	100-300	2 - 10
Diabasa	60 - 130	3 - 9
Dolomita	150 - 250	2 - 8.4
Caliza	10 - 70	1 - 8.0
Arenisca	20	0.5 - 8.6
Lutita	20 -90	0.8 - 3.0
Gnesis	40 -70	2 -6
Marmol	50 - 80	6 - 9
Cuarcita	30 - 50	2.5 -10
Equisto	70 - 200	4 - 7

Figura 27: Módulos de Elasticidad de los diferentes tipos de roca. Fuente: (CTM-Construcción, 2019)



Figura 28: Cantera El Corazón



Figura 29: Almacenaje de la Cantera Río Guayllabamba



Figura 30: Método de cuarteo ASTM C 702



Figura 31: Masa de Agregado Grueso con Superficie Saturada Seca



Figura 32: Muestra DE agregado Fino para ensayo de la norma ASTM C 117



Figura 33: Determinación de masa con superficie saturada seca



Figura 34: Muestra agregado fino con masa en superficie saturada seca



Figura 35: Determinación de dimensiones de cilindros

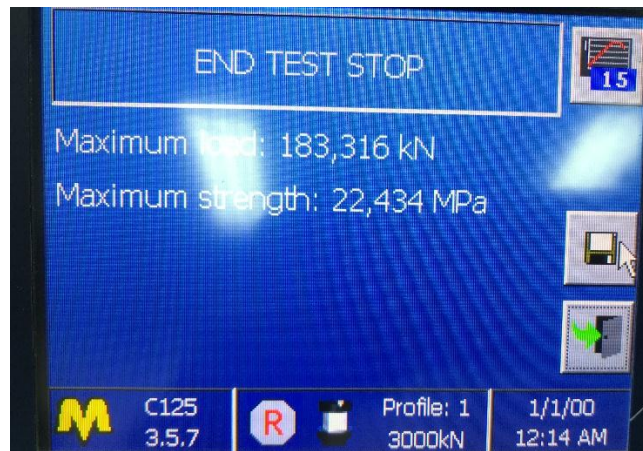


Figura 36: Resultados del ensayo a compresión



Figura 37: Cilindro después de ensayo a compresión