



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Caracterización de la Tonalita de la cantera La Josefina,
para sustituir el agregado fino en la fabricación de
hormigón”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO EN MINAS

Autores:

LUIS FERNANDO GARZÓN BERNAL
MARLON BYRON GODOY SÁNCHEZ

Director:

CARLOS FEDERICO AUQUILLA TERÁN

CUENCA – ECUADOR

2019

DEDICATORIA

A mi familia.

Luis Fernando Garzón Bernal

El presente trabajo de grado va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome sabiduría para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer, A mis padres por su amor incondicional, sacrificio y dedicación para ayudarme a conseguir mis metas. A mi hijo por ser la razón que me levanta cada día esforzándome por el presente y el mañana.

Y Andrea el amor de mi vida que siempre ha estado a mi lado con su apoyo incondicional.

Gracias por ser, gracias por estar.

Marlon Byron Godoy Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia y amigos por todo el apoyo que me han entregado, de manera muy especial a mi venerable madre Virginia Bernal.

Al Ing. Federico Auquilla, al Ing. Patricio Feijoo y al Ing. Rolando Armas Novoa, quienes ayudaron y dedicaron su valioso tiempo a este proyecto de grado

Gracias totales.

Luis Fernando Garzón Bernal

Al Ingeniero en Minas, Federico Auquilla por su apoyo absoluto en la realización de nuestro trabajo de titulación, por ser un modelo a seguir en el profesionalismo minero.

A los profesores de la Universidad del Azuay, que con su profesionalismo me han guiado en toda mi vida universitaria y han incentivado a superarme cada día.

Este trabajo de grado no se hubiese realizado sin la ayuda del Economista Bernardo Vintimilla, dueño de la cantera Santa Elena, y de la Ingeniera Andrea Sanmartín, gerente de Vipesa Construcciones Cia. Ltda., que nos facilitaron el acceso a sus instalaciones y el uso de sus equipos.

Marlon Byron Godoy Sánchez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
 CAPITULO I	 3
GENERALIDADES	3
1.1. Problemática.....	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Descripción del área de estudio.....	4
1.3.1. Ubicación.....	4
1.3.2. Acceso	5
1.3.3. Antecedentes de la zona	5
1.3.4. Factores técnicos	6
1.3.5. Geología	7
1.3.6. Tipo de roca	8
 CAPÍTULO II	 11
MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Trituración.....	11
2.1.1. Etapas de la trituración	12

2.1.2. Tipos de Trituradoras	13
2.2. Granulometría.....	18
2.2.1. Curva Granulométrica	19
2.3. Hormigón	20
2.3.1. Estructura del hormigón	20
2.3.2. Componentes del hormigón	22
2.3.3. Dosificación del hormigón	29
2.3.4. Consistencia de la mezcla; Asentamiento	31
2.3.5. Curado del hormigón.....	32
2.3.6. Resistencia a la compresión.....	33
2.4. Evaluación económica	34
2.4.1. Medición de variables y parámetros	35
CAPÍTULO III	36
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	36
3.1. Descripción de los áridos utilizados	37
3.2. Trituración de la roca Tonalita de la Josefina	38
3.2.1. Forma de las partículas.....	42
3.3. Granulometría de los agregados.....	43
3.3.1. Análisis granulométrico de arena de río cribada de Cochancay	43
3.3.2. Análisis granulométrico de la Tonalita producto de una trituradora cónica	45
3.3.3. Análisis granulométrico de la Tonalita producto de una trituradora de impactos	47
3.3.4. Análisis granulométrico de la grava de Cochancay	49
3.3.5. Curvas granulométricas de los áridos finos	51
3.4. Elaboración de hormigón.....	52
3.4.1. Procedimiento de elaboración de hormigón	53
3.4.2. Propiedad en estado fresco	56
3.4.3. Propiedades en estado endurecido	59
CAPÍTULO IV	67
EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	67
4.1. Valoración de producción	68

4.2. Gastos y Costos	68
4.2.1. Gastos de inversión inicial.....	68
4.2.2. Costos operativos	70
4.2.3. Costos administrativos	84
4.3. Resumen de costos mensuales.....	86
4.4. Costos de producción.....	86
4.4.1. Costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora cónica	87
4.4.2. Costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora de impactos VSI	87
4.5. Costo de venta de arena de río proveniente de Cochancay	88
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de ubicación de la zona de estudio “La Josefina”	4
Figura 1.2: Mapa de acceso al área de estudio	5
Figura 1.3: Muestra de roca Tonalita del sector “La Josefina”	9
Figura 2.1: Esquema de una Trituradora de Mandíbulas.	14
Figura 2.2: Esquema de una Trituradora Cónica.	15
Figura 2.3: Esquema de una trituradora de impactos VSI	16
Figura 2.4: Esquema del proceso de trituración.	17
Figura 2.5: Curva Granulométrica de una arena mal graduada.	19
Figura 2.6: Estructura interna del hormigón	21
Figura 2.7: Pasta de cemento en la estructura interna del hormigón	21
Figura 2.8: Agregado grueso triturado vs Agregado grueso natural	28
Figura 2.9: Molde para ensayo de asentamiento, Cono de Abrams	31
Figura 2.10: Medición del asentamiento	32
Figura 2.11: Curva de resistencia del espécimen cilíndrico	34
Figura 3.1: Grava triturada & Arena de río cribada provenientes de Cochancay	38
Figura 3.2: Roca Tonalita de la Josefina previo a la trituración.....	39
Figura 3.3: Trituradora de Mandíbulas	39
Figura 3.4: Trituradora Cónica	40
Figura 3.5: Recolección de arena de Tonalita con sacos	40
Figura 3.6: Trituradora de Impactos VSI	41
Figura 3.7: Recolección de arena de Tonalita con cargadora.....	41
Figura 3.8: Formas de partículas de la Tonalita fragmentada por una trituradora cónica & una trituradora de impactos	42
Figura 3.9: Peso inicial de la muestra de arena de río	44
Figura 3.10: Tamices & Agitador mecánico	44
Figura 3.11: Pesos registrados del tamizado de arena de río	45
Figura 3.12: Secado de Tonalita (cónica)	45
Figura 3.13: Peso inicial de la muestra de Tonalita (cónica)	46
Figura 3.14: Tamices & Agitador mecánico	46
Figura 3.15: Pesos registrados del tamizado de Tonalita (cónica)	47

Figura 3.16: Secado de Tonalita (impactos).....	47
Figura 3.17: Peso seco inicial de la muestra de Tonalita (impactos).....	48
Figura 3.18: Tamices & Agitador mecánico	48
Figura 3.19: Pesos registrados del tamizado de Tonalita (impactos)	49
Figura 3.20: Secado de grava	49
Figura 3.21: Peso seco inicial de la muestra de grava	50
Figura 3.22: Tamices & Agitador mecánico	50
Figura 3.23: Pesos registrados del tamizado de grava	51
Figura 3.24: Curvas granulométricas de los áridos finos.....	52
Figura 3.25: Dosificaciones para los tres tipos de hormigones.....	55
Figura 3.26: Hormigón en estado fresco	55
Figura 3.27: Colocación de hormigón en el cono de Abrams.....	56
Figura 3.28: Medición de asentamiento de los hormigones.....	57
Figura 3.29: Fraguado y colocación de hormigón en moldes cilíndricos	58
Figura 3.30: Curado de hormigón Tipo 1 y 2, sumergidos en agua	58
Figura 3.31: Máquina de compresión	62
 Figura 4.1: Posible recorrido del volquete en el área de explotación.....	 81
Figura 4.2: Esquema con costos de procesos para obtener arena de Tonalita.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tamaños nominales de abertura de tamices (ASTM)	18
Tabla 3.1: Dosificación para los tres tipos de hormigón, por Holcim S.A.	37
Tabla 3.2: Dimensión y volumen de parihuela.....	53
Tabla 3.3: Resumen del asentamiento de las tres dosificaciones	57
Tabla 3.4: Densidad del hormigón Tipo 1	59
Tabla 3.5: Medidas de dispersión de densidades del hormigón Tipo 1	59
Tabla 3.6: Densidad del hormigón Tipo 2	60
Tabla 3.7: Medidas de dispersión de densidades del hormigón Tipo 2	60
Tabla 3.8: Densidad del hormigón Tipo 3	61
Tabla 3.9: Medidas de dispersión de densidades del hormigón Tipo 3	61
Tabla 3.10: Resumen de densidades de los tres tipos de hormigón.....	62
Tabla 3.11: Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 1	63
Tabla 3.12: Medidas de dispersión de resistencias del hormigón Tipo 1	64
Tabla 3.13: Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 2	64
Tabla 3.14: Medidas de dispersión de resistencias del hormigón Tipo 2	65
Tabla 3.15: Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 3	65
Tabla 3.16: Medidas de dispersión de resistencias del hormigón Tipo 3	66
Tabla 3.17: Resumen de resistencia a la compresión del hormigón	66
Tabla 4.1: Producción diaria de arena de Tonalita	68
Tabla 4.2: Inversiones para el inicio de las actividades mineras.....	69
Tabla 4.3: Tiempo de ciclo de la excavadora hidráulica.....	78
Tabla 4.4: Rendimiento de la excavadora hidráulica.....	79
Tabla 4.5: Número de excavadoras hidráulicas.....	79
Tabla 4.6: Tabla para estimar el rendimiento en m ³ /h de la cargadora.....	80
Tabla 4.7: Número de cargadoras.....	80
Tabla 4.8: Tiempo de transporte del volquete	81
Tabla 4.9: Tiempo de ciclo del volquete.....	82
Tabla 4.10: Número de volquetes	82
Tabla 4.11: Requerimiento de maquinaria para procesos operativos	83
Tabla 4.12: Costos operativos mensuales	83

Tabla 4.13: Sueldos mensuales del personal	84
Tabla 4.14: Beneficios económicos mensuales del personal	85
Tabla 4.15: Gastos adicionales	85
Tabla 4.16: Resumen de costos administrativos.....	86
Tabla 4.17: Costos totales mensuales	86
Tabla 4.18: Costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora cónica	87
Tabla 4.19: Costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora de impactos VSI	88
Tabla 4.20: Resumen de Costos para la producción de arena de Tonalita.....	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1- Resolución de autorización “Ministerio del Ambiente”	98
Anexo 2- Acta de Entrega - Recepción “Ministerio del Ambiente”.	99
Anexo 3- Resolución de autorización “VIPESA CONSTRUCCIONES CIA. LTDA.”.	100
Anexo 4- Análisis granulométrico de la Arena de río cribada de Cochancay.	101
Anexo 5- Curva granulométrica de la Arena de río cribada de Cochancay.	102
Anexo 6- Análisis granulométrico de Tonalita de la Josefina, fragmentada producto de una trituradora cónica.	103
Anexo 7- Curva granulométrica de Tonalita de la Josefina, fragmentada producto de una trituradora cónica.....	104
Anexo 8- Análisis granulométrico de Tonalita de la Josefina, fragmentada producto de una trituradora de impactos.	105
Anexo 9- Curva granulométrica de Tonalita de la Josefina, fragmentada producto de una trituradora de impactos.	106
Anexo 10- Análisis granulométrico de la Grava triturada de Cochancay.....	107
Anexo 11- Curva granulométrica de la Grava triturada de Cochancay.	108
Anexo 12- Ficha de laboratorio de determinación de Asentamiento del hormigón.	109
Anexo 13- Asentamiento del hormigón Tipo 1.....	110
Anexo 14- Asentamiento del hormigón Tipo 2.....	111
Anexo 15- Asentamiento del hormigón Tipo 3.....	112
Anexo 16- Curado del hormigón sumergido en agua por 14 días.	113
Anexo 17- Ficha de laboratorio de determinación de Densidad del hormigón Tipo 1.	114
Anexo 18- Ficha de laboratorio de determinación de Densidad del hormigón Tipo 2.	115
Anexo 19- Ficha de laboratorio de determinación de Densidad del hormigón Tipo 3.	116
Anexo 20- Ficha de laboratorio del ensayo de Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 1.	117
Anexo 21- Ficha de laboratorio del ensayo de Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 2.	118

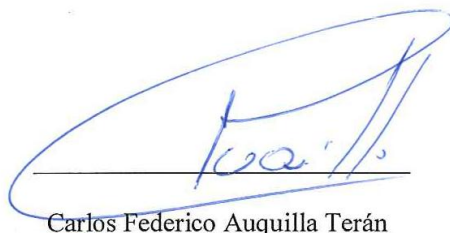
Anexo 22- Ficha de laboratorio del ensayo de Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 3.	119
---	-----

CARACTERIZACIÓN DE LA TONALITA DE LA CANTERA LA JOSEFINA, PARA SUSTITUIR EL AGREGADO FINO EN LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN

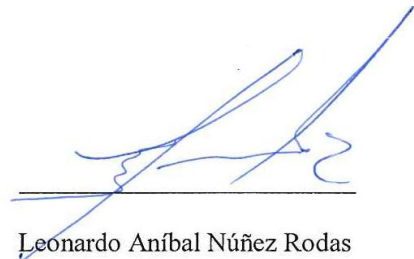
RESUMEN

A lo largo de este proyecto se realiza la caracterización de la roca Tonalita proveniente de la cantera de La Josefina, con el fin de determinar si es recomendable para usarla como agregado fino en la fabricación de hormigón. Esta investigación se basa en la recolección de muestras de roca de la zona de interés, para someterlas a un proceso de trituración, así también, en la elaboración de especímenes cilíndricos de hormigón, con el fin de valorar la resistencia a la compresión, y en consecuencia compararla con la resistencia de un hormigón modelo. Por otra parte, se estructuró un análisis económico para establecer el costo de producción de un metro cúbico de Tonalita triturada, el cual incluye los procesos mineros como arranque, carguío, transporte y trituración.

Palabras clave: Roca Tonalita, cantera, trituración, agregado fino, hormigón, resistencia a la compresión.



Carlos Federico Auquilla Terán
Director del Trabajo de Titulación



Leonardo Aníbal Núñez Rodas
Coordinador de Escuela



Luis Fernando Garzón Bernal



Marlon Byron Godoy Sánchez

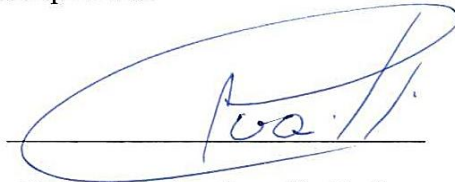
Autores

**CHARACTERIZATION OF THE TONALITE FROM THE "LA JOSEFINA"
QUARRY TO REPLACE THE FINE ADDITION IN THE MANUFACTURE OF
CONCRETE**

ABSTRACT

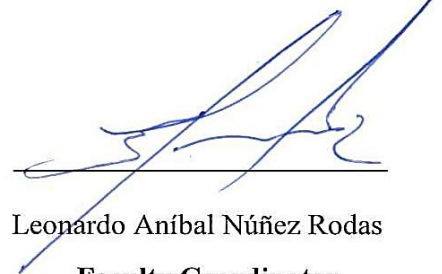
In this project, the characterization of the Tonalite rock from the “La Josefina” quarry was carried out to determine if it is advisable to use it as a fine aggregate in the manufacture of concrete. This investigation was based on the collection of rock samples from the area of interest to conduct a crushing process. The research was also based on the development of cylindrical concrete specimens to assess their compressive strength and compare the results with the strength of a concrete model. On the other hand, an economic analysis was structured to establish the production cost of a cubic meter of crushed Tonalite. The study included mining processes such as start-up, loading, transport and crushing.

Keywords: Tonalite rock, quarry, crushing, fine aggregate, concrete, resistance to compression.



Carlos Federico Auquilla Terán

Thesis Director



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Faculty Coordinator



Luis Fernando Garzón Bernal



Marlon Byron Godoy Sánchez

Authors



Translated by
Ing. Paúl Arpi

Luis Fernando Garzón Bernal; Marlon Byron Godoy Sánchez

Trabajo de Titulación

Ing. Carlos Federico Auquilla Terán

Mayo, 2019.

CARACTERIZACIÓN DE LA TONALITA DE LA CANTERA LA JOSEFINA, PARA SUSTITUIR EL AGREGADO FINO EN LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN

INTRODUCCIÓN

Por medio de las actividades mineras no solo se obtiene minerales metálicos, sino que también se extraen materiales que sirven para la construcción, con características que contribuyen a que los hormigones adquieran buenas o excelentes resistencias, según su aplicación.

El hormigón es uno de los materiales de construcción que más se utiliza hoy en día para el crecimiento y desarrollo constructivo de las ciudades. Para obtener esta mezcla se necesita de cemento, agua, agregado grueso (grava), y agregado fino (arena).

Todos los componentes son de mucha importancia en la elaboración de hormigón y su resistencia depende de varios factores, como por ejemplo de los agregados, ya que, ocupan cerca de un 75% de la composición del hormigón. Es muy importante conocer la forma y tamaño de partículas de los agregados, tanto gruesos como finos. Se puede distinguir la forma de las partículas de un agregado fino a simple vista, comúnmente presentan una forma redondeada o laminar, esto dependerá de los equipos que se usaron en el proceso de trituración.

Una de las propiedades en estado endurecido más importantes del hormigón, es la resistencia a la compresión y se llega a la deseada cumpliendo con las normas que se establecen para todos y cada uno de los procesos en la fabricación del hormigón.

Además de basarse en las normas, los componentes deben estar en óptimas condiciones; en el caso de los agregados, deben tener una adecuada granulometría, es decir, no presentar homogeneidad en cuanto al tamaño de las partículas.

Por otro lado, los elevados costos en la elaboración de hormigón en la ciudad de Cuenca viene siendo una dificultad, debido a la imposibilidad de extraer arena del río Paute y a los escasos volúmenes que se obtienen de sus afluentes cercanos, razón por la cual, la arena se la obtiene a un alto costo de lugares distantes. Por tal motivo existe la necesidad de sustituir la arena de río por un material de similares características que proviene de canteras de roca “in situ”, existente en zonas cercanas a la urbe cuencana.

El presente trabajo se orienta a la determinación de la resistencia a la compresión de diferentes hormigones fabricados con una dosificación, en la cual la única variable es el agregado fino. Los agregados finos que se usan son: arena de río proveniente de Cochancay y arena de roca Tonalita proveniente de la cantera de La Josefina, ubicada en la parroquia San Cristóbal del cantón Paute. Esta última se la obtiene gracias a procesos de trituración, de ahí que tendremos dos tipos de arena procedente de la misma roca, una con forma de las partículas laminares que es producto de una trituradora cónica y la otra con forma de las partículas redondeadas que es producto de una trituradora de impactos.

Adicionalmente, se plantea un análisis económico que permita determinar el costo de producción por metro cúbico de arena de Tonalita, valor que sirve de referencia para generar estudios más detallados, con el fin de llegar en algún momento a explotar el material de la zona de interés y así contribuir a la industria de la construcción y al desarrollo de la ciudad.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Problemática

Los elevados costos en la elaboración de hormigón en la ciudad de Cuenca viene siendo una dificultad, debido a la imposibilidad de extraer arena del río Paute y a los escasos volúmenes que se obtienen de sus afluentes cercanos, razón por la cual, la arena se la obtiene a un alto costo de lugares distantes. Por tal motivo existe la necesidad de sustituir la arena de río por un material de similares características que proviene de canteras de roca “in situ”, existente en zonas cercanas a la urbe cuencana.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar que el hormigón fabricado con el material producto de la fragmentación de la roca Tonalita de la cantera La Josefina, puede igualar o superar a la resistencia a la compresión de un hormigón fabricado con arena de río proveniente de Cochancay.

1.2.2. Objetivos específicos

- Triturar la roca Tonalita de la Josefina mediante una trituradora de mandíbulas, de impactos y una cónica.
- Determinar la curva granulométrica de la arena de río proveniente de Cochancay.
- Determinar las curvas granulométricas de la Tonalita fragmentada producto de una trituradora cónica y de una trituradora de impactos.
- Determinar la curva granulométrica de la grava proveniente de Cochancay.
- Elaborar tres dosificaciones en las que la variante será el árido fino.
- Determinar el asentamiento de los tres tipos de hormigones.

- Efectuar pruebas de resistencia a la compresión, a 30 especímenes cilíndricos.
- Estimar costos de producción de la Tonalita fragmentada.

1.3. Descripción del área de estudio

1.3.1. Ubicación

La zona de interés se encuentra situada en el sector de La Josefina perteneciente a la parroquia San Cristóbal del cantón Paute; el cerro de composición ígnea se denomina Tamuga y su ubicación geográfica, está en las coordenadas 2° 9' latitud sur y 79° 9' latitud oeste, a 22 kilómetros de la ciudad de Cuenca.

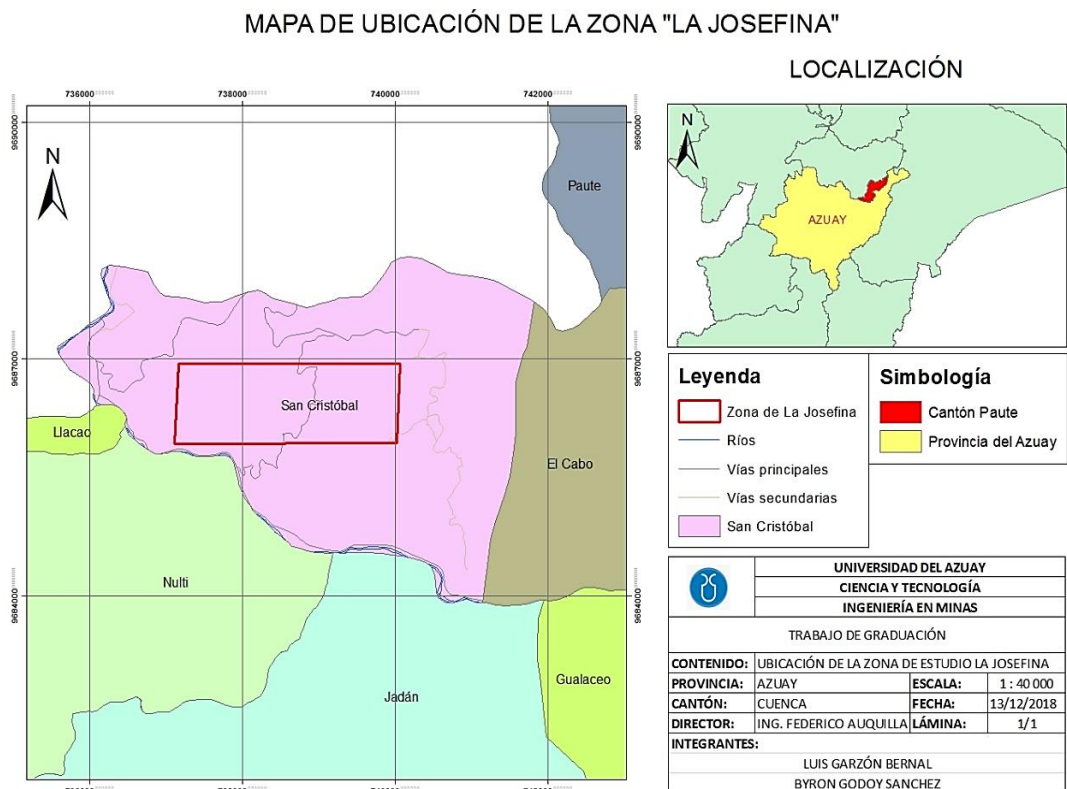


Figura 1.1: Mapa de ubicación de la zona de estudio “La Josefina”

1.3.2. Acceso

Para acceder al área de estudio desde la ciudad de Cuenca hay varias opciones de ruta. Hemos considerado que el recorrido más corto, es el que se conduce por la Panamericana Norte, más conocida como “vía vieja”, hasta llegar al redondel que distribuye las vías para dirigirse al Cantón Paute o al Cantón Azogues. Se toma la vía Paute y aproximadamente 4 kilómetros más adelante nos encontramos con el cerro Tamuga.

A continuación se presenta trazada con línea roja la ruta mencionada.

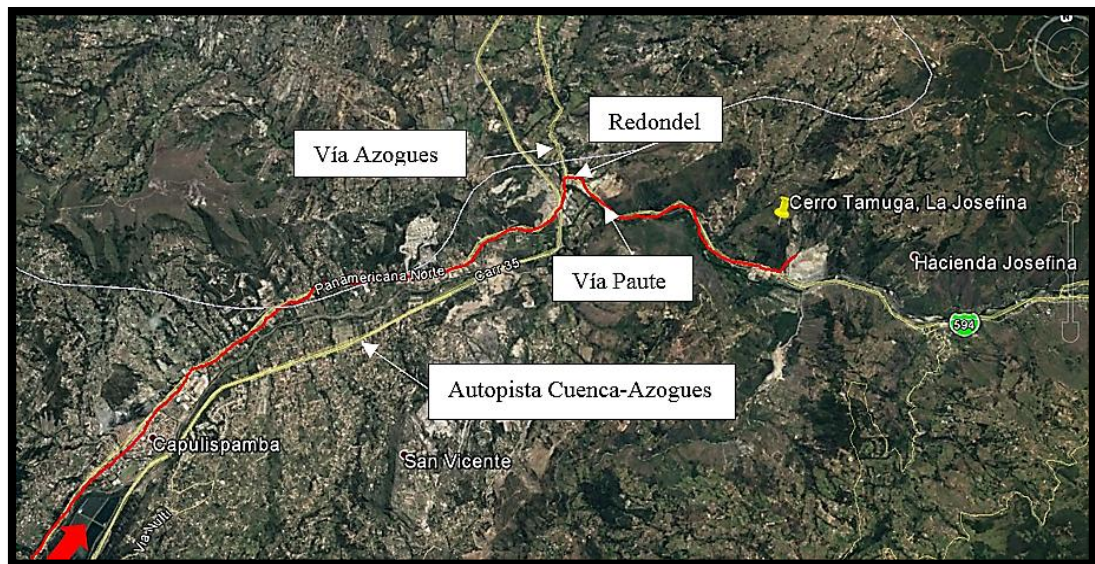


Figura 1.2: Mapa de acceso al área de estudio

Fuente: (Google Earth, 2018)

1.3.3. Antecedentes de la zona

El 29 de marzo de 1993, aproximadamente a las 21H00 en el cauce del río Cuenca, en la unión con el río Jadán cerca del cañón del Tاهual, en el sector de La Josefina, se produce un violento coluvión que forma un dique de grandes proporciones, el cual tapona a los ríos mencionados originándose el embalsamiento de sus aguas. El Cerro Tamuga, sufre un fuerte sacudón a consecuencia del deslizamiento de gran parte del mismo, que por la evidencia observada parece producirse en dos instancias, en la

primera desciende una gran masa del cerro que tapona a los ríos Cuenca y Jadán y en un segundo momento el deslizamiento cubre una parte del primero y todo el material removido se apoya en el cerro del frente denominado Tubón.

Este evento provocó la muerte y desaparición de cerca de 150 personas y un saldo de 7.000 personas damnificadas. (Domínguez, 1999)

El deslizamiento aparentemente de tipo rotacional comprende el movimiento de una masa de material pétreo de un volumen aproximado de 27 millones de metros cúbicos, compuesto por material alterado y presenta una mezcla heterogénea con suelo de variada granulometría que van desde limos arcillosos plásticos a gravas y bloques angulares; este material corresponde a un cuerpo rocoso de origen volcánico que se denomina Tonalita.

Las probables causas para el desarrollo de este fenómeno catastrófico, puede deberse a la fuerte estación invernal que soportó en sus dos últimos meses la zona Austral y las lluvias prolongadas de gran intensidad, que en forma localizada se ocasionaron en el sector de la Josefina en los días anteriores al deslave, lo que podría haber provocado un aumento de las fuerzas desestabilizadoras en el estado de tensiones internas del macizo; además se debe citar que en el sector existían algunas canteras en las cuales se explotaba el material de una manera anti técnica y que podría adicionarse como causa desestabilizadora. (Domínguez, 1999)

A partir del año de 1999, esta zona ha sido sometida a tres procesos de estabilización, en los que se retiró material con el fin de evitar un inminente deslizamiento, mismo que fue aprovechado por organismos seccionales para realización de obras de infraestructura pública.

1.3.4. Factores técnicos

El Cerro Tamuga está compuesto principalmente por rocas ígneas, cuyas características lo convirtieron en una zona de interés para la industria minera y de construcción.

La explotación minera anti técnica y sin regirse a un tipo de regulación por parte de las entidades competentes, empezó a extenderse en el sector de La Josefina, pudiéndose observar descompensaciones en el Cerro Tamuga.

Un año después del “Desastre de la Josefina”, el Gobierno Nacional en convenio con el Cuerpo Suizo de Socorro en caso de catástrofes, realizaron el proyecto denominado PRECUPA (Prevención Ecuador Cuenca Paute) cuyo objetivo era realizar estudios de fenómenos y amenazas, basándose en seis campos de acción como: Topografía/Geodesia, Geología, Hidrometereología, Sismología, Limnología y Difusión y participación. Este estudio abarcó un área 3700 km², incluido el sector de “La Josefina” (área de estudio); el informe del proyecto PRECUPA demostró que el Cerro Tamuga se desplaza aproximadamente 3.8 cm/año. (Cuerpo Suizo de Socorro y Basase, 1998)

1.3.5. Geología

Descrita en el mapa geológico de la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero - Metalúrgica (CODIGEM) en la Dirección General de Geología y Minas DGGM, 1974, la zona de interés y/o estudio, está dentro de las formaciones Tarqui, Yunguilla y Biblián, las mismas que se describen a continuación:

1.3.5.1. Formación Tarqui

La formación Tarqui del Cuaternario sobreyacen en discordancia a las formaciones Biblián y Yunguilla y principalmente está formada por material volcánico existiendo un predominio de los piroclastos, compuestos de tobas ácidas blancas y rojas, además de aglomerados andesíticos. Es característica la presencia de abundantes cristales euhedrales bipiramidales de cuarzo que se encuentran en pequeños bolsillos residuales en la superficie.

1.3.5.2. Formación Yunguilla

La formación Yunguilla constituida predominantemente por argilitas negras variando a arcillas cafés, oscuras o negras. La silicificación es común y se encuentran calizas y concentraciones carbonatadas en toda la secuencia, así como intercalación de lavas andesíticas. Corresponde a una edad cretácica, y se compone de lutitas, gravas y conglomerados; limita al sur con la zona de Cuenca.

1.3.5.3. Formación Biblián

La formación Biblián está constituida por lutitas laminadas de colores predominantemente rojizos, suelos residuales arcillosos, plásticos y muy blandos. Esta formación está compuesta también de arcillolitas color morado y verde intercalado con areniscas fino granulares y vetas discordantes de yeso y azufre. Fue depositada en un ambiente de llanura aluvial. En la zona del “El Descanso” existe un afloramiento de andesitas y tobas. (Hungerbühler & Steinmann, 1996)

1.3.6. Tipo de roca

Según los autores Calle, A. y López, D., en la tesis denominada “Caracterización mineralógica y evaluación de reservas del macizo rocoso de La Josefina” concluyen que: En la zona de estudio existe tres tipos de roca tales como:

- Andesita
- Dacita
- Tonalita

De ahí que, el área de estudio de este proyecto se delimita al Cerro Tamuga (La Josefina), el cual está conformado por una roca de tipo Tonalita.

1.3.6.1. Tonalita

La tonalita corresponde a una roca ígnea plutónica de color gris con tamaño de grano variable de medio a grueso, compuesta por cristales de plagioclasa, cuarzo, hornblenda, feldespato potásico, biotita, minerales máficos y minerales opacos. (Blandón, 2016)

Es utilizada en la industria de la construcción debido a su dureza (6 a 7 en la escala de Mohs), luego de haber pasado por los procesos de trituración y/o molienda dependiendo del uso que vaya a tener.

En la siguiente figura se puede observar la roca Tonalita proveniente de “La Josefina”, así también su composición mineralógica.



Figura 1.3: Muestra de roca Tonalita del sector “La Josefina”

1.3.6.2. Composición mineralógica de la roca Tonalita proveniente de La Josefina

Según los autores Calle, A. y López, D., en la tesis denominada “Caracterización mineralógica y evaluación de reservas del macizo rocoso de La Josefina”, determinan en base a un análisis de láminas delgadas y a un análisis químico DRX (técnica de difracción de rayos X), que la roca Tonalita que conforma el intrusivo de “La Josefina”, presenta la siguiente composición mineralógica:

- Cuarzo (10 – 35%)
- Plagioclasa (50 – 80%)
- Hornblenda (5 – 35%)
- Biotita (10 – 35%)
- Piroxeno (Augita) (10 – 20%)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En la elaboración de hormigón es muy importante que sus componentes presenten características establecidas, como en el caso del agregado fino que debe presentar una adecuada distribución de tamaños de partículas. Y para obtener una adecuada granulometría, la roca tiene que someterse a un proceso de trituración o chancado, mediante trituradoras, que a continuación se describen.

2.1. Trituración

La trituración también se la conoce como el proceso de chancado y es la primera etapa de la conminución. Por lo general se realiza en seco y en etapas sucesivas. Industrialmente se utilizan diferentes tipos de máquinas de trituración y suelen clasificarse de acuerdo a la etapa en que se utilizan y el tamaño de material tratado.

Se pueden clasificar todas las trituradoras como perteneciendo a dos grupos principales:

- **Trituradoras por compresión**, que comprimen el material hasta que este se rompe.
- **Trituradoras por impactos**, las cuales usan el principio de impactos rápidos para triturar el material.

Las trituradoras de mandíbulas, cono, giratorias y de rodillos, operan según el principio de compresión, mientras que las trituradoras de impactos y los molinos de martillos, usan el principio de impacto. (Rodríguez Vásquez, 2010)

2.1.1. Etapas de la trituración

En la operación de reducir el tamaño de las rocas no existe una máquina que sea capaz de realizar una trituración completa, es decir, una trituración primaria, secundaria y terciaria, y en cada una de esas etapas se utiliza una trituradora distinta. En un proceso de chancado pueden haber 2 o 3 etapas, esto va a depender del tipo de material a fragmentar y el tamaño que se determine. Debido a esto, la trituración se hace progresivamente en diferentes etapas.

2.1.1.1. Trituración primaria

La trituración primaria es la etapa en donde se realiza la primera fragmentación del mineral bruto, es decir, se tritura el mineral (rocas de un máximo de 60" o 150 cm) hasta un producto de 8" a 6" (20 a 15 cm). Las chancadoras primarias se caracterizan por la aplicación de fuerzas a bajas velocidades, sobre partículas que se encuentran entre superficies casi verticales y no paralelas. Estas superficies convergen desde arriba hacia abajo, acercándose y alejándose una de la otra con movimientos de pequeña amplitud, los mismos que son restringidos para evitar contactos de quijadas.

A la relación del tamaño de alimentación que admite la trituradora y el tamaño del producto de salida, se le denomina radio de reducción. Esta relación depende del esfuerzo que la máquina está diseñada para soportar, durante el paso de rocas a través de ella. Entre los factores que influyen sobre la relación de reducción esta: la cantidad de roca en la trituradora, el porcentaje de poros o vacíos, la dureza de la roca, el ángulo de inclinación de las quijadas y la velocidad a la cual el equipo trabaja. (Rodríguez Vásquez, 2010)

Dentro de una primera fase de trituración pueden operar la trituradora de mandíbulas o la trituradora giratoria.

2.1.1.2. Trituración secundaria y terciaria

Las siguientes etapas de chancado se desarrollan con equipos que toman el material fraccionado en la etapa primaria como alimentación. El tamaño máximo normalmente será menor de 6" u 8" (15 a 20 cm) de diámetro y el producto que se obtiene llega hasta tamaños de 3" a 2" (8 a 5 cm).

Los equipos empleados en esta fase son por lo general de tipo giratorio o cónico. Estas quebrantadoras son similares a las utilizadas en la trituración primaria, diferenciándose solamente en que trabajan a velocidades relativamente altas y en que la abertura de salida de los productos triturados es mucho menor.

La principal diferencia entre la trituración secundaria y terciaria está en el tamaño de partícula que entregan.

2.1.2. Tipos de Trituradoras

La materia prima que proviene de las canteras de roca suelen tener tamaños muy grandes y para su uso es necesario reducir su tamaño.

Esto lo podemos conseguir empleando distintos tipos de trituradoras:

a) Trituradoras por compresión

- Trituradoras de Mandíbulas
- Trituradoras Giratorias
- Trituradoras de Cono

b) Trituradoras por impacto

- Trituradoras de Impacto
- Trituradoras de Martillos

En este proyecto se va a emplear la trituradora de mandíbulas, la trituradora cónica y la trituradora de impactos VSI (trituradora de impacto de eje vertical).

2.1.2.1. Trituradora de mandíbulas

Está constituida por dos placas, una móvil y otra fija, y al moverse la placa móvil ésta comprime a las partículas contra la placa fija. Los esfuerzos aplicados mediante este movimiento fracturan a las partículas. El mineral ingresa a la chancadora a través de la abertura superior de las dos mandíbulas y es triturado cuando la mandíbula móvil se mueve hacia la mandíbula fija de arriba hacia abajo. Cuando la quijada móvil se aleja, de abajo hacia arriba, el mineral triturado va bajando y otra vez es chancado entre las dos quijadas. Los ciclos continúan hasta que el mineral, se descargue en la base de la trituradora. (Rodríguez Vásquez, 2010)

En la siguiente figura se presenta un esquema de una trituradora de mandíbulas, con sus componentes.

- A: Cuerpo rígido.
- B: Mandíbula fija.
- C: Mandíbula móvil.
- D: Eje excéntrico.
- E: Puente.
- F: Varilla de tensión.
- G: Resorte.
- H: Block de ajuste.
- I: Volantes fundidas.
- J: Regulación para el tamaño.
- K: Contrapeso de la volante.

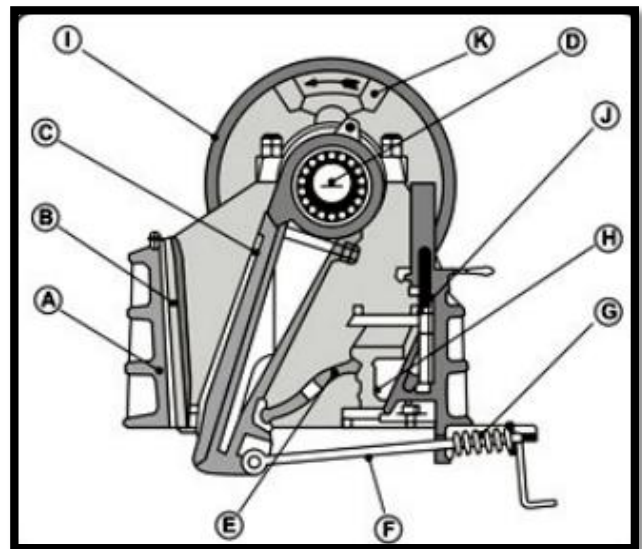


Figura 2. 1: Esquema de una Trituradora de Mandíbulas.

Fuente: (Aguirre Zaquinaula, 2013)

2.1.2.2. Trituradora Cónica

Las trituradoras cónicas pueden considerarse una modificación de una trituradora giratoria, presentan un esquema similar de funcionamiento, y son empleadas en la trituración secundaria o terciaria. Esta trituración ocurre por compresión, el mineral se chanca entre una cabeza chancadora (manto) y un tazón curvo (taza).

Los trituradores de cono ultra finos se usan cuando se necesitan grandes cantidades de arena o finos y sus granulometrías suelen estar entre los 20 y 5 mm. Estas máquinas permiten unas buenas relaciones de reducción, de 6 a 8 en la trituración secundaria clásica y de 2 a 3 en las moliendas gruesas, con una forma de grano adecuada muchas veces en cuanto a su forma no lajosa.

Las chancadoras cónicas secundarias dan unas granulometrías entre 150 y 40 mm. Las chancadoras cónicas terciarias dan granulometrías entre 40 y 10-12 mm. (Yepes Piqueras, 2014)

En la figura 2.2 puede observarse como el tamaño de la roca es reducido por compresión, mediante una trituradora cónica.

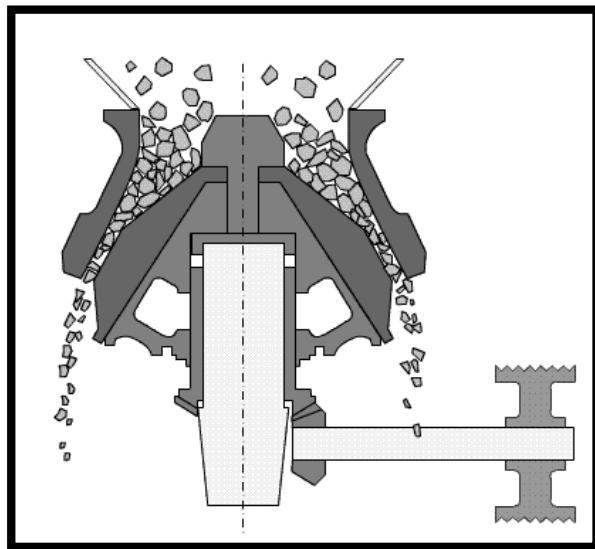


Figura 2.2: Esquema de una Trituradora Cónica.

Fuente: (Yepes Piqueras, 2014)

2.1.2.3. Trituradora de Impactos

La trituradora de impactos es una máquina que aprovecha la energía de un impacto o golpe para romper el material. No son adecuadas para material abrasivo, salvo que éste sea muy blando, ni tampoco para materiales duros, excepto que tengan una textura estratificada.

La boca de entrada se sitúa en la parte superior, en un lateral, y a unos 45° con la vertical, y la boca de salida se encuentra en la parte inferior. Las placas de choque, de acero al manganeso, se desgastan de forma desigual, por lo que se diseñan simétricas para invertirlas y aprovecharlas mejor. Suelen ser dentadas para facilitar la fractura del material. (Yepes Piqueras, 2014)

La trituradora consiste en un rotor giratorio de forma más o menos cilíndrica que gira a una determinada velocidad (entre 300 – 2000 rpm) en el interior del molino, y que se encuentra provisto de una serie de barras de impacto (de 2 a 6 barras) montadas y distribuidas uniformemente entorno al diámetro del mismo, y que se encargan de proyectar y golpear los materiales. (García San Emeterio, 2016)

La siguiente figura representa una trituradora de impacto con eje vertical (VSI).

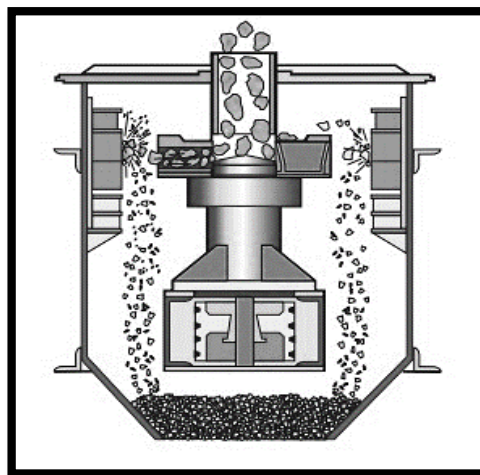


Figura 2.3: Esquema de una trituradora de impactos VSI

Fuente: (Metso Corporation, 2019)

A continuación se presenta esquematizado el proceso de trituración al que se somete la roca, así: trituración primaria, trituración secundaria y una trituración terciaria, con sus respectivos productos generados.

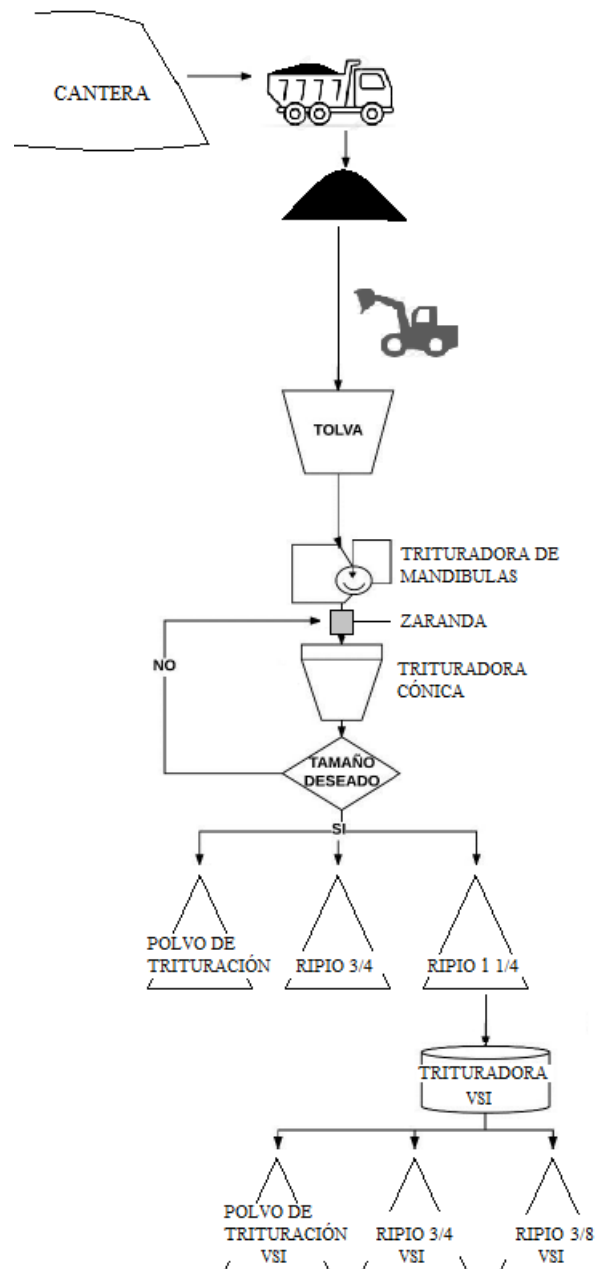


Figura 2.4: Esquema del proceso de trituración.

2.2. Granulometría

La granulometría hace referencia al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico, que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices normados, dispuestos de mayor a menor. Los tamices se disponen de acuerdo a la utilización. Así por ejemplo, la serie de tamices que se usa para los agregados del hormigón se ha escogido de tal forma que la abertura del tamiz esté en relación de 1 a 2 con la abertura del tamiz posterior.

Los tamices normalizados son aquellos cuya abertura de tamices consecutivos están dadas por una relación constante; por ejemplo, cada tamiz tiene doble abertura que el siguiente de abertura menor. En la tabla 2.1 se muestran los tamaños nominales de abertura de tamices que establece la (ASTM).

El proceso de tamizado se debe ejecutar según la norma “NTE INEN 696-2011. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso”, en la cual se describe el tamaño de la muestra a ensayar y los procedimientos adecuados para realizar un análisis granulométrico. (Chimbo & León, 2018)

SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS	
Tamaños nominales de abertura	
mm	ASTM
80	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
40	(1 ½")
25	(1")
20	(¾")
12,5	(1/2")
10	(3/8")
6,3	(1/4")
5	(N° 4)
2,5	(N° 8)
2,0	(N° 10)
1,25	(N° 16)
0,630	(N° 30)
0,315	(N° 50)
0,160	(N° 100)
0,080	(N° 200)

Tabla 2.1: Tamaños nominales de abertura de tamices (ASTM)

Fuente: (Vera Callao, 2013)

2.2.1. Curva Granulométrica

Para una mayor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica, la abertura de los tamices.

Una curva tendida indica un material bien graduado o con todos los tamaños y corresponde a una graduación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado.

En cambio una curva casi vertical indica un material mal graduado, en el que predominan solo unos pocos tamaños y corresponde a una graduación abierta, donde aumentan los espacios vacíos. (Chimbo & León, 2018)

Como ejemplo en la figura 2.5, se presenta una curva granulométrica de una arena mal graduada.

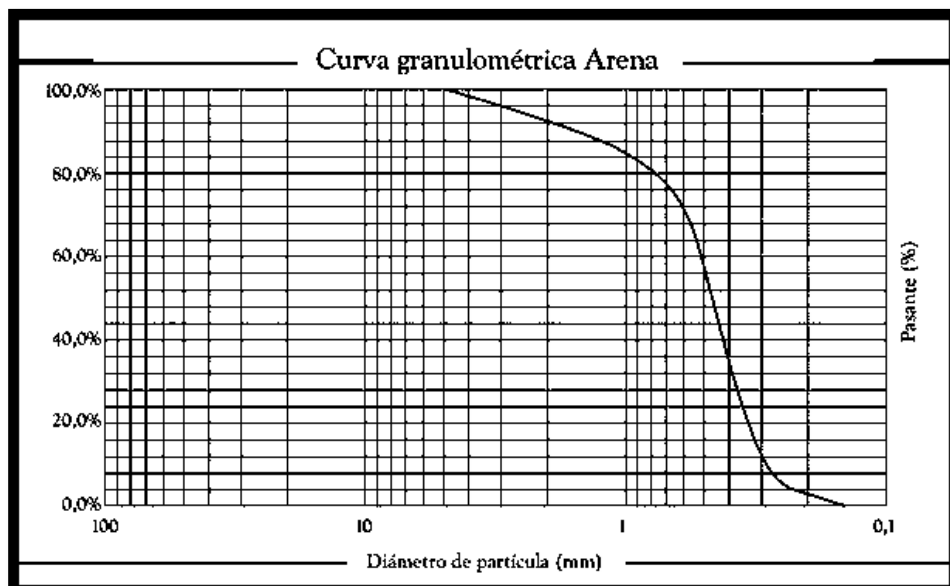


Figura 2.5: Curva Granulométrica de una arena mal graduada.

Fuente: (Cantera La Chola II, 2018)

2.3. Hormigón

El hormigón es un material con gran demanda por parte de la industria de la construcción. Una vez endurecido forma una piedra artificial que se consigue mezclando, en proporciones apropiadas, cemento, agua y agregados, que son: áridos gruesos y áridos finos.

El cemento al entrar en contacto con el agua da lugar a una serie de reacciones químicas por las cuales, después de un cierto lapso de tiempo, endurece ligando entre sí los agregados en una masa compacta y resistente.

2.3.1. Estructura del hormigón

El hormigón se compone aproximadamente de entre 70-80% de agregados (grava y arena, de 25 mm – 5 mm y 0.07 mm – 5 mm, respectivamente) en volumen, el resto es pasta de cemento. La pasta de cemento a su vez se compone de un 30-50% de cemento en volumen y el resto es agua. (Díaz & Diego, 2014)

El agregado ocupa el mayor volumen del hormigón; este ingrediente es uno de los más abundantes en la corteza terrestre, aunque no necesariamente el más barato, especialmente cuando se requiere someterlo a un proceso de trituración, cribado y/o lavado.

Los agregados dotan al hormigón de una estructura interna en la que los agregados más finos se intercalan entre los agregados más gruesos (Romo Proaño, 2008), como se representa en la figura 2.6.

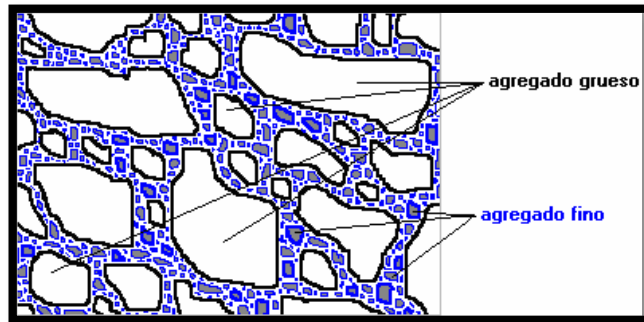


Figura 2.6: Estructura interna del hormigón

Fuente: (Romo Proaño, 2008)

La pasta de cemento, por su parte, llena los espacios libres entre partículas de áridos en el hormigón fresco además de envolver totalmente a los áridos (Romo Proaño, 2008), como se muestra en la siguiente figura 2.7.

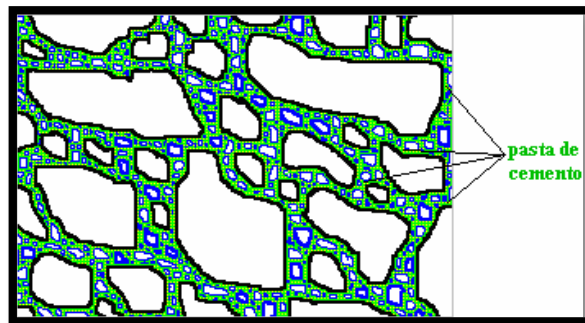


Figura 2.7: Pasta de cemento en la estructura interna del hormigón

Fuente: (Romo Proaño, 2008)

Durante el proceso de fraguado, la pasta de cemento da origen a cristales hidratados que unen químicamente las partículas de agregados. La formación de estos cristales es una reacción química exotérmica que siempre requiere de agua para que tenga lugar, siendo mucho más intensa la reacción en las primeras horas y días posteriores a la fabricación del hormigón, y luego va disminuyendo progresivamente en su intensidad con el tiempo. (Romo Proaño, 2008)

2.3.2. Componentes del hormigón

Los componentes del hormigón son:

- Cemento
- Agua
- Agregados

Todos los componentes son importantes en igual medida para el buen resultado del hormigón. El cemento, aún de óptima calidad, no puede garantizar por sí solo la bondad del hormigón: es absolutamente necesario que también los otros componentes sean idóneos para su uso.

2.3.2.1. Cemento

El cemento es un aglomerante formado principalmente por la molienda conjunta del producto de la cocción, hasta sintetización, de una mezcla de caliza (carbonatos cálcicos) y arcilla (silicatos de aluminio hidratado) que recibe el nombre de Clinker y de un material empleado como regulador de fraguado que generalmente, es yeso di hidratado, que al estar en contacto con agua tiene la propiedad de endurecer, ya sea en el aire como debajo del agua.

Se clasifica según su fraguado, composición química y aplicación.

- **Por su fraguado:** Rápidos o Lentos.
- **Por su composición química:** Naturales, Portland, Puzolánicos, Escorias, Aluminosos Sulfatados.
- **Por su aplicación:** Resistente a sulfatos y Alta resistencia inicial. (Otero, 2016)

2.3.2.1.1. Tipos de Cemento

Es importante mencionar que en el desarrollo de este proyecto se usará el Cemento Portland, debido a que, es el cemento normal de uso común. Se aprovecha en obras que no necesitan una protección especial, o que estarán sometidas a condiciones climáticas rigurosas.

Cemento Portland: Viene definido como el producto obtenido por trituración de clínker, en unión de yeso, dosificado en la cantidad necesaria para regularizar el proceso de hidratación inicial.

Existen diversos tipos de cemento, los cuales están especificados en la norma ASTM-C- 150. Ellos son:

Tipo I, que es de uso general y sin propiedades especiales.

Tipo II, de moderado calor de hidratación y alguna resistencia al ataque de los sulfatos.

Tipo III, de resistencia temprana y elevado calor de hidratación.

Tipo IV, de bajo calor de hidratación.

Tipo V, de alta resistencia al ataque de sulfatos.

2.3.2.1.2. Producción de Cemento

La producción de cemento comienza con un descubrimiento de fuentes minerales de Carbonato de Calcio (Caliza), que, de manera general funciona similarmente en todas las compañías cementeras del mundo. Según Holcim, “el cemento es el producto de la mezcla de clínker, yeso y otras adiciones. A su vez, el clínker es el resultado de la calcinación de calizas y arcillas, que son extraídas de las canteras y trituradas junto con otros minerales, como por ejemplo el hierro. Una vez producido, el cemento es almacenado y distribuido”.

2.3.2.2. Agua

El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas. En general, el agua potable es adecuada para la fabricación de hormigón. Su función principal es hidratar el cemento, pero también se le utiliza para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. Podrá emplearse agua no potable en la elaboración de hormigón, siempre que esté libre de elementos anteriormente mencionados. (Harmsen, 2002)

2.3.2.3. Agregados

Porque al menos tres cuartas partes del volumen del hormigón están ocupadas por agregado, no es de extrañar que la calidad de éste sea de suma importancia. Los agregados no sólo pueden limitar la resistencia del hormigón, puesto que agregados débiles no pueden constituir un hormigón resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida, tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del hormigón.

Los agregados son más baratos que el cemento y, por lo tanto, es más económico poner la mayor cantidad posible de aquéllos y la menor de éste. No obstante, la economía no es la única razón para utilizar agregados: éstos proporcionan además al hormigón una enorme ventaja técnica, al darle mayor estabilidad volumétrica y más durabilidad que si se empleara solamente pasta de cemento. (Neville, 1999)

2.3.2.3.1. Clasificación de los agregados

De acuerdo al tamaño de las partículas, los agregados se clasifican en agregados gruesos (tamaño entre 25 mm y 5 mm) y agregados finos (tamaño entre 0.07 mm y 5 mm).

Los tamaños de agregados utilizados en el hormigón están en el rango de unos cuantos milímetros, hasta partículas pequeñísimas de décimas de milímetro en sección transversal. El tamaño máximo que se usa en la realidad varía, pero en cualquier mezcla se incorporan partículas de diverso tamaño. La distribución de las partículas según su tamaño se llama granulometría. Cuando se requiere hacer un hormigón de baja granulometría, se utilizan agregados que provienen de depósitos que contienen gran variedad de tamaños, desde el más pequeño hasta el más grande; esto se llama agregado, sin cribar o agregado en bruto. La opción más común en la fabricación de hormigón de buena calidad es obtener agregados en al menos dos grupos de tamaño; la división principal se hace entre agregado fino, llamado a menudo arena y agregado grueso, llamado grava.

Todas las partículas de agregado natural proceden originalmente de una masa mayor. Es posible que dicha masa se haya fragmentado por procesos naturales, como son la meteorización o la abrasión, o que la fragmentación haya sido artificial, mediante trituración. Por lo tanto, muchas de las propiedades de los agregados dependen de la roca original; por ejemplo, sus propiedades químicas, la composición mineral, la descripción petrográfica, la densidad, la dureza, la resistencia, la estabilidad física y química, la estructura del poro, el color. Por otra parte, hay propiedades que posee el agregado, pero que están ausentes en la roca original: la forma y el tamaño de la partícula, la textura superficial y la absorción. Todas estas propiedades pueden ejercer una influencia considerable en la calidad del hormigón fresco o endurecido. (Neville, 1999)

2.3.2.3.2. Forma y textura de partículas

Además del aspecto petrográfico de los agregados, son también importantes sus características externas, especialmente la forma y la textura superficial de las partículas. Es bastante difícil describir la forma de los cuerpos tridimensionales y, por lo tanto, es conveniente definir ciertas características geométricas de dichos cuerpos. (Neville, 1999)

La redondez es la medida del filo o angularidad relativos de los bordes o esquinas de una partícula. La redondez está controlada principalmente por la resistencia a la compresión y a la abrasión de la roca original, y por la cantidad de desgaste a la que hayan estado sujetas las partículas. En el caso de agregados triturados, la forma de la partícula depende de no sólo la naturaleza de la roca original, sino también del tipo de trituradora y su relación de reducción, es decir, de la relación que existe entre el tamaño del material que se introduce a la trituradora y el tamaño del producto terminado.

Otro aspecto relacionado con la forma de los agregados gruesos es la esfericidad, que se define como una función de la relación del área superficial de la partícula con respecto a su volumen. La esfericidad se relaciona con la estratificación y el clivaje de la roca original, y también recibe la influencia del tipo de equipo de trituración, cuando el tamaño de las partículas ha sido reducido por medios artificiales. (Neville, 1999)

Las partículas con una alta relación área superficial/volumen son de especial interés, ya que ellas aumentan la demanda de agua para una trabajabilidad dada de la mezcla de hormigón.

La textura superficial del agregado afecta a su adherencia a la pasta de cemento y también influye en la demanda de agua de la mezcla, especialmente en el caso de agregado fino.

La clasificación de la textura superficial se basa en el grado de pulimentación u opacidad, pulido o aspereza de la partícula. La textura superficial depende de la dureza, tamaño de grano y características de poro del material original (las rocas duras, densas y de grano fino generalmente tienen superficies fracturadas lisas), así como del grado en que la han vuelto áspera, las fuerzas que actúan sobre la cara de la partícula.

Aparentemente la forma y textura de la superficie de los agregados ejerce gran influencia en la resistencia del hormigón. Se ve más afectada la resistencia a la flexión que la resistencia a la compresión, y los efectos de la forma y textura superficiales son especialmente importantes en el caso de hormigones de alta resistencia. No se sabe todavía cuál es la función total de la forma y de la textura de los agregados en el desarrollo de resistencia del hormigón, pero es posible que una textura más áspera de por resultado una mayor fuerza de adherencia entre las partículas y la matriz de cemento. Así mismo, la mayor área superficial del agregado angular significa que se puede lograr una fuerza más grande de adherencia. (Neville, 1999)

2.3.2.3.3. Adherencia del agregado

La adherencia entre el agregado y la pasta de cemento es un factor importante para la resistencia del hormigón, especialmente la resistencia a la flexión, pero no se ha comprendido la naturaleza de la adherencia. La adherencia se debe en parte a que el agregado y la pasta se entrelazan debido a la aspereza de la superficie del primero. Una superficie áspera, como la de las partículas trituradas, da como resultado una mejor adherencia, por causa de entrelazado mecánico que también se consigue cuando se usan materiales compuestos por partículas suaves, porosas y mineralógicamente

heterogéneas. Además, hay otras propiedades químicas y físicas de los agregados que afectan la adherencia, que están relacionadas con su composición mineralógica y química y con las condiciones electrostáticas de la superficie de la partícula. (Neville, 1999)

Para un buen desarrollo de adherencia, es necesario que la superficie del agregado esté limpia y libre de partículas de arcilla que se adhieren.

La determinación de la calidad de adherencia de los agregados es bastante difícil y no existen pruebas aceptadas. Generalmente, cuando hay buena adherencia, el espécimen de hormigón triturado deberá contener algunas partículas de agregados fracturadas de lado a lado, además de aquellas muchas más numerosas arrancadas de su sitio. El exceso de partículas fracturadas sugiere, sin embargo, que el agregado es demasiado débil. (Neville, 1999)

Puesto que depende de la resistencia de la pasta lo mismo que de las propiedades de la superficie de los agregados, la resistencia causada por la adherencia aumenta directamente con la edad del hormigón, parece ser que la relación de la resistencia de adherencia con la de la pasta de cemento aumenta con el tiempo. Entonces, siempre que sea adecuada, la resistencia de adherencia por sí misma puede no ser un factor de control de la resistencia del hormigón ordinario.

Sin embargo, en el hormigón de alta resistencia existe probablemente una tendencia para que la resistencia de adherencia sea menor que la resistencia de tensión de la pasta de cemento hidratado, de manera que ocurra falla preferencial en adherencia. Realmente, la interface del agregado y la pasta de cemento que lo rodea, es de importancia, porque el agregado grueso representa una discontinuidad e introduce un efecto de pared. (Neville, 1999)

El agregado grueso triturado presenta mejores características de adherencia que el agregado natural, a causa de, que el primero adquiere aristas y el otro tiene una forma redondeada, por lo que hormigones fabricados con agregado grueso triturado pueden alcanzar mayor resistencia.

En la siguiente figura, se puede distinguir la diferencia entre un agregado grueso triturado y un agregado grueso natural de río.



Figura 2.8: Agregado grueso triturado vs Agregado grueso natural

Fuente: (Romo Proaño, 2008)

2.3.2.3.4. Resistencia del agregado

Está claro que la resistencia a la compresión del hormigón no puede exceder de la mayor parte de los agregados que contiene, aunque no es fácil establecer cuál es la resistencia de las partículas individuales. De hecho, es difícil probar la resistencia a la trituración de partículas individuales del agregado y, generalmente, la información necesaria se tiene que obtener por medio de pruebas indirectas: valor de trituración de agregado a granel, fuerza requerida para compactar agregado a granel, y comportamiento de agregado en el hormigón. (Neville, 1999)

Esto último significa que los agregados se habrán probado en experimentos previos; o que se han analizado en una mezcla de hormigón con agregados probados de antemano cuya resistencia sea conocida. Si el agregado que se está sometiendo a prueba conduce a una resistencia del hormigón a la compresión más baja, en especial si hay muchas partículas fracturadas después de que se ha fracturado la muestra de hormigón, entonces la resistencia del agregado es menor que la resistencia nominal a la compresión de la mezcla de hormigón en la que se ha incorporado dicho agregado.

Queda claro que ese tipo de agregado sólo puede utilizarse en un hormigón de menor resistencia.

El hecho de que la resistencia de los agregados no sea adecuada representa un factor limitante, pues las propiedades de los agregados influyen, hasta cierto punto, en la resistencia del hormigón, aun cuando el agregado tenga suficiente resistencia propia como para no fracturarse prematuramente. Si se comparan hormigones hechos con diferentes agregados, se observará que la influencia de éstos en la resistencia del hormigón es cualitativamente la misma, sin tomar en cuenta las proporciones de la mezcla o si el hormigón ha sido sometido a pruebas de compresión o de tensión. Es posible que la influencia del agregado en la resistencia del hormigón no se deba sólo a la resistencia mecánica del agregado, sino también, en grado importante, a sus características de absorción y adherencia. (Neville, 1999)

En términos generales, la resistencia y elasticidad de los agregados dependen de su composición, textura y estructura. Por lo que una baja resistencia puede deberse a la debilidad de los granos que lo constituyen, o bien, a que siendo éstos suficientemente resistentes no están bien unidos o cementados unos con otros.

Por otra parte, los agregados que tienen resistencia y módulo de elasticidad, bajo o moderado, pueden ser valiosos para conservar la durabilidad del concreto. Los cambios en el volumen del hormigón, que surgen por causas de hidratación o térmicas, llevan a un esfuerzo más bajo en la pasta de cemento hidratado cuando el agregado es compresible. Así la compresibilidad del agregado reduciría el esfuerzo en el hormigón, mientras que un agregado fuerte y rígido podría llevar al agrietamiento de la pasta de cemento que lo rodea. (Neville, 1999)

2.3.3. Dosificación del hormigón

Para la dosificación del hormigón es importante considerar aspectos como: la relación agua- cemento (a/c), la resistencia requerida, el asentamiento, el tamaño máximo del agregado, el contenido de aire en caso de ser necesario, las condiciones de exposición del hormigón y las condiciones de colocación, independientemente del método seleccionado.

La empresa cementera Holcim nos facilita un método de dosificación que se detalla a continuación:

Equipos necesarios

Para preparar hormigón es necesario usar los equipos de protección personal completos, además de una mascarilla y otros equipos como:

- máquina concretadora de saco
- parihuelas de 40 cm x 40 cm x 20 cm (0.032 m³, 32 dm³)
- palas
- balde con escala numérica en litros

La dosificación que Holcim S.A. ofrece, de acuerdo al uso que se le dará a la mezcla de hormigón, es la siguiente:

Hormigón para contra pisos:

- 1 saco de 50 kg de cemento Holcim fuerte
- 35 litros de agua potable
- 3 parihuelas al ras de arena
- 3,5 parihuelas al ras de piedra

Para hacer 1 m³ de hormigón se necesitan seis sacos de cemento.

Hormigón para plintos, muros y riostras:

- 1 saco de 50 kg de cemento Holcim fuerte
- 28 litros de agua potable
- 2,5 parihuelas al ras de arena
- 3 parihuelas al ras de piedra

Para hacer 1 m³ de hormigón se necesitan siete sacos de cemento.

Hormigón para losas, vigas y columnas:

- 1 saco de 50 kg de cemento Holcim fuerte
- 25 litros de agua potable

- 2 parihuelas al ras de arena
- 2,5 parihuelas al ras de piedra.

Para hacer 1 m³ de hormigón se necesitan ocho sacos de cemento. (HolcimEcuadorS.A., 2014)

2.3.4. Consistencia de la mezcla; Asentamiento

Cuando se tiene ya elaborada la mezcla de hormigón, se debe evaluar la consistencia de la misma; esta evaluación consiste en medir que tan aguada es la mezcla, si esta consistencia es aceptable para el trabajo por realizar se prosigue, de otra manera se deben hacer correcciones. La consistencia del hormigón se determina mediante la prueba conocida como la del cono de Abrams que a continuación se expone:

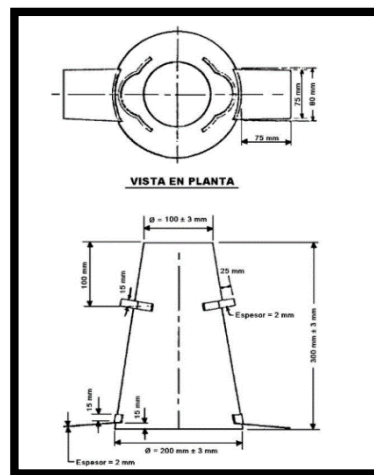


Figura 2.9: Molde para ensayo de asentamiento, Cono de Abrams

Fuente: (NTE INEN 1 578, 2010)

La prueba consiste en llenar un cono truncado, como se indica en la figura 2.9, con la mezcla de hormigón, de 30 cm de altura, el llenado se hace en 3 capas, varillando cada capa con 25 golpes, una vez que se enrasa el cono con la misma varilla, se levanta verticalmente el molde, y se mide la diferencia de altura entre el cono de hormigón abatido y la altura del molde, tal como se muestra en la figura 2.10, esta diferencia en centímetros se llama asentamiento.

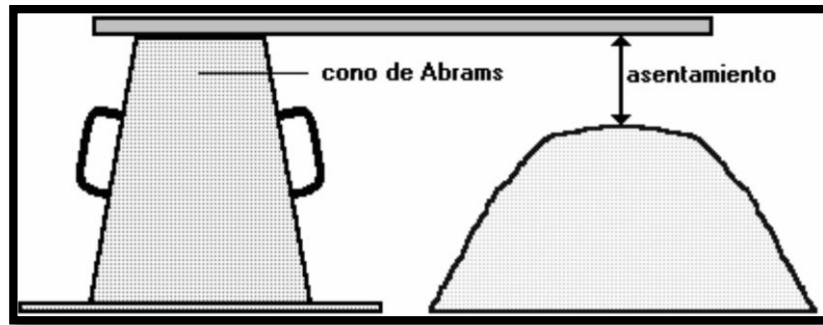


Figura 2.10: Medición del asentamiento

Fuente: (Romo Proaño, 2008)

Una vez medido el asentamiento de la mezcla, se procede a la toma de muestras, es decir, se coloca el hormigón en moldes cilíndricos asegurándose de que no quede aire dentro de la mezcla. Esto se puede evitar dando golpes con un martillo a los moldes cilíndricos.

El tiempo que tarda en fraguar el hormigón es de 24 horas, luego se retira los moldes cilíndricos y se procede al curado del hormigón.

2.3.5. Curado del hormigón

Cuando se termina la mezcla y la compactación de los componentes del hormigón, éste se encuentra en un estado relativamente homogéneo, pero a medida que avanza el tiempo, la gravedad y las fuerzas capilares comienzan a desplazar las partículas. Las más pesadas se van al fondo (áridos y cemento) y las más livianas suben a la superficie (agua). En conjunto con esta reacomodación, el agua de amasado comienza a exudar, y lo que se observa es una capa de agua que está separada de la masa de hormigón, ubicada en la superficie, fenómeno conocido como exudación o sangrado. (Figueroa, 2007)

El término curado se utiliza tanto para describir el proceso natural por medio del cual el hormigón de cemento hidráulico madura y desarrolla sus propiedades mecánicas típicas del material en estado endurecido, como para describir las acciones tomadas

por el constructor para mantener el hormigón húmedo y dentro de un rango de temperatura adecuada, de tal manera que se promueva la hidratación del cemento. (Solís & Moreno, 2005)

Tipos de Curado

- Humectación con agua.
- Recubrimientos plásticos.
- Aplicación de productos que formen membranas de protección.
- Curado al vapor.
- Protección con materiales humedecidos.

2.3.6. Resistencia a la compresión

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión, en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso. La afectan además, los mismos factores que influyen en las características de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que completan la estructura del concreto. (Pasquel, 1993)

2.3.6.1. Dimensiones de los especímenes cilíndricos

La resistencia del hormigón se expresa en unidades de presión: MPa o kg/cm², y se obtiene por medio de ensayos de laboratorio que sugieren realizar cilindros de 10 x 20 cm o de 15 x 30 cm. El tamaño de los cilindros depende del tamaño de los agregados que contenga el hormigón. Estos especímenes cilíndricos tienen que ser sometidos a una carga axial de compresión, a una velocidad definida, hasta que se produzca la falla. La norma NTE INEN 1573:2010 sostiene que la resistencia a la compresión de un

espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen. (NTE INEN, 2010)

Para realizar el ensayo se debe especificar el tamaño del cilindro y la relación que tiene la altura y el diámetro del espécimen, debido a que, esto afecta la resistencia alcanzada. En los cilindros de hormigón se debe cumplir una relación de altura-diámetro igual a 2; de no ser así el resultado de la prueba se debe corregir por esbeltez (sí la relación es menor a 2 el resultado de la prueba se debe multiplicar por un factor menor a la unidad). Aún en el caso de que la relación altura-diámetro sea 2, el tamaño del diámetro afecta el resultado con respecto al cilindro estándar.

La siguiente figura indica el aumento o disminución de la resistencia en porcentaje, de acuerdo al diámetro del cilindro respecto al diámetro estándar. Así, si se elabora un cilindro con un diámetro de 10 cm, podemos observar que la resistencia aumenta en un 5 %.

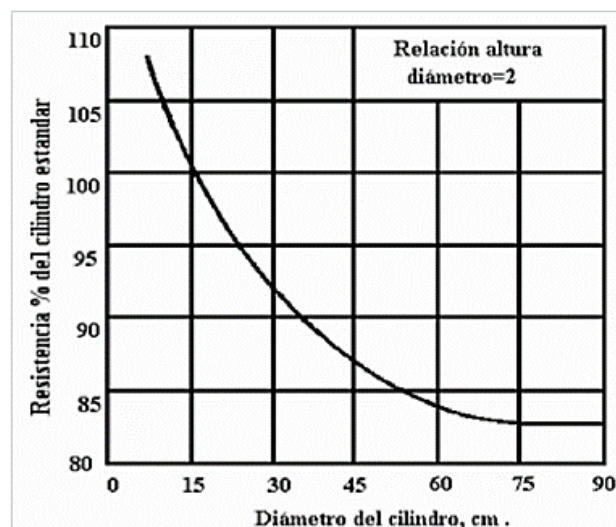


Figura 2.11: Curva de resistencia del espécimen cilíndrico

Fuente: (Gómez, 2016)

2.4. Evaluación económica

En general, casi todo el material que se obtiene de la cantera se transforma en algún producto, por lo que no queda gran cantidad de material de desecho. A su vez, esto significa que al final de la vida útil de la cantera queda una gran excavación. No

obstante, debido a los bajos precios que suelen tener los productos de la mayoría de las canteras, éstas tienen que estar situadas relativamente cerca de los mercados. Si no fuera así, los gastos de transporte podrían hacer que la cantera no fuera rentable. Por esta razón, muchas se encuentran cerca de aglomeraciones urbanas. (Crúz Alvarez, 2006)

2.4.1. Medición de variables y parámetros

Para la medición de las variables que intervienen en la operación será necesario el cálculo y la obtención de algunos parámetros indispensables para que los datos sean veraces y lógicos:

- **Costo de Operación:** Son los que se describen a continuación:
 - Costo Destape: se calcula el volumen de estéril, el equipo utilizado y la distancia de desalojo.
 - Costo de Extracción: Se determina las características del material y el volumen de producción.
 - Costo de Carguío y Transporte del material extraído: se determina el equipo utilizado, la granulometría del material y la distancia recorrida.
 - Costo de Clasificación: Se determina el equipo y el producto final para la venta.
 - Costo de Comercialización: El equipo utilizado.
- **Costo de Administración:** Se realiza el costo del personal, logística y la infraestructura.
- **Costo de Equipo:** Se obtiene las especificaciones técnicas de la maquinaria, se calcula los insumos de las mismas y los ciclos de trabajo. (Yépez Benalcázar, 2016)

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento o metodología que en este capítulo se emplea, cumple los objetivos planteados y puede dividirse en cuatro etapas. Además se presentan en este capítulo los resultados correspondientes a cada ensayo.

La primera consiste en la recolección de muestras de roca Tonalita de la zona de La Josefina.

La siguiente etapa se basa en el procesamiento o trituración de Tonalita de la Josefina, con la ayuda de tres trituradoras; una trituradora de mandíbulas y una trituradora cónica proporcionadas por “Servicios Mineros y Construcción Santa Elena S.A.” y una trituradora de impactos VSI proporcionada por “Vipesa Construcciones CIA. LTDA”, empresas ubicadas en el sector Capulispamba y en el sector El Descanso, en la ciudad de Cuenca, respectivamente. En esta etapa se va a clasificar el material dependiendo de su proceso de trituración, es decir, se va a obtener un material producto de la trituradora cónica y un material producto de la trituradora de impactos. El mismo material presentará: distintas formas de partícula.

En la tercera etapa se realiza la granulometría de los agregados, tanto finos como del agregado grueso, por medio de los pertinentes ensayos de tamizado, basados en las normas establecidas. De igual manera se realiza la gráfica correspondiente a la distribución granulométrica del árido en cuestión.

Así pues, llegamos a la cuarta y última etapa del procedimiento experimental, la que consiste en la elaboración de hormigón, con sus respectivos ensayos para determinar las propiedades, tanto en estado fresco como en estado endurecido, a fin de, llegar a obtener valores que representen la resistencia de los diferentes hormigones.

Se realizan tres diferentes dosificaciones, según la sustitución de la arena de río cribada proveniente de Cochancay, por la tonalita triturada proveniente de la Josefina (ver tabla 3), basándose en la dosificación proporcionada por Holcim S.A.

Tabla 3.1: Dosificación para los tres tipos de hormigón, por Holcim S.A.

TIPOS DE DOSIFICACIÓN	CEMENTO	AGUA	ÁRIDO GRUESO	ÁRIDO FINO
Tipo 1	Holcim fuerte 50 kg.	Agua Potable 25 l.	(tamiz #1- #4) 80 dm ³	Arena de río #(4-200), 64 dm ³
Tipo 2	Holcim fuerte 50 kg.	Agua Potable 25 l.	(tamiz #1- #4) 80 dm ³	Tonalita (cónica) #(4-200), 64 dm ³
Tipo 3	Holcim fuerte 50 kg.	Agua Potable 25 l.	(tamiz #1- #4) 80 dm ³	Tonalita (impactos) #(4 - 200), 64 dm ³

Cada tipo de dosificación está representada por 10 muestras cilíndricas, que posteriormente son sometidas a compresión para determinar su resistencia. Es importante recalcar que en las dosificaciones únicamente la variable es el árido fino.

3.1. Descripción de los áridos utilizados

El árido grueso que se usa en todas las dosificaciones es grava y se adquirió de la concesión minera de áridos “CadmeCorp”, ubicada en la parroquia Cochancay, perteneciente a la provincia de Cañar. La grava proviene de un proceso de trituración, pudiéndose observar las partículas con una forma angulosa.

Por otro lado, el árido fino que se utiliza en la dosificación tipo 1 es arena de río que proviene de un proceso de cribado, de ahí que, las partículas presentan una forma redondeada. De igual forma se la obtuvo de la concesión “CadmeCorp”.

La siguiente figura presenta los áridos provenientes de Cochancay.



Figura 3.1: Grava triturada & Arena de río cribada provenientes de Cochancay

El árido fino que se utiliza en la dosificación tipo 2 es roca Tonalita proveniente de la Josefina. Este árido fue sometido a un proceso de trituración primaria y secundaria, siendo producto de una trituradora cónica.

El árido fino para la dosificación tipo 3 es igualmente roca Tonalita proveniente de la Josefina, con la diferencia de que éste árido se sometió a una trituración terciaria, siendo producto de una trituradora de impactos VSI.

A continuación se describe el proceso de trituración que se llevó a cabo y con las trituradoras que intervinieron.

3.2. Trituración de la roca Tonalita de la Josefina

Para llegar a la granulometría que debe tener el árido fino para la fabricación de hormigón, fue necesario triturar la Tonalita para obtener una roca fragmentada que cumpla con la norma establecida. En la siguiente figura se presenta la roca Tonalita proveniente de la cantera de “La Josefina”, antes de ser triturada.



Figura 3.2: Roca Tonalita de la Josefina previo a la trituración

La trituración o chancado tuvo lugar en; una trituradora de mandíbulas como una trituración primaria, misma que, redujo el tamaño de las rocas de 30" – 40" a un tamaño entre 8" a 6" incluso menores a 6". En la figura 3.3 se puede ver la trituradora de mandíbulas, fragmentando la Tonalita.



Figura 3.3: Trituradora de Mandíbulas

Para la trituración secundaria, se utilizó una trituradora cónica, la cual, fue alimentada con roca procedente de la trituración primaria. Este procesamiento combinado

primario y secundario, nos proporcionó un material grueso, mediado y fino con tamaños de 1 1/4, 3/4" y menores a 3/8" (polvo de trituración o arena), respectivamente. A continuación se puede observar la trituradora cónica utilizada.



Figura 3.4: Trituradora Cónica

Se rescató aproximadamente 50 kg de material fino (Tonalita de la Josefina fragmentada, producto de una trituradora cónica), sosteniendo sacos en el final de la banda, como se muestra en la figura 3.5, de esa manera no se contaminó el material de interés.

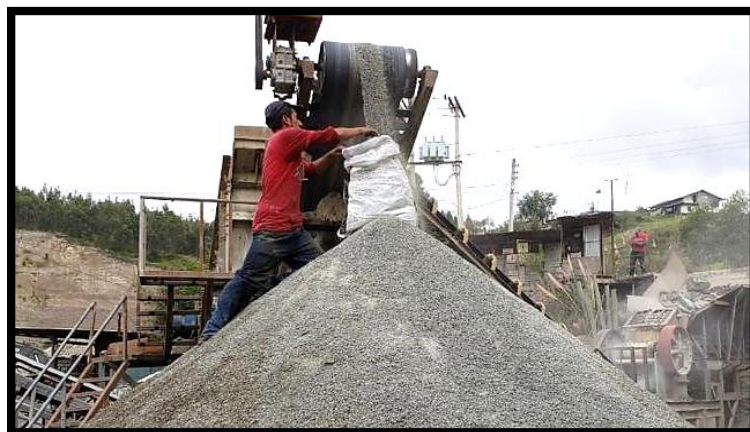


Figura 3.5: Recolección de arena de Tonalita con sacos

Por último, se realizó una trituración terciaria mediante una trituradora de impactos VSI, la misma que se alimentó con roca Tonalita resultante de la trituración anterior (trituradora cónica) con tamaños de 1 1/4". La figura 3.6 muestra a la trituradora VSI siendo alimentada con roca Tonalita.



Figura 3.6: Trituradora de Impactos VSI

Para retener el material fino (Tonalita de la Josefina fragmentada, producto de una trituradora de impactos VSI), se ubicó el cucharón de la cargadora en el final de la banda. Así pues, se recogió aproximadamente 25 kg de material fino sin contaminarlo, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.7: Recolección de arena de Tonalita con cargadora

Este último material producto de un proceso terciario realizado por una trituradora de impactos, se lo conoce como “polvo de trituración”.

3.2.1. Forma de las partículas

Como ya se había mencionado, la roca Tonalita triturada presentaría distintas formas de las partículas. Al pasar por la trituradora cónica las rocas se chancan entre una cabeza chancadora (manto) y un tazón curvo (taza), dicho de otro modo, las rocas están sometidas a compresión, esto genera que las partículas tengan una forma laminar o aplastada.

Por otra parte, la roca al ser fraccionada por una trituradora de impacto, se proyecta a las paredes de la trituradora, además de chocarse entre sí a gran velocidad, produciendo la fragmentación por choque, esto genera que las partículas presenten una forma redondeada.

Puede notarse en la figura 3.8, las distintas formas de partículas que adquiere el material fino, dependiendo de la trituradora.

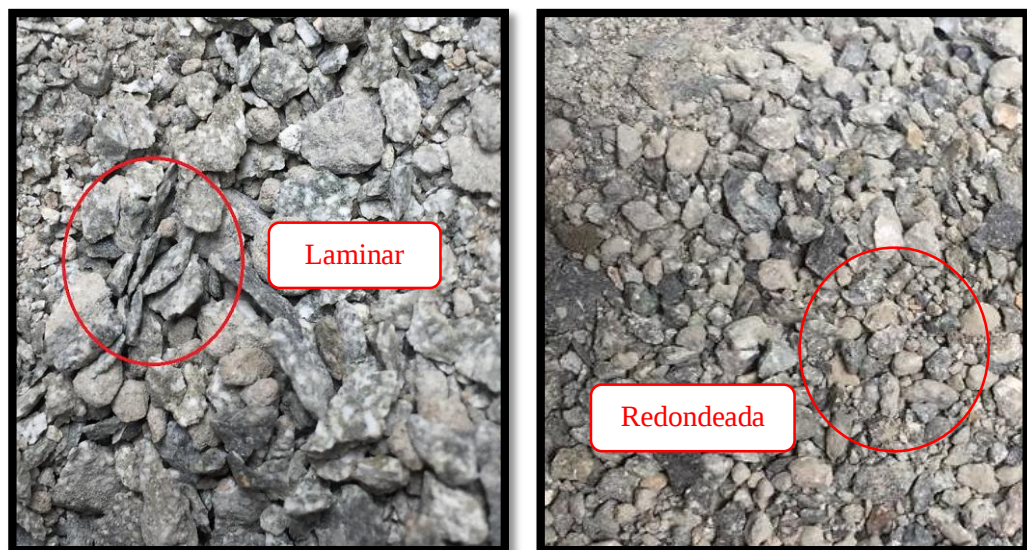


Figura 3.8: Formas de partículas de la Tonalita fragmentada por una trituradora cónica & una trituradora de impactos

3.3. Granulometría de los agregados

Con los materiales disponibles y fragmentados a tamaños requeridos, se procedió a realizar el análisis granulométrico de todos los agregados, en el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad del Azuay.

En primera instancia, el ensayo granulométrico implicó pasar una determinada cantidad de los distintos materiales de interés, a través de una serie de tamices ordenados descendentemente, con el fin de conocer la distribución de las partículas y luego se realizó una representación gráfica con los valores obtenidos, con el porcentaje que pasa y con los tamaños de abertura de los tamices utilizados para cada análisis.

Es importante mencionar que el eje de las abscisas ha sido dibujado en escala logarítmica y los valores están en orden inverso, es decir, comenzando de mayor a menor tamaño.

Los resultados de los análisis granulométricos se presentan en una tabla en la que aparece: los tamices utilizados cada uno con su tamaño de abertura, la masa retenida parcial y acumulada, el porcentaje retenido acumulado, el porcentaje que pasa y el peso de la muestra antes y después del ensayo.

Este ensayo de granulometría se basó en la norma:

“NTE INEN 696-2011 Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.”

3.3.1. Análisis granulométrico de arena de río cribada de Cochancay

- 1) Inicialmente, para realizar el ensayo se tomó una muestra de la arena de río con un peso de 1000 gramos (ver figura 3.9). Cabe recalcar que no se realizó el secado de la muestra en el horno, debido a que, la arena permaneció secándose al ambiente por más de 30 días. Se puede comentar que la arena presentó homogeneidad en cuanto al contenido de humedad.



Figura 3.9: Peso inicial de la muestra de arena de río

- 2) En seguida se colocó la muestra de la arena de río en una serie de tamices establecidos para el ensayo de árido fino, ordenados descendentemente (ver figura 3.10), así: Tamiz # 3/8, Tamiz # 4, Tamiz # 8, Tamiz # 16, Tamiz # 30, Tamiz # 50, Tamiz # 100, Tamiz # 200, y se los situó en el agitador mecánico por 5 minutos.

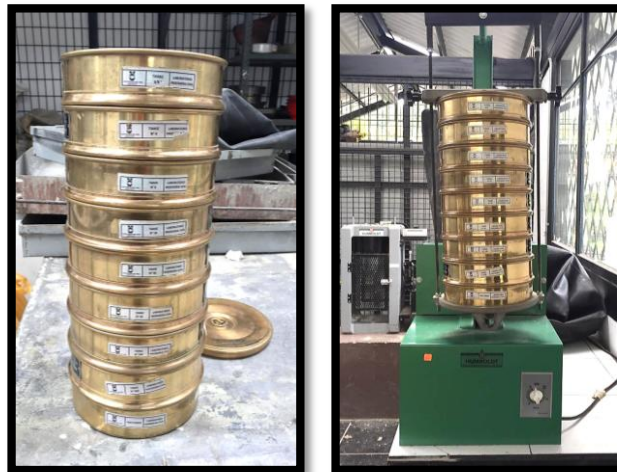


Figura 3.10: Tamices & Agitador mecánico

- 3) Finalizado el tiempo de tamizado, se procedió a pesar el contenido que se retuvo en cada tamiz. La siguiente figura muestra los pesos retenidos en cada tamiz.



Figura 3.11: Pesos registrados del tamizado de arena de río

3.3.2. Análisis granulométrico de la Tonalita producto de una trituradora cónica

- 1) Para este ensayo el material estaba húmedo, por lo cual, se procedió a secarlo en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, como se indica en la siguiente figura:



Figura 3.12: Secado de Tonalita (cónica)

- 2) Se tomó 1000 gramos de material seco como peso inicial para realizar el tamizado.



Figura 3.13: Peso inicial de la muestra de Tonalita (cónica)

- 3) Se colocó la muestra de Tonalita en una serie de tamices establecidos para el ensayo de árido fino, ordenados descendentemente, y se los situó en el agitador mecánico por un tiempo de 5 minutos.

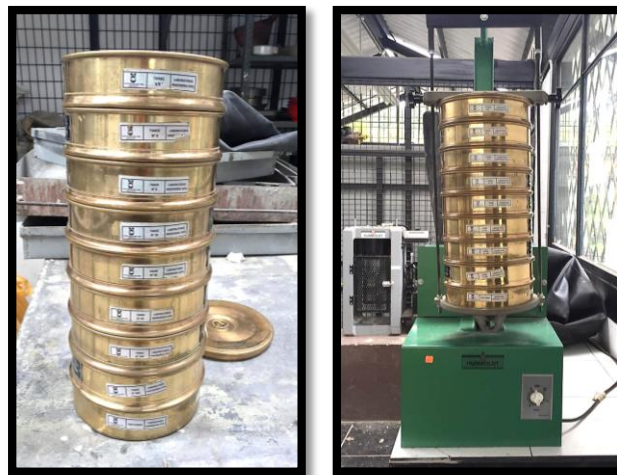


Figura 3.14: Tamices & Agitador mecánico

- 4) Finalizado el tiempo de tamizado, se procedió a pesar el contenido que se retuvo en cada tamiz, dando como resultado los siguientes pesos:



Figura 3.15: Pesos registrados del tamizado de Tonalita (cónica)

3.3.3. Análisis granulométrico de la Tonalita producto de una trituradora de impactos

- 1) Siguiendo el mismo procedimiento de los puntos anteriores, este ensayo se inició con el secado de la muestra en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 24 horas.



Figura 3.16: Secado de Tonalita (impactos)

- 2) El peso seco inicial que se consideró para realizar el ensayo de tamizado fue de 1000 gramos como se indica en la siguiente figura.



Figura 3. 17: Peso seco inicial de la muestra de Tonalita (impactos)

- 3) Se colocó la muestra de Tonalita en una serie de tamices establecidos para el ensayo de árido fino, ordenados descendentemente, y se los situó en el agitador mecánico por un tiempo de 5 minutos (ver figura 3.18).



Figura 3.18: Tamices & Agitador mecánico

- 4) Finalizado el tiempo de tamizado, se procedió a pesar el contenido que se retuvo en cada tamiz, obteniéndose los siguientes valores:

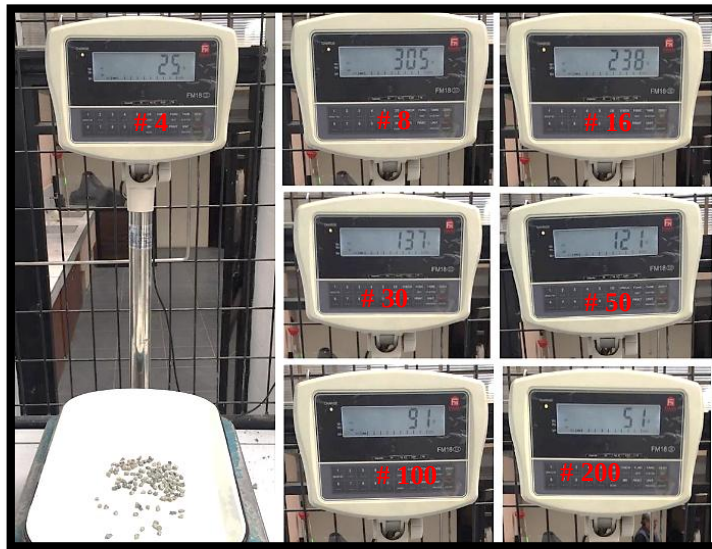


Figura 3.19: Pesos registrados del tamizado de Tonalita (impactos)

3.3.4. Análisis granulométrico de la grava de Cochancay

- 1) Para el ensayo granulométrico de la grava se realizó el secado de la muestra húmeda a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, en el horno por 24 horas como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.20: Secado de grava

- 2) Inicialmente se consideró un peso seco de la muestra de grava de 3000 gramos para el tamizado.



Figura 3.21: Peso seco inicial de la muestra de grava

- 3) Posteriormente, se colocó la muestra de grava en una serie de tamices establecidos para análisis granulométrico de árido grueso, ordenados descendientemente (ver figura 3.22), de ésta manera: Tamiz # $1\frac{1}{2}$, Tamiz # 1, Tamiz # $\frac{3}{4}$, Tamiz # $\frac{1}{2}$, Tamiz # $\frac{3}{8}$, Tamiz # 4, y se los situó en el agitador mecánico por un tiempo de 5 minutos.



Figura 3.22: Tamices & Agitador mecánico

- 4) Completo el tiempo de tamizado, se procedió a pesar el contenido que se retuvo en cada tamiz. En el tamiz # $1\frac{1}{2}$ no se retuvo material.



Figura 3.23: Pesos registrados del tamizado de grava

Nota: Las fichas de laboratorio correspondientes a los análisis granulométricos de los áridos en cuestión, se presentan en los anexos.

3.3.5. Curvas granulométricas de los áridos finos

En la siguiente figura se muestran las curvas granulométricas de los tres tipos de áridos finos usados en este proyecto para elaborar hormigón, es decir, se presenta la curva de: la arena de río cribada proveniente de Cochancay, de la Tonalita proveniente de la Josefina fragmentada producto de una trituradora cónica y producto de una trituradora de impactos VSI.

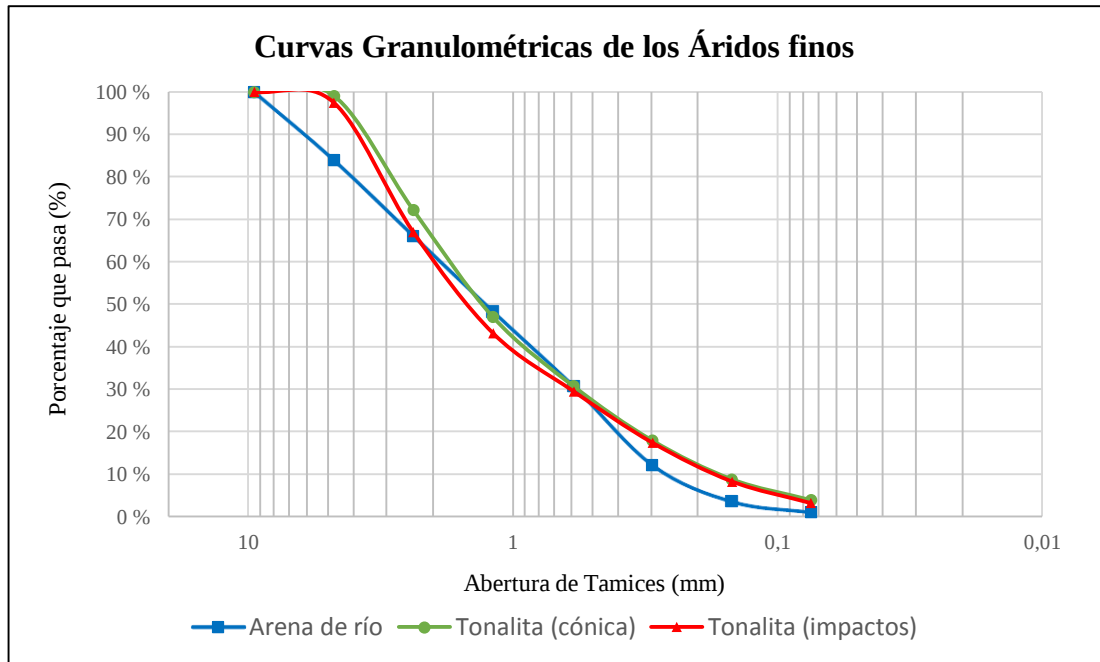


Figura 3.24: Curvas granulométricas de los áridos finos

Como puede observarse tanto la Arena de río, como la Tonalita fragmentada producto de dos distintas trituradoras, poseen granulometrías similares.

3.4. Elaboración de hormigón

Esta es la cuarta etapa de procedimiento experimental, en la cual, se elaborará hormigón, también se realizarán los ensayos para medir el asentamiento de cada mezcla, se determinará la densidad del hormigón y al final se efectuará el ensayo de resistencia a la compresión.

Con la granulometría adecuada de los agregados finos, del agregado grueso, el cemento hidráulico Holcim fuerte y el agua potable a disposición, se procedió a la fabricación de hormigón, basándose en la dosificación proporcionada por Holcim S.A.

La cual establece el uso de los siguientes materiales, tanto para medir el asentamiento como para realizar el ensayo de resistencia a la compresión.

- Máquina Concretera
- Balanza de 1 gr. de precisión

- Recipiente para el cemento
- Recipiente en dm^3 para la mezcla
- Cono de Abrams
- Varilla de compactación
- Regla milimetrada
- Cucharón para echar hormigón en los moldes
- Moldes cilíndricos de 10 x 20 cm
- Equipo de ensayo para medir la resistencia a la compresión (prensa)

3.4.1. Procedimiento de elaboración de hormigón

1) Se elaboró hormigón para losas, vigas y columnas, y la dosificación es la siguiente:

- 1 saco de 50 kg de cemento Holcim fuerte.
- 25 litros de agua potable.
- 2 parihuelas al ras de arena.
- 2,5 parihuelas al ras de piedra.

Tabla 3.2: Dimensión y volumen de parihuela

PARIHUELA		
Dimensión (cm)	Volumen	
	(m^3)	(dm^3)
40 x 40 x 20	0.032	32

Partiendo de que, se necesita elaborar 10 especímenes cilíndricos, con medidas de: 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, se procedió a dividir la dosificación proporcionada por Holcim en 5 partes.

Como anteriormente se mencionó, se realizará tres dosificaciones, a partir de ahora cada una de ellas tendrá una denominación; “hormigón Tipo 1” el que se fabrica con arena de río de Cochancay, “hormigón Tipo 2” el que se fabrica con arena de Tonalita

producto de la trituradora cónica, y “hormigón Tipo 3” el que se fabrica con arena de Tonalita producto de la trituradora de impactos VSI.

Dosificación para **hormigón Tipo 1:**

- 10 kg de cemento Holcim fuerte.
- 5 litros de agua potable.
- **12.8 dm³ de arena de río de Cochancay.**
- 16 dm³ de grava.

Dosificación para **hormigón Tipo 2:**

- 10 kg de cemento Holcim fuerte.
- 5 litros de agua potable.
- **12.8 dm³ de arena de Tonalita producto de la trituradora cónica.**
- 16 dm³ de agregado grueso.

Dosificación para **hormigón Tipo 3:**

- 10 kg de cemento Holcim fuerte.
- 5 litros de agua potable.
- **12.8 dm³ de arena de Tonalita producto de la trituradora VSI.**
- 16 dm³ de agregado grueso.

- 2) Se procedió a realizar las diferentes dosificaciones, comenzando por regular las cantidades establecidas de los materiales y luego se realizó la mezcla, una vez comprobado que las herramientas de trabajo estén en óptimas condiciones.

En la siguiente figura se muestran las medidas de los componentes, nótese que el cemento, la grava y el agua son iguales para todas las dosificaciones, incluso la medida para el árido fino también es la misma para las tres dosificaciones pero el material es diferente.

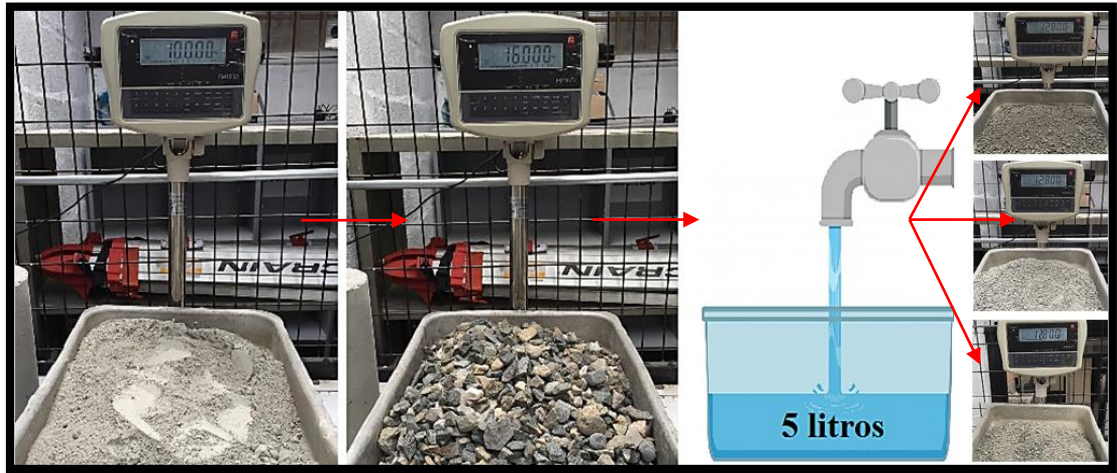


Figura 3.25: Dosificaciones para los tres tipos de hormigones

Luego de mezclar todos los componentes, se puede observar en la figura 3.26 el hormigón en estado fresco.



Figura 3.26: Hormigón en estado fresco

- 3) Terminado el proceso de mezclado, se procedió a realizar los ensayos, en estado fresco: el asentamiento y en estado endurecido: la densidad y la resistencia a la compresión, según los procedimientos establecidos en las normas INEN y ASTM correspondientes.

3.4.2. Propiedad en estado fresco

Para llevar a cabo la determinación del asentamiento se basó en la norma NTE INEN 1 578:2010 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.

Se midió el asentamiento de los 3 diferentes hormigones, según el orden en que se fueron elaborando. A continuación se presenta un procedimiento general y los resultados de cada medición.

3.4.2.1. Procedimiento para la determinación del asentamiento

- 1) Primeramente se humedeció el molde o cono de Abrams, y se colocó firmemente sobre una superficie plana, rígida igualmente humedecida y limpia. Se llenó el molde con la muestra de hormigón en tres capas, cada una de aproximadamente de un tercio del volumen del molde y se compactó mediante 25 golpes por cada capa con la varilla de compactación, como se indica en la siguiente figura:



Figura 3.27: Colocación de hormigón en el cono de Abrams

- 2) Finalmente se retiró inmediatamente el molde levantándolo verticalmente y se midió la diferencia vertical entre la parte superior del molde y la parte central superior del hormigón, como se indica en la figura 3.28.



Figura 3.28: Medición de asentamiento de los hormigones

Los asentamientos obtenidos de los tres tipos de hormigón se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.3: Resumen del asentamiento de las tres dosificaciones

TIPO DE DOSIFICACIÓN	ASENTAMIENTO (cm)
Tipo 1 (arena de río Cochancay)	6
Tipo 2 (arena de Tonalita, cónica)	7
Tipo 3 (arena de Tonalita, VSI)	7

- 3) En seguida de haber finalizado con el ensayo de medición de asentamiento se procedió a colocar el hormigón en los moldes cilíndricos, de igual manera se efectuó los 25 golpes para sacar el aire atrapado en la mezcla. Posteriormente se los dejó por 24 horas, que es el tiempo estimado para que el hormigón fragüe. En la siguiente figura se corrobora lo mencionado anteriormente.



Figura 3.29: Fraguado y colocación de hormigón en moldes cilíndricos

De igual manera se estableció 14 días como tiempo de curado para todos los especímenes cilíndricos. El método de curado que se optó fue “sumergido en agua”. En la figura 3.30 se puede observar a los cilindros sometidos al proceso de curado.



Figura 3.30: Curado de hormigón Tipo 1 y 2, sumergidos en agua

3.4.3. Propiedades en estado endurecido

Una de las propiedades del hormigón en estado endurecido es la densidad y se la determinó pesando y midiendo cada cilindro, una vez cumplido el proceso de curado.

3.4.3.1. Densidad del hormigón Tipo 1

Los valores de las densidades de los 10 cilindros de hormigón fabricado con arena de río de Cochancay, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.4: Densidad del hormigón Tipo 1

CILINDRO	MASA (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)
1	3748	1570.8	2.39
2	3698	1570.8	2.35
3	3713	1570.8	2.36
4	3773	1570.8	2.40
5	3784	1570.8	2.41
6	3760	1570.8	2.39
7	3796	1570.8	2.42
8	3735	1570.8	2.38
9	3732	1570.8	2.38
10	3748	1570.8	2.39
Densidad Promedio Tipo 1 (g/cm³)			2.39

En la siguiente tabla se puede observar la variabilidad de los datos de densidades del hormigón Tipo 1. Nótese que el coeficiente de variación de 1% es relativamente bajo, quiere decir que no existe una alta dispersión del conjunto de datos de densidades.

Tabla 3.5: Medidas de dispersión de densidades del hormigón Tipo 1

MEDIDAS DE DISPERSIÓN	
Varianza	0.0003
Desviación Estándar	0.0186
Máximo	2.42
Mínimo	2.35
Rango	0.06
Coeficiente de Variación	1%

3.4.3.2. Densidad del hormigón Tipo 2

Los datos de las densidades de los 10 cilindros de hormigón fabricado con arena de Tonalita producto de una trituradora cónica, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.6: Densidad del hormigón Tipo 2

CILINDRO	MASA (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)
1	3638	1570.8	2.32
2	3598	1570.8	2.29
3	3674	1570.8	2.34
4	3674	1570.8	2.34
5	3646	1570.8	2.32
6	3592	1570.8	2.29
7	3688	1570.8	2.35
8	3689	1570.8	2.35
9	3545	1570.8	2.26
10	3703	1570.8	2.36
Densidad Promedio Tipo 2 (g/cm³)			2.32

Como se demuestra en la siguiente tabla, el coeficiente de variación es igual que el anterior, por lo tanto se puede decir que existe una mínima dispersión del conjunto de datos de densidades.

Tabla 3.7: Medidas de dispersión de densidades del hormigón Tipo 2

MEDIDAS DE DISPERSIÓN	
Varianza	0.0010
Desviación Estándar	0.0311
Máximo	2.36
Mínimo	2.26
Rango	0.10
Coeficiente de Variación	1%

3.4.3.3. Densidad del hormigón Tipo 3

Las densidades de los 10 especímenes cilindros de hormigón elaborado con arena de Tonalita producto de una trituradora de impactos VSI, se presentan en tabla siguiente:

Tabla 3.8: Densidad del hormigón Tipo 3

CILINDRO	MASA (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)
1	3742	1570.8	2.38
2	3719	1570.8	2.37
3	3692	1570.8	2.35
4	3616	1570.8	2.30
5	3636	1570.8	2.31
6	3692	1570.8	2.35
7	3698	1570.8	2.35
8	3701	1570.8	2.36
9	3754	1570.8	2.39
10	3724	1570.8	2.37
Densidad Promedio Hormigón Tipo 3 (g/cm³)			2.35

De igual manera se puede ver en la tabla 3.9, que el coeficiente de variación es el mismo que de los anteriores y se puede decir que existe una mínima dispersión del conjunto de datos de densidades.

Tabla 3.9: Medidas de dispersión de densidades del hormigón Tipo 3

MEDIDAS DE DISPERSIÓN	
Varianza	0.0007
Desviación Estándar	0.0261
Máximo	2.39
Mínimo	2.30
Rango	0.09
Coeficiente de Variación	1%

3.4.3.4. Resumen de las densidades de los 3 Tipos de hormigón

A continuación se presentan las densidades promedio determinadas de cada Tipo de hormigón y se puede ver que la variación entre sí, no es significativa.

Tabla 3.10: Resumen de densidades de los tres tipos de hormigón

HORMIGÓN	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm³)
Tipo 1 (arena de río Cochancay)	2.39
Tipo 2 (arena de Tonalita, cónica)	2.32
Tipo 3 (arena de Tonalita, VSI)	2.35

Otra de las propiedades del hormigón en estado endurecido es la resistencia a la compresión y se la determinó siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM C 39. Para realizar este ensayo los cilindros con dimensiones de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, contaban con una edad de 14 días y tuvo lugar en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay.

Se puede ver la prensa marca “Humboldt” que se utilizó para este ensayo, en la siguiente figura.



Figura 3.31: Máquina de compresión

Para obtener la carga que soportan los cilindros, se realizó el siguiente procedimiento:

- 1) Previamente a aplicar la carga, se colocó el cilindro en el centro de los bloques de carga, asegurándose de que las caras de contacto estén limpias y que el indicador de carga esté ajustado a cero.
- 2) Se procedió a aplicar la carga continuamente y sin impacto hasta que el indicador de carga empezó a decrecer constantemente y en el cilindro se percibieron fracturas.
- 3) Finalmente se registró la carga total soportada por los cilindros y se obtuvo la resistencia, dividiendo la carga total para la sección transversal del cilindro.

3.4.3.5. Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 1

Los valores de resistencia a la compresión de los cilindros fabricados con arena de río de Cochancay, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.11: Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 1

CILINDRO	AREA (cm ²)	CARGA TOTAL (Kgf)	CARGA UNITARIA (Kgf/cm ²)
1	78.54	25774	328.16
2	78.54	25541	325.20
3	78.54	26239	334.08
4	78.54	26374	335.80
5	78.54	26218	333.82
6	78.54	27279	347.33
7	78.54	27337	348.06
8	78.54	25482	324.45
9	78.54	26820	341.48
10	78.54	26340	335.37
Carga Unitaria Promedio (Kgf/cm²)			335.38

Es importante mencionar la variabilidad de los datos y por ello, se presentan unas medidas de dispersión, ya que, nos interesa conocer cómo se alejan las cargas unitarias respecto de la carga unitaria promedio.

Tabla 3.12: Medidas de dispersión de resistencias del hormigón Tipo 1

MEDIDAS DE DISPERSIÓN	
Varianza	62.05
Desviación Estándar	7.88
Máximo	348.06
Mínimo	324.45
Rango	23.62
Coefficiente de Variación	2%

3.4.3.6. Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 2

Los valores de resistencia a la compresión de los cilindros fabricados con arena de Tonalita producto de una trituradora cónica, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.13: Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 2

CILINDRO	AREA (cm²)	CARGA TOTAL (Kgf)	CARGA UNITARIA (Kgf/cm²)
1	78.54	22427	285.55
2	78.54	22865	291.13
3	78.54	23586	300.31
4	78.54	23845	303.60
5	78.54	22460	285.97
6	78.54	22830	290.68
7	78.54	22470	286.10
8	78.54	22914	291.75
9	78.54	21495	273.68
10	78.54	22785	290.11
Carga Unitaria Promedio (Kgf/cm²)			289.89

En este caso se puede observar en la tabla 3.14 que el coeficiente de variación es mayor con 1% al anterior, lo que indica que los datos de resistencia del hormigón Tipo 2 están un poco más dispersos que los datos del hormigón Tipo 1.

Tabla 3.14: Medidas de dispersión de resistencias del hormigón Tipo 2

MEDIDAS DE DISPERSIÓN	
Varianza	61.35
Desviación Estándar	7.83
Máximo	303.60
Mínimo	273.68
Rango	29.92
Coefficiente de Variación	3%

3.4.3.7. Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 3

Los valores de resistencia a la compresión de los cilindros fabricados con arena de Tonalita producto de una trituradora de impactos VSI, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.15: Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 3

CILINDRO	AREA (cm²)	CARGA TOTAL (Kgf)	CARGA UNITARIA (Kgf/cm²)
1	78.54	23141	294.64
2	78.54	23427	298.28
3	78.54	23672	301.40
4	78.54	22778	290.02
5	78.54	23147	294.72
6	78.54	24073	306.51
7	78.54	23150	294.75
8	78.54	23072	293.76
9	78.54	23815	303.22
10	78.54	23499	299.20
Carga Unitaria Promedio (Kgf/cm²)			297.65

El coeficiente de variación de las resistencias del hormigón Tipo 3, es igual que el coeficiente de variación de las resistencias del hormigón Tipo 1 como se puede ver en la tabla 3.16.

Tabla 3.16: Medidas de dispersión de resistencias del hormigón Tipo 3

MEDIDAS DE DISPERSIÓN	
Varianza	22.58
Desviación Estándar	4.75
Máximo	306.51
Mínimo	290.02
Rango	16.49
Coefficiente de Variación	2%

3.4.3.8. Resumen de la resistencia a la compresión de los 3 Tipos de hormigón

El hormigón fabricado con arena de río de Cochancay, fue considerado como parámetro de comparación para el hormigón Tipo 2 y Tipo 3. Sin embargo es importante presentar un valor estándar de resistencia a la compresión, con el fin de comparar con los valores obtenidos en este proyecto.

Según ingenieros estructurales y catedráticos de la Universidad del Azuay, comentan que, “la resistencia recomendada que debe tener el hormigón para la elaboración de losas, vigas y columnas es de: 240 Kg/cm²”. Como podemos notar las resistencias de los hormigones fabricados en este proyecto, superan la resistencia recomendada.

Tabla 3.17: Resumen de resistencia a la compresión del hormigón

HORMIGÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
Tipo 1 (arena de río Cochancay)	335.38
Tipo 2 (arena de Tonalita, cónica)	289.89
Tipo 3 (arena de Tonalita, VSI)	297.65
Resistencia recomendada	240.00

En la sección de Anexos, se puede observar las fichas de laboratorio de los diferentes ensayos realizados en el capítulo III.

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Los costos en la elaboración de hormigón en la ciudad de Cuenca, podrían disminuir si, la materia prima se la obtiene a bajos o moderados costos. Para que eso pase, en el mercado de la construcción no debería existir escasez de áridos, sin embargo, en la zona austral se ha podido evidenciar una disminución en el comercio de estos materiales o un aumento en el precio de venta, debido a los pequeños volúmenes que se obtienen de sus afluentes cercanos.

De cualquier modo, la construcción de viviendas, vías, instituciones, centros comerciales, etc., va en aumento y obviamente la necesidad de materiales de construcción también aumenta, de manera que, la industria de la construcción va a querer cubrir toda esa demanda que se genera, y si en los lugares cercanos no existen las cantidades requeridas, pues, buscará en otros lugares. Estos lugares por lo general están distantes y el precio de la materia prima aumenta, debido al transporte.

Por tal motivo, existe la necesidad de sustituir la arena de río de Cochancay por un material de similares características que proviene de canteras de roca “in situ”, existente en zonas cercanas a la urbe cuencana. En este capítulo se determina cuánto costaría producir arena de Tonalita proveniente de la Josefina, teniendo en cuenta todos los procesos que eso implica, como por ejemplo los procesos operativos que son: extracción, carguío, transporte y trituración.

El punto de partida para realizar una evaluación económica, es conocer la cantidad estimada de material existente en la zona de estudio, es decir, se tiene que contar con un valor de reservas de mineral. Es importante manifestar que, las reservas para esta evaluación fueron tomadas de una tesis denominada “Caracterización mineralógica y evaluación de reservas del macizo rocoso de La Josefina”, desarrollada por las autoras: Angélica Calle Padilla y Doménica López Ullauri, en la Universidad del Azuay, la cual nos dice que: “Las reservas posibles existentes en la zona, tomando como referencia la cota 2 575 msnm, son de 2 700 000 m³ de material.”

4.1. Valoración de producción

Con una gran cantidad de reservas de Tonalita, se estableció una producción que esté dentro del rango de producción de materiales no metálicos para pequeña minería (hasta 500 m³/día), y que al término de un determinado tiempo de explotación, se pueda justificar los valores extraídos con las reservas.

Tabla 4.1: Producción diaria de arena de Tonalita

PRODUCCIÓN DE ARENA DE TONALITA		
Producción Diaria	m ³ /día	450
Producción Mensual	m ³ /mes	10800
Producción Anual	m ³ /año	129600
Días laborables al mes	días	24

4.2. Gastos y Costos

4.2.1. Gastos de inversión inicial

La inversión inicial que se requiere para dar inicio a la extracción y producción minera en la cantera, está definida por los gastos descritos a continuación; éstos son una estimación de valores, de acuerdo con precios del mercado e información obtenida en las plantas de trituración de la ciudad de Cuenca.

4.2.1.1. Gastos de adquisición de equipos de trituración

Este rubro corresponde al gasto que se realiza para adquirir; una trituradora de mandíbulas, una trituradora cónica, una trituradora de impactos VSI y una zaranda vibratoria. Sus especificaciones se encuentran a partir del punto 4.2.2.4.

4.2.1.2. Gastos administrativos

Estos gastos hacen referencia a la solicitud e inscripción del área de explotación. Para ello se necesita de personal que se encargue de todos los trámites necesarios, además de, un valor por la inscripción del área.

4.2.1.3. Gastos de infraestructura

La infraestructura necesaria incluye una oficina y un baño portátil. Los precios han sido tomados de valores referenciales del mercado y se presentan en la tabla 4.2.

4.2.1.4. Gastos de señalética y de elementos de protección personal

En la tabla 4.2 se detallan los elementos necesarios para cumplir con la seguridad. Los precios de cada cosa fueron tomados de valores referenciales del mercado.

Tabla 4.2: Inversiones para el inicio de las actividades mineras

INVERSIÓN INICIAL			
Adquisición de equipos de trituración			
Descripción	Unidades	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Trituradora de Mandíbulas	1	65000	65000
Trituradora Cónica	1	80000	80000
Trituradora de Impactos VSI	1	77000	77000
Zaranda Vibratoria	2	35000	70000
Zaranda Artesanal	2	100	200
Subtotal (\$)			292200
Gastos Administrativos (\$)			3000

Infraestructura			
Descripción	Unidades	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Oficina	1	1000	1000
Baño portátil	2	800	1600
Garita	2	200	400
Subtotal (\$)			3000
Señalética y Epp			
Descripción	Unidades	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Letreros	20	15	300
Epp varios	50	-	200
Subtotal (\$)			500
INVERSIÓN TOTAL (\$)			298700

Como puede observarse, se necesitaría realizar una inversión de \$ 298700 aproximadamente; para adquirir los equipos de trituración requeridos, la infraestructura y los elementos de seguridad, que son el punto de partida para una producción de arena de Tonalita.

4.2.2. Costos operativos

A los costos operativos también se los conoce como costos directos, ya que, son aquellos que están en relación directa con la producción. Los costos fueron calculados de forma mensual.

Para realizar la explotación de los materiales en la cantera, se va a necesitar equipos que cumplan las funciones de arranque, carguío y transporte. Todos esos equipos serán alquilados y el alquiler incluye operador, combustible y mantenimientos. Con excepción de los equipos de trituración, que son propios.

Los costos de alquiler de la maquinaria fueron conseguidos de valores referenciales del mercado y también de información proporcionada por los operadores.

4.2.2.1. Especificaciones técnicas del equipo de arranque

La excavadora hidráulica Caterpillar modelo 325 DL, presenta las siguientes características:

Equipo de carguío	Excavadora hidráulica
Marca	Caterpillar
Modelo	325 DL
Potencia del motor	103 Kw
Capacidad de tanque de combustible	400 Lts
Capacidad de el cucharón	1,1 m ³
Máxima profundidad de excavación	7833 mm
Alcance máximo a nivel del suelo	11153 mm
Profundidad máxima de excavación vertical	6590 mm



Fuente: (Catálogo Excavadora CAT 325DL)

4.2.2.2. Especificaciones técnicas del equipo de carga

El equipo de carga Caterpillar modelo 966 G, tiene las siguientes características:

Equipo de carguío	Cargador de ruedas
Marca	Caterpillar
Modelo	966 G
Potencia del motor	175.2 Kw
Capacidad de pala colmada	3.3 m ³
Velocidad máxima hacia adelante	37.3 km/h
Velocidad máxima marcha atrás	42 km/h
Capacidad de tanque de combustible	395 Lts



Fuente: (Datos técnicos equipos de carga, 2015)

4.2.2.3. Especificaciones técnicas del equipo de acarreo

Los volquetes JAC modelo 4181 K3R1, presentan las siguientes características:

Equipo de transporte	volquete
Marca	JAC
Modelo	4181 K3R1 volqueta
Potencia del motor	275 Kw
Capacidad del tanque de combustible	400 Lts
Capacidad del balde	9 m ³



Fuente: (Catálogo de volquetes JAC 4181 K3R1)

4.2.2.4. Especificaciones técnicas de la trituradora primaria

Las características de la trituradora de mandíbulas marca Trio modelo CT 3042, se presenta a continuación:

Equipo de trituración	Trituradora de mandíbulas
Marca	Trio
Modelo	CT 3042
Capacidad teórica	130 m ³ /h
Tamaño de la abertura de alimentación	750 x 1060 mm.
Potencia nominal	110 Kw / 150 cv
Producto	Ripio 1 ¼ Grava ¾ Arena



Fuente: Catálogo (WEIR, 2019)

4.2.2.5. Especificaciones técnicas de la trituradora secundaria

La trituradora cónica marca Trio modelo TC 51, presenta las siguientes características:

Equipo de trituración	Trituradora cónica
Marca	Trio
Modelo	TC 51
Capacidad teórica	150 m³/h
Velocidad de rotación	625 rpm
Potencia recomendada	200 – 250 hp
Peso	22500 kg
Productos	Ripio 1 ¼ Ripio ¾ Polvo de piedra Arena Grava ¾



4.2.2.6. Especificaciones técnicas de la trituradora terciaria

Las características de la trituradora de impactos VSI marca Remco modelo 300, se presenta a continuación:

Equipo de trituración	Trituradora de impactos VSI
Marca	Remco
Modelo	Rock Max 300
Capacidad teórica	93 m ³ /h
Eje	Vertical
Productos	Ripio ¾ VSI
	Ripio 3/8 VSI
	Polvo de piedra VSI



Fuente: Catálogo (REMCO, 2018)

4.2.2.7. Especificaciones técnicas de la zaranda vibratoria

Las características de la zaranda vibratoria marca Joyal modelo 2YZS1548, se presenta a continuación:

Equipo de clasificación	Zaranda vibratoria
Marca	Joyal
Modelo	2YZS 1548
Dimensiones	5900 x 2270 x 1620 mm
Potencia	15 Kw
Capacidad teórica	30 - 200 m ³ /h
Peso	5 Ton.



Fuente: Catálogo (JOYAL, 2018)

4.2.2.8. Dimensionamiento de maquinaria

El cálculo para seleccionar la maquinaria que ejecutará las operaciones de; arranque, carguío y transporte, se realizó utilizando variables especificadas de cada equipo.

El dimensionamiento de los equipos es un factor muy importante, ya que, si no se cuenta con las unidades correctas, no se cumple la producción anteriormente establecida. Para la operación de arranque de material en el frente de explotación, se cuenta con una excavadora hidráulica CATERPILLAR 325 DL con una cuchara de 1,1 m³ de capacidad. El transporte de material será interno, debido a que, se ha planeado ubicar en el mismo sector las trituradoras (ver ilustración 49), y para ello se cuenta con un volquete JAC con 9 m³ de capacidad. Para alimentar a las trituradoras, además de, cargar a los volquetes, esta una cargadora CATERPILLAR 966 G de 3 m³ de capacidad.

4.2.2.8.1. Número de unidades de arranque y carguío

Para determinar el número de excavadoras, inicialmente se determinó el tiempo de ciclo en función de las variables de tiempo que se obtuvieron por investigación. Se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 4.3: Tiempo de ciclo de la excavadora hidráulica

TIEMPO DE CICLO	
Acción	Tiempo (seg)
Posicionarse y cargar	12
Levantar la pala	7
Vaciar la pala	7
Bajar la pala	6
Tiempo de ciclo (Tc)	32

Luego de obtener el tiempo de ciclo de maniobras de carga y descarga de la excavadora, se procedió a determinar la capacidad de producción (rendimiento) de la misma, con la ayuda de la siguiente formula.

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{60 * Cc * F * E}{Tc}$$

Tabla 4.4: Rendimiento de la excavadora hidráulica

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DIARIA	
Capacidad de llenado real (Cc)	0.96 m ³
Factor de llenado (F)	75%
Eficiencia (E)	75%
Tiempo de ciclo (Tc)	0.5 min
Horas laborables	8 h/día
Rendimiento	65 m³/h
	520 m³/día

Se determinó un rendimiento de 520 m³/día, de la excavadora en cuanto a la operación de carguío de material en los equipos de transporte. Es importante recalcar que la maquina también realizará el arranque mecánico de material, por tal motivo, se justifica el dimensionamiento expuesto a continuación.

$$\text{Número de unidades} = \frac{\text{Producción diaria}}{\text{Rendimiento}}$$

Tabla 4.5: Número de excavadoras hidráulicas

NÚMERO DE EXCAVADORAS HIDRÁULICAS	
Producción diaria	450 m ³ /día
Rendimiento	520 m ³ /día
Total	0.87 ≈ 1 unidad

4.2.2.8.2. Número de unidades de carguío

Al igual que para el caso de las excavadoras, para encontrar el rendimiento de los equipos de carga, se debe valorar primero los tiempos de ciclo, en teoría estos tiempos están dentro del rango de 0,35 a 0.7 min., según el manual de Caterpillar. Determinando la capacidad del cucharón también se puede obtener el rendimiento mediante la siguiente tabla.

Tabla 4.6: Tabla para estimar el rendimiento en m³/h de la cargadora

Tamaño del cucharón (m³ o yd³)		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
Tiempo de ciclo	Ciclos por hora	Los números en fondo blanco indican producción media.														
0,35	171															
0,40	150	150	225	330	375	450	525									
0,45	133	135	200	268	332	400	466	530	600	665	730	800	865			
0,50	120	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960
0,55	109	109	164	218	272	328	382	436	490	545	600	655	705	765	820	870
0,60	100	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
0,65	92	92	138	184	230	276	322	368	416	460	505	555	600	645	690	735
0,70	86							342	386	430	474	515	560	600	645	690
0,75	80													560	600	640

Fuente: (Caterpillar, 2009)

Se determinó un rendimiento de 300 m³/día, de la cargadora sobre ruedas. Es importante comentar que la máquina también realizará la alimentación de material a las trituradoras, por tal motivo, se justifica el dimensionamiento expuesto a continuación.

$$\text{Número de unidades} = \frac{\text{Producción diaria}}{\text{Rendimiento}}$$

Tabla 4.7: Número de cargadoras

NÚMERO DE CARGADORAS	
Producción diaria	450 m³/día
Rendimiento	300 m³/día
Total	1.5 ≈ 2 unidades

4.2.2.8.3. Número de unidades de transporte

Para poder estimar el número de volquetes necesarios para la actividad minera, se determinó un tiempo de transporte de la unidad y de igual manera el tiempo de ciclo en función de las variables de tiempo, que han sido conseguidas por investigación.

Como ya se había mencionado anteriormente, el recorrido de los volquetes será interno, ya que, se dispuso colocar las trituradoras dentro del área de estudio, como se indica en la siguiente figura.

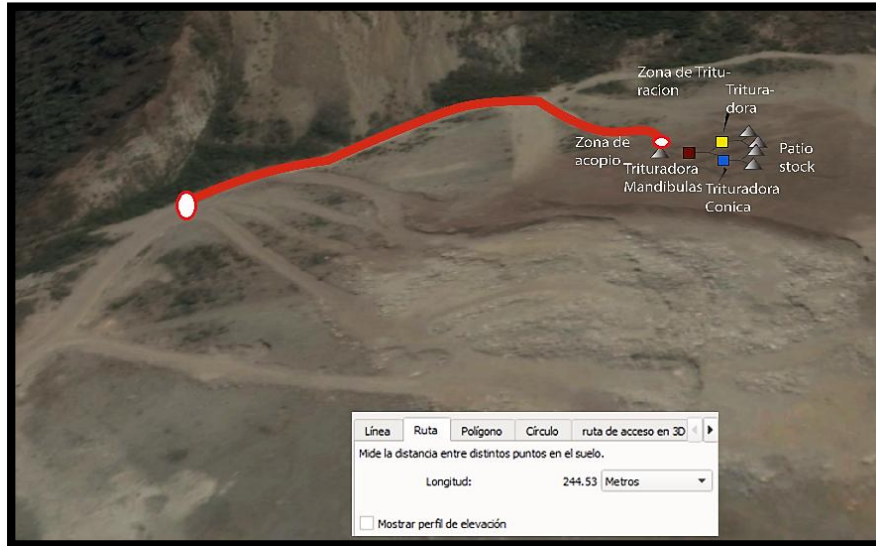


Figura 4.1: Posible recorrido del volquete en el área de explotación

La posible distancia a recorrer de los volquetes es de 250 metros, aproximadamente; con ese valor se procedió a calcular el tiempo de transporte y posteriormente el tiempo de ciclo de la unidad.

$$\text{Tiempo de Transporte "TT" (min)} = \frac{\text{Longitud de recorrido} * 0.06}{\text{Velocidad media}}$$

Tabla 4.8: Tiempo de transporte del volquete

TIEMPO DE TRANSPORTE	
Distancia de recorrido A-B	250 m
Velocidad media cargado	10 km/h
Tiempo de transporte cargado (Ttc)	1.5 min
Distancia de recorrido B-A	250 m
Velocidad media descargado	15 km/h
Tiempo de transporte descargado (Ttd)	1 min
TIEMPO TOTAL DE TRANSPORTE (TT)	2.5 min

$$\text{Tiempo de ciclo (min)} = T_c + T_T + T_d$$

Tabla 4.9: Tiempo de ciclo del volquete

TIEMPO DE CICLO	
Tiempo de carga (T _c)	5.7 min
Tiempo de descarga (T _d)	1.5 min
Tiempo de transporte (T _T)	2.5 min
Tiempo total de ciclo (T_{tc})	9.7 min

Para poder determinar un número de unidades de acarreo es necesario tener un factor de acoplamiento, el ideal es 1, dicho valor será considerado para este cálculo, usándolo en la siguiente ecuación.

$$\text{Número de Volquetes} = \frac{FA * n * TT}{P * t}$$

Tabla 4.10: Número de volquetes

NÚMERO DE VOLQUETES	
Factor de acoplamiento (FA)	1
Número de unidades de carga (n)	1
Tiempo de ciclo del volquete (TT)	9.7 min
Número de cucharones para llenar el volquete (P)	8
Tiempo de ciclo de la excavadora (t)	0.63 min
Número total de volquetes	1.92 ≈ 2 unidades

4.2.2.9. Requerimiento de maquinaria

De acuerdo a las necesidades de producción de arena de Tonalita de la cantera de La Josefina, se requerirán los siguientes equipos para los distintos procesos operativos (ver tabla 4.11).

Tabla 4.11: Requerimiento de maquinaria para procesos operativos

EQUIPOS PARA PROCESOS OPERATIVOS	
Descripción	Unidades
Excavadora Hidráulica CAT 325 DL	1
Cargadora CAT 966 G	2
Volquete JAC HFC 4181	2
Trituradora de Mandíbulas TRIO CT 3042	1
Trituradora Cónica TRIO TC 51	1
Trituradora de Impactos VSI REMCO 300	1
Zaranda Vibratoria JOYAL 2YZS 1548	2

4.2.2.10. Costos operativos mensuales

Se mencionó previamente que los equipos de arranque, carguío y transporte, van a ser rentados incluyendo en la renta, operadores, combustible y mantenimiento. Las trituradoras constan en una inversión inicial junto con las zarandas vibratorias, para estimar los costos que generan dichos equipos de trituración, se debe determinar el consumo energético. Los valores que a continuación se presentan, fueron recopilados de información conseguida en las dos plantas de trituración que se procesó la roca tonalita, y los valores de alquiler de maquinaria están descritos de acuerdo a valores referenciales del mercado.

Tabla 4.12: Costos operativos mensuales

COSTOS OPERATIVOS				
Descripción	Unidades	Costo Unitario por hora (\$/h)	Costo por día (\$/día)	Costo al mes (\$/mes)
Excavadora Hidráulica CAT 325 DL	1	30	240	5760
Cargadora CAT 966 G	2	30	480	11520
Volquete JAC HFC 4181	2	30	480	11520
Trituradora de Mandíbulas TRIO CT 3042	1	-	36.5	876
Trituradora Cónica TRIO TC 51	1	-	31.25	750
Trituradora de Impactos VSI REMCO 300	1	-	36.5	876
		Total (\$)	1304.25	31302.00

4.2.3. Costos administrativos

Los costos administrativos son conocidos también como, costos no operativos, porque no tienen una relación directa con los volúmenes de producción. Dentro de estos costos se consideraron, sueldos de personal, además de, los beneficios establecidos por la ley como son, el décimo tercero, el décimo cuarto, etc. Existen insumos de oficina que también fueron tomados en cuenta.

4.2.3.1. Mano de obra indirecta

Hace referencia al personal que no participa de forma directa en los procesos operacionales o de producción. En el presente caso está conformada por:

- Ingeniero de Minas
- Jefe Operativo
- Asesor Jurídico
- Secretaria
- Supervisor de Producción
- Ayudante de Planta
- Guardia de Seguridad

Los días de trabajo del personal antes indicado, es de lunes a sábado, con una jornada de 8 horas al día. A continuación se detalla el valor de los sueldos de cada uno.

Tabla 4.13: Sueldos mensuales del personal

SUELDOS DEL PERSONAL		
Descripción	Número	Sueldo mensual (\$)
Ingeniero de Minas	1	1200
Jefe Operativo	1	800
Asesor Jurídico	1	600
Secretaria	1	394
Supervisor de Producción	1	600
Ayudante de Planta	1	394
Guardia de Seguridad	1	394

Todos los trabajadores deben recibir los beneficios estipulados por la ley, en la siguiente tabla se indican los valores correspondientes.

Tabla 4.14: Beneficios económicos mensuales del personal

BENEFICIOS ECONÓMICOS MENSUALES DEL PERSONAL						
Descripción	13er Sueldo (\$)	14to Sueldo (\$)	IESS (\$)	Fondos de reserva (\$)	Vacación (\$)	Total Mensual (\$)
Ingeniero de Minas	100.00	32.83	113.40	99.96	50.00	1482.79
Jefe Operativo	66.67	32.83	75.60	66.64	33.33	999.47
Asesor Jurídico	50.00	32.83	56.70	49.98	25.00	757.81
Secretaria	32.83	32.83	37.23	32.82	16.42	508.90
Supervisor de Producción	50.00	32.83	56.70	49.98	25.00	757.81
Ayudante de Planta	32.83	32.83	37.23	32.82	16.42	508.90
Guardia de Seguridad	32.83	32.83	37.23	32.82	16.42	508.90
Total mensual en Sueldos (\$)						5524.60

4.2.3.2. Insumos de oficina

Dentro de este inciso se consideró insumos como, bidón de agua, alimentos para refrigerios, artículos de papelería. A continuación se indican los precios.

Tabla 4.15: Gastos adicionales

GASTOS ADICIONALES			
Descripción	Unidades	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Bidón de Agua	3	1.5	4.5
Alimentos para Refrigerios	-	-	40
Artículos de papelería	-	-	20
Total mensual (\$)			64.5

4.2.3.3. Resumen de costos administrativos

Seguidamente se presenta una tabla resumen de los costos administrativos mensuales, analizados en los incisos anteriores.

Tabla 4.16: Resumen de costos administrativos

RESUMEN DE COSTOS ADMINISTRATIVOS	
Descripción	Valor (\$)
Sueldos de personal	5524.60
Gastos adicionales	64.5
Total mensual (\$)	5589.10

4.3. Resumen de costos mensuales

Los costos operativos y los costos administrativos, suman un total mensual de \$ 36891.10 (ver tabla 4.17).

Tabla 4.17: Costos totales mensuales

COSTOS TOTALES MENSUALES	
Costos operativos (\$)	31302.00
Costos administrativos (\$)	5589.10
Total mensual (\$)	36891.10

4.4. Costos de producción

En este último inciso se determinó el costo de producir 1 metro cúbico de arena de Tonalita proveniente de La Josefina, pasando por los procesos de, arranque, carguío, transporte y trituración primaria, secundaria y terciaria.

Como bien se sabe, en este proyecto se analizaron dos materiales para determinar si, la resistencia a la compresión de los hormigones fabricados con dichos materiales, podían igualar o mejorar a la de resistencia de un hormigón fabricado con arena de río proveniente de Cochancay. Un material fue la Tonalita fragmentada producto de una trituradora cónica y el otro material fue igualmente la Tonalita fragmentada pero producto de una trituradora de impactos VSI, por tal razón, en este capítulo se determinó 2 costos de producción.

Se estableció una producción diaria de 450 m³, lo que significa que al mes se tiene que producir 10800 m³.

4.4.1. Costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora cónica

Para obtener el costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora cónica, se consideraron los costos que se generan por los procesos de arranque, carguío, transporte, trituración primaria (trituradora de mandíbulas), trituración secundaria (trituradora cónica) y más los costos administrativos mensuales, resultando como un total de costos mensuales de \$ 36015.10.

$$\text{Productividad} \left(\frac{\$}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Costos mensuales}}{\text{Producción mensual}}$$

Tabla 4.18: Costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora cónica

COSTO DE PRODUCCIÓN		
Costos mensuales	\$/mes	36015.10
Producción mensual	m ³ /mes	10800
Productividad (\$/m³)		3.33

4.4.2. Costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora de impactos VSI

El costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora de impactos, es más alto que el costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora cónica, debido a que, el primero se somete a un proceso adicional, que viene a ser la trituración terciaria, y por lo tanto, los costos operativos aumentan por el consumo energético que genera la trituradora VSI.

$$\text{Productividad} \left(\frac{\$}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Costos mensuales}}{\text{Producción mensual}}$$

Tabla 4.19: Costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora de impactos VSI

COSTO DE PRODUCCIÓN		
Costos mensuales	\$/mes	36891.10
Producción mensual	m ³ /mes	10800
Productividad (\$/m³)		3.42

4.5. Costo de venta de arena de río proveniente de Cochancay

El costo de venta de la arena de río de Cochancay, es de \$ 11.00 el metro cúbico. Sin embargo, el precio de la misma arena en la ciudad de Cuenca, es de \$ 24.44 el metro cúbico aproximadamente. Esta gran diferencia en el precio de venta es debido al transporte.

Los valores que aquí se presentan fueron consultados en la concesión minera de áridos “CadmeCorp”, ubicada en Cochancay y también fueron obtenidos de valores referenciales del mercado.

Tabla 4.20: Resumen de Costos para la producción de arena de Tonalita

RESUMEN DE COSTOS			
Costo de producción de arena de Tonalita	VSI	\$/m ³	3.42
	CÓNICA *	\$/m ³	3.33
	DIARIO	MENSUAL	
Metros cúbicos producidos	450	10800	
COSTOS OPERATIVOS Y ADMINISTRATIVOS	\$ 1537.13	\$	36891.10
- <u>Costos Operativos</u>	\$ <u>1304.25</u>	\$	<u>31302.00</u>
- Alquiler de Excavadora	\$ 240	\$	5760
- Alquiler de Cargadoras	\$ 480	\$	11520
- Alquiler de Volquetes	\$ 480	\$	11520
- Trituración Primaria (consumo energético)	\$ 36.50	\$	876
- Trituración Secundaria (consumo energético)	\$ 31.25	\$	750
- Trituración Terciaria (consumo energético)	\$ 36.50	\$	876
- <u>Costos Administrativos</u>		\$	<u>5589.10</u>
- Mano de Obra Indirecta		\$	5524.60
- Insumos de Oficina		\$	64.50
* Ver inciso 4.4.1.			

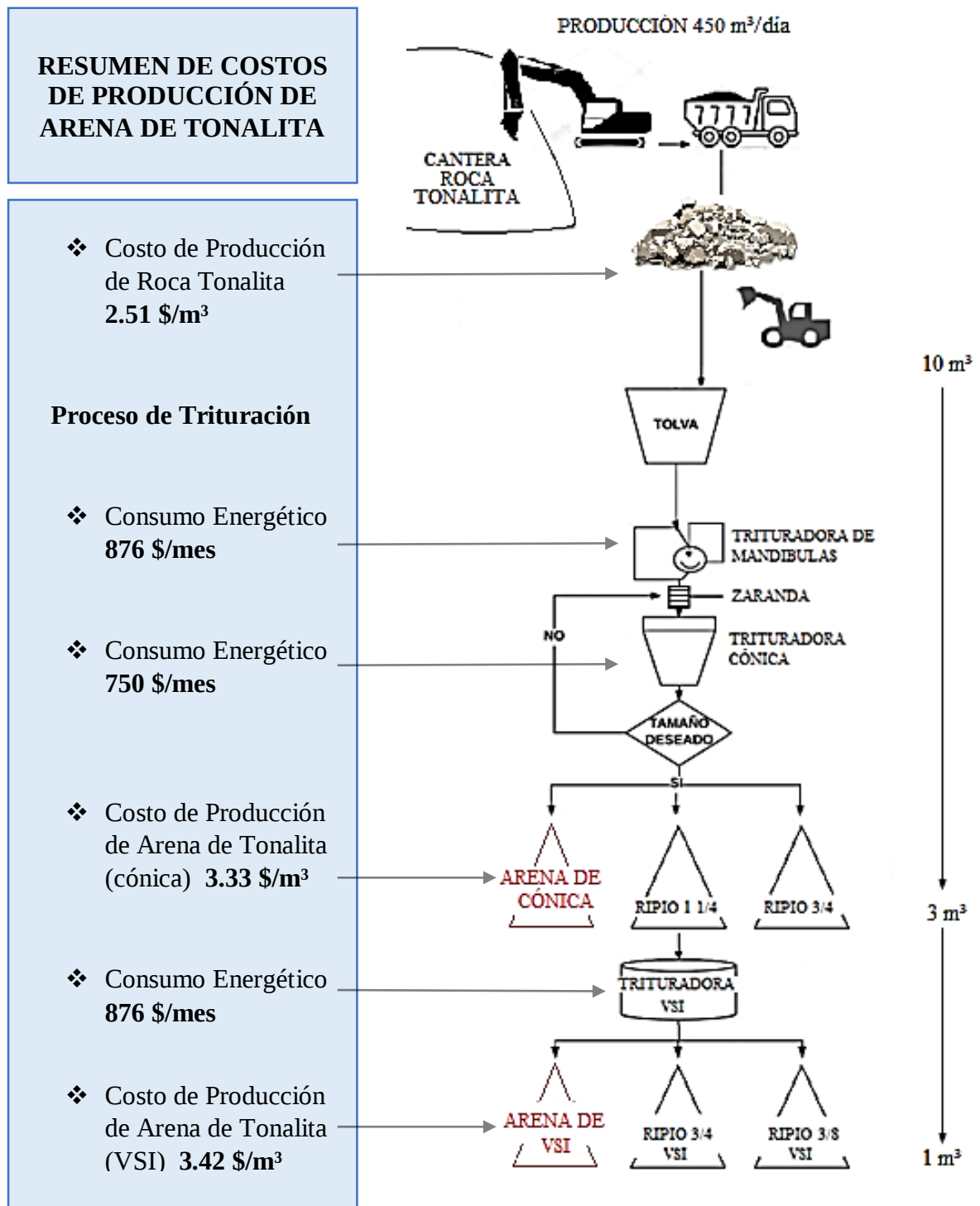


Figura 4.2: Esquema con costos de procesos para obtener arena de Tonalita

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- La roca Tonalita al ser sometida a un proceso de trituración primaria y secundaria, mediante una trituradora de mandíbulas y una trituradora cónica, ya puede utilizarse como árido fino, presenta una forma de partícula “laminar”. Mientras que, al someterse a un proceso adicional de trituración terciaria, mediante una trituradora de impactos VSI, el material producido adquiere una forma de partícula “redondeada”.
- Para utilizar la roca Tonalita de la cantera de La Josefina, como árido fino en la fabricación de hormigón, tiene que ser sometida a un proceso de trituración, el mismo que permite que la Tonalita adquiera una granulometría apropiada.
- Las curvas granulométricas de la arena de río cribada proveniente de Cochancay, de la arena de Tonalita producto de una trituradora cónica y de una trituradora de impactos VSI, son similares, con una buena distribución de partículas y cumplen con la granulometría adecuada que debe tener el árido fino para la fabricación de hormigón.
- Las resistencias de los hormigones fabricados con la arena de Tonalita, no igualaron ni superaron la resistencia del hormigón fabricado con arena de río de Cochancay. Siendo 289.89 Kg/cm² la resistencia del hormigón Tipo 2 (arena de tonalita, cónica), que representa el 86% de la resistencia del hormigón Tipo 1 (arena de río) y 297.65 Kg/cm² la resistencia del hormigón Tipo 3 (arena de tonalita, VSI), que constituye el 89%. Mientras que el hormigón Tipo 1 elaborado con arena de río, obtuvo una resistencia a la compresión de 335.38 Kg/cm².

- El hormigón fabricado con arena de Tonalita como árido fino, adquiere una excelente resistencia a la compresión, comparándola con la resistencia recomendada (240 Kgf/cm²) por los ingenieros estructurales, para la elaboración de losas, vigas y columnas.
- El costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora cónica se estima que es de \$ 3.33 por metro cúbico.
- El costo de producción de arena de Tonalita producto de una trituradora de impactos VSI, puede tener un precio de \$ 3.42 por metro cúbico. Es más alto que el valor anterior, debido a un proceso adicional de trituración.

Recomendaciones:

- Realizar una evaluación de reservas más amplia y detallada de la zona de estudio, para así obtener un valor de reservas probadas.
- Se recomienda estimar valores de resistencia a la compresión del hormigón fabricado con arena proveniente del río Paute y hacer una comparación con la resistencia obtenida de los hormigones elaborados en este proyecto.
- Empleando la dosificación que se utilizó en este proyecto, elaborar hormigón y someterlo a 28 días de curado, ya que, a esa edad el hormigón alcanza el 100% de su resistencia.
- Realizar pruebas de resistencia a la compresión de hormigones fabricados con Tonalita fragmentada, con una granulometría que requiera para ejercer como árido grueso.
- Buscar y analizar técnica y económicamente posibles lugares en los que pueda adecuarse la planta de trituración, con el objetivo de optimizar procesos y a su vez sus costos.
- Realizar una evaluación económica más detallada, tomando en cuenta las reservas probadas, para estimar un costo de producción más exacto.
- Cuando se vaya a plantear un diseño de explotación, tener en cuenta los antecedentes de la zona de interés y considerar que es un sitio que presenta riesgos de deslizamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Zaquinaula, N. O. (2013). Estudio de las vibraciones de una chancadora de quijada, del laboratorio de ingeniería de minas de la PUCP. Lima. Trabajo de Titulación.
- Blandón, P. R. (2016). Petrografía y Geoquímica de la Granodiorita de Ipapure y su relación con las rocas encajantes en la alta Guajira-Colombia. Bogotá.
- Calle, A., & López, D. (2017). Caracterización mineralógica y evaluación de reservas del macizo rocoso de La Josefina. Cuenca. Trabajo de Titulación.
- Cantera La Chola II. (2018). Cantera La Chola II. Obtenido de Cantera La Chola II: <http://www.canteralachola.com.ar/arena.php>
- Caterpillar. (2009). Manual de Rendimiento. Ecuador.
- Chimbo, R., & León, A. (2018). Elaboración de guías metodológicas para ensayos de laboratorio de la asignatura de Materiales de Construcción de la Universidad del Azuay. Cuenca. Trabajo de Grado.
- Company, P. E. (2019). TRIO TC51 TRITURADORA DE CONO. Power Equipment Company.
- Crúz Alvarez, H. A. (2006). Estudio de factibilidad de la explotación de la cantera caimital en el municipio de Turbaco (Bolívar). Bogotá, Colombia.

Cuerpo Suizo de Socorro y Basase, P. (1998). Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute (PRECUPA). Ecuador.

Díaz, B. &, & Diego, C. (2014). Evaluacion de las propiedades mecanicas del concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado. Arequipa-Perú.

Domínguez, R. Z. (1999). El deslizamiento de la josefina tragedia nacional. Cuenca.

Figueroa, M. F. (2007). Uso de un Sistema de Curado del hormigón intermedio. Santiago de Chile. Chile.

García San Emeterio, A. (2016). Diseño de máquina trituradora de áridos de impacto. Cantabria. Trabajo de Titulación.

Gómez, D. J. (2016). Materiales de Construcción. Monterrey; Mexico: Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey.

Gonnerman, H., & Shuman, E. (1928). *Flexure and tension tests of plain concrete. Washington: Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association.*

Harmsen, T. (2002). Diseño de Estructuras de Concreto Armado. Lima: Fondo.

HolcimEcuadorS.A. (2014). Elaboración de hormigón con cemento Holcim fuerte. Obtenido de Holcim: <https://www.holcim.com.ec/>

Hungerbühler, D., & Steinmann. (1996). Curso Internacional Geología de Cuencas Sedimentarias (Mioseno, Sur del Ecuador) Guía de Campo. Suiza.

JOYAL. (2018). Vibrating Screen. JOYAL. Manual de especificaciones técnicas.

Metso Corporation. (2019). Trituradora de impacto Nordberg NP15 (Metso). Obtenido de <https://www.metso.com/products/crushers/impact-crushers/nordberg-np-series/nordberg-np15/>

Montero Olarte, J. (1999). Capítulo 4: Minerales y Rocas . Bogotá. Colombia.

Neville, A. M. (1999). Tecnología del concreto. México: Soledad Moliné Venanzi.

NTE INEN 1 578, 2. (2010). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento. Quito.

NTE INEN 1573, I. E. (2010). Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. Quito: Primera Edición.

Otero, A. V. (Marzo de 2016). Ciencia y Tecnología de los Materiales. Obtenido de Ciencia y Tecnología de los Materiales: <http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/ciencia-y-tecnologia-de-los-materiales/contenido/TEMA%205-%20EL%20CEMENTO.pdf>

Pasquel, C. E. (1993). Topicos de tecnología del concreto en el Perú. Lima: Colección de Ing. civil.

REMCO. (2018). Remco RockMax. REMCO.Manual de especificaciones técnicas.

Rodríguez Vásquez, C. M. (2010). Criterios de selección de equipos de chancado en una planta concentradora. Lima.Perú.

Romo Proaño, M. (2008). Temas de hormigón armado. Quito - Ecuador .

Solís, & Moreno. (2005). Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, 6-7.

Vera Callao, R. (27 de Noviembre de 2013). Mantenimiento de carreteras. Obtenido de Agregados petreos: metodo para tamizar y determinar la granulometria (LNV 65)* - Aparatos.: http://mantenimientocarreterasyvias.blogspot.com/2013/11/agregados-petreos-metodo-para-tamizar-y_4907.html

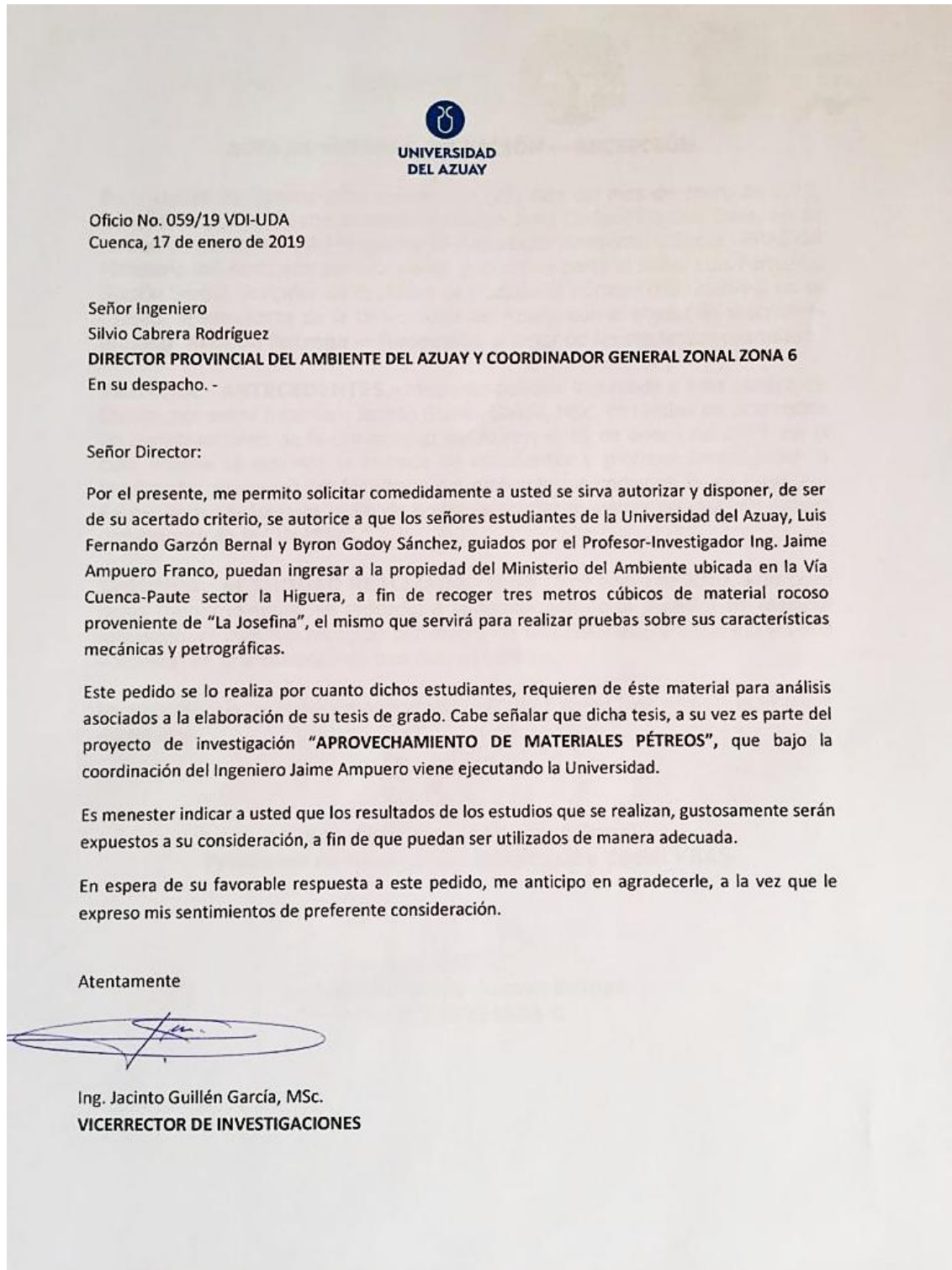
WEIR. (2019). Trituradoras de Mandíbulas primarias. Weir. Manual de especificaciones técnicas.

Yepes Piqueras, V. (2014). Trituradora de Cono. Blogs UPV.

Yépez Benalcázar, C. R. (2016). Determinación y gestión de costos de operación de la cantera de materiales de construcción Chaupi Chupa 1, ubicada en el cantón Quito, parroquia Nayón, provincia de Pichincha. Quito.

ANEXOS

Anexo 1- Resolución de autorización “Ministerio del Ambiente”.



Anexo 2- Acta de Entrega - Recepción “Ministerio del Ambiente”.




MINISTERIO DEL AMBIENTE

ACTA DE ENTREGA RECEPCIÓN — RECEPCIÓN

En la ciudad de Cuenca a los veintinueve (29) días del mes de enero de 2019, comparece por una parte el señor sociólogo Juan Carlos Moscoso Daza, en su calidad de especialista del Programa de Reparación Ambiental y Social - PRAS del Ministerio del Ambiente por una parte; y, por otra parte el señor Luis Fernando Garzón Bernal, portador de la cédula de ciudadanía número 030221854-0 en su calidad de estudiante de la Universidad del Azuay; con el objeto de suscribir la presente **Acta de Entrega — Recepción** al tenor de las siguientes cláusulas:

PRIMERA.- ANTECEDENTES.- Mediante petición ingresada a ésta cartera de Estado, por señor Ingeniero Jacinto Guillén García, MSc, en calidad de Vicerrector de Investigaciones de la Universidad del Azuay, el 18 de enero del 2019, en la cual, solicita se autorice la entrada de estudiantes y profesor Investigador, a predios del propiedad del Ministerio del Ambiente, ubicados en la vía Cuenca – Paute, sector la Higuera, a fin de poder recolectar muestras de material rocoso proveniente de la “Josefina”.

SEGUNDA.- ACTIVIDAD REALIZADA.- El día 25 de enero de 2019, a las ocho horas treinta minutos, se procedió a la recolección de la muestra de material requerido, el cual fue recogido por medio de una Gallineta, y acopiado en una Volqueta, en una cantidad de tres metros cúbicos.

Para constancia de lo aquí manifestado las partes arriba indicadas, firman por duplicado:



Soc. Juan Carlos Moscoso Daza
Programa de Reparación Ambiental y Social PRAS



Luis Fernando Garzón Bernal
c. c. 030221854-0

Anexo 3- Resolución de autorización “VIPESA CONSTRUCCIONES CIA. LTDA.”.



Oficio UDA-MIN-2019-031
Cuenca, 13 de febrero de 2019

Ingeniera
Daniela Sanmartín
GERENTE DE VIPESA CONSTRUCCIONES CIA. LTDA.
Su despacho.-

De mi consideración:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay, a la vez que le deseo el mayor éxito en sus funciones.

Por el presente tengo a bien solicitar comedidamente a usted, su ayuda para que los señores estudiantes de la Universidad del Azuay, Luis Fernando Garzón Bernal y Byron Godoy Sánchez, puedan triturar 1 metro cúbico del material proveniente de “La Josefina”, que presenta un tamaño de partícula de $\frac{3}{4}$ de pulgada, en la **Trituradora de Impactos** que usted dispone. Dicho material servirá para realizar pruebas sobre sus características mecánicas y petrográficas.

Este pedido se lo realiza por cuanto dichos estudiantes, requieren de éste material para análisis asociados a la elaboración de su tesis de grado. Cabe señalar que dicha tesis, a su vez es parte del proyecto de investigación “**APROVECHAMIENTO DE MATERIALES PÉTREOS**”, que viene ejecutando la Universidad.

Es menester indicar a usted que los resultados de los estudios que se realizan, gustosamente serán expuestos a su consideración, a fin de que puedan ser utilizados de manera adecuada.

En espera de su favorable respuesta a este pedido, me anticipo en agradecerle a la vez que le expreso mis sentimientos de preferente consideración.

Atentamente


Ing. Leonardo Núñez Rodas, M.Sc.

COORDINADOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

c.c. Archivo IEM





0150233013

13-2-2019

14:07

Anexo 4- Análisis granulométrico de la Arena de río cribada de Cochancay.



Granulometría de arena de río cribada de Cochancay	
FECHA:	30/01/2019
NOMBRE:	GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
PROYECTO:	TESIS DE GRADO
LABORATORIO:	UNIVERSIDAD DEL AZUAY



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		MASA RETENIDA		PORCENTAJE	PORCENTAJE
(malla cuadrada)		PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA
Pulgadas	mm.	gramos	gramos	%	%
3/8"	9.52	0	0	0	100
N°4	4.76	160	160	16	84
N°8	2.38	179	339	33.9	66.1
N°16	1.19	178	517	51.7	48.3
N°30	0.59	176	693	69.3	30.7
N°50	0.297	186	879	87.9	12.1
N°100	0.149	85	964	96.4	3.6
N°200	0.075	25	989	98.9	1.1
Fondo		11			
Total (gramos)		1000			

Peso antes del ensayo	1000	gramos
Peso después del ensayo	989	gramos

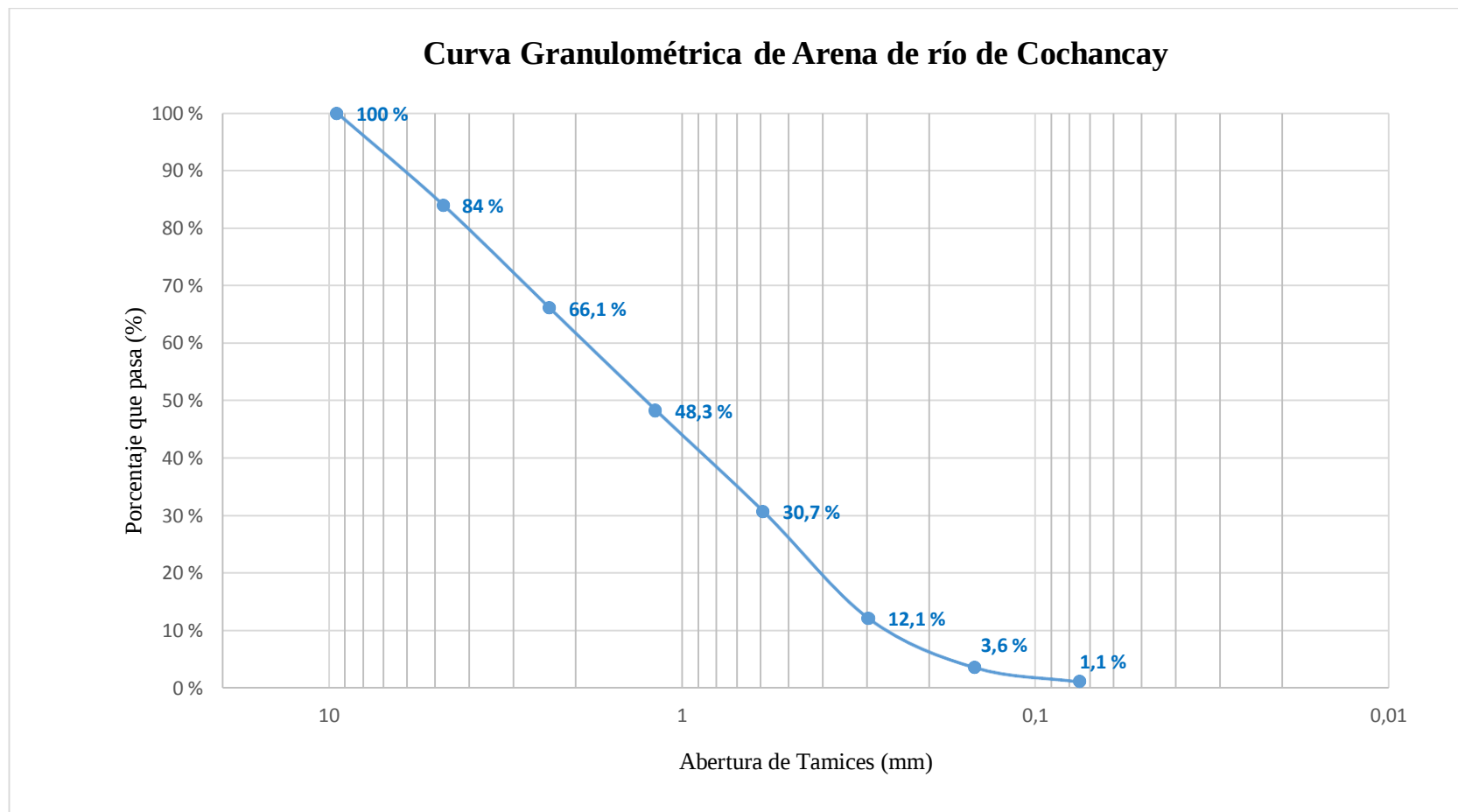
Módulo de finura	3.6
------------------	-----

Comentarios

Se obtuvo un Módulo de Finura de 3.6, lo que significa que la arena es gruesa.

El porcentaje que pasa el tamiz # 200 es de 1.1%.

Anexo 5- Curva granulométrica de la Arena de río cribada de Cochancay.



Anexo 6- Análisis granulométrico de Tonalita de la Josefina, fragmentada producto de una trituradora cónica.



Granulometría de Tonalita (cónica) de La Josefina	
FECHA:	14/02/2019
NOMBRE:	GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
PROYECTO:	TESIS DE GRADO
LABORATORIO:	UNIVERSIDAD DEL AZUAY



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		MASA RETENIDA		PORCENTAJE	PORCENTAJE
(malla cuadrada)		PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA
Pulgadas	mm.	gramos	gramos	%	%
3/8"	9.52	0	0	0	100
Nº4	4.76	9	9	0.9	99.1
Nº8	2.38	269	278	27.8	72.2
Nº16	1.19	252	530	53	47
Nº30	0.59	163	693	69.3	30.7
Nº50	0.297	128	821	82.1	17.9
Nº100	0.149	91	912	91.2	8.8
Nº200	0.075	49	961	96.1	3.9
Fondo		39			
Total		1000			

Peso antes del ensayo	1000	gramos
Peso después del ensayo	961	gramos

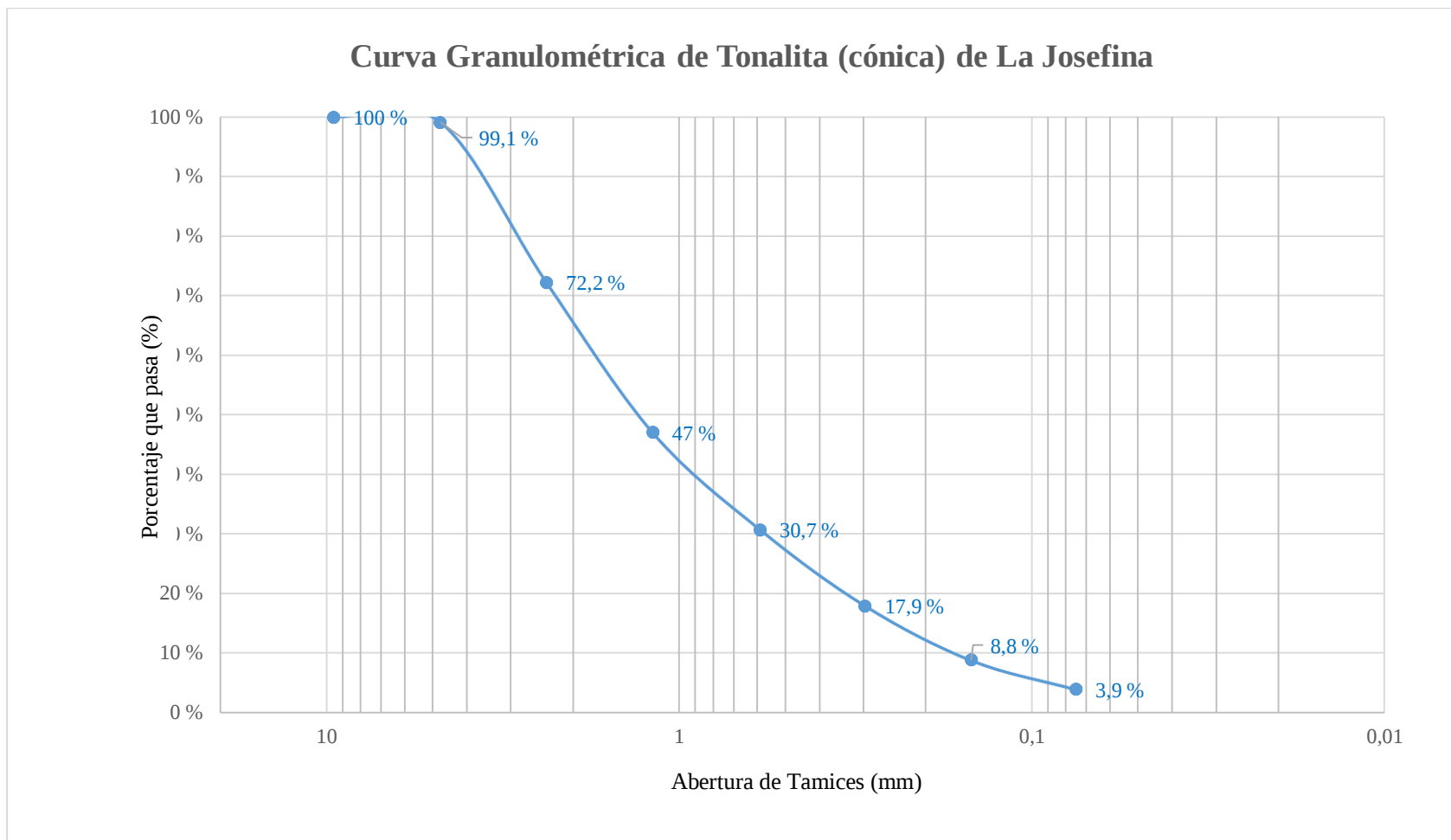
Módulo de finura	3.2
------------------	-----

Comentarios

Se obtuvo un Módulo de Finura de 3.2, lo que significa que la arena de Tonalita de la Josefina es gruesa.

El porcentaje que pasa el tamiz # 200 es de 3.9%.

Anexo 7- Curva granulométrica de Tonalita de la Josefina, fragmentada producto de una trituradora cónica.



Anexo 8- Análisis granulométrico de Tonalita de la Josefina, fragmentada producto de una trituradora de impactos.



Granulometría de Tonalita (impactos) de la Josefina	
FECHA:	21/02/2019
NOMBRE:	GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
PROYECTO:	TESIS DE GRADO
LABORATORIO:	UNIVERSIDAD DEL AZUAY



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		MASA RETENIDA		PORCENTAJE	PORCENTAJE
(malla cuadrada)		PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA
Pulgadas	mm.	gramos	gramos	%	%
3/8"	9.52	0	0	0	100
N°4	4.76	25	25	2.5	97.5
N°8	2.38	305	330	33	67
N°16	1.19	238	568	56.8	43.2
N°30	0.59	137	705	70.5	29.5
N°50	0.297	121	826	82.6	17.4
N°100	0.149	91	917	91.7	8.3
N°200	0.075	51	968	96.8	3.2
Fondo		32			
Total		1000			

Peso antes del ensayo	1000	gramos
Peso después del ensayo	968	gramos

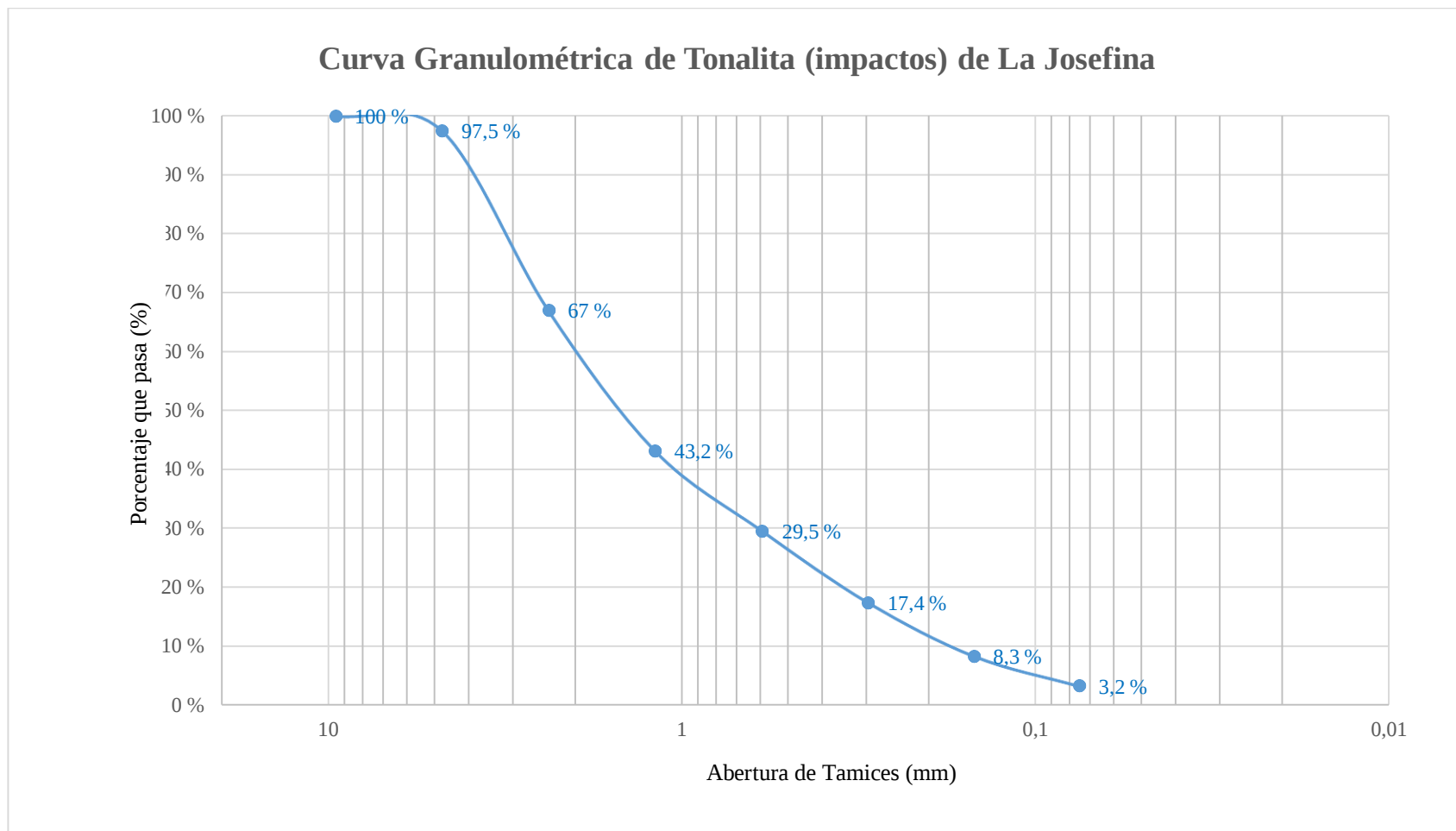
Módulo de finura	3.4
------------------	-----

Comentarios

Se obtuvo un Módulo de Finura de 3.4, lo que significa que la arena de Tonalita de la Josefina es gruesa.

El porcentaje que pasa el tamiz # 200 es de 3.2%.

Anexo 9- Curva granulométrica de Tonalita de la Josefina, fragmentada producto de una trituradora de impactos.



Anexo 10- Análisis granulométrico de la Grava triturada de Cochancay.



Granulometría de la grava de Cochancay	
FECHA:	01/02/2019
NOMBRE:	GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
PROYECTO:	TESIS DE GRADO
LABORATORIO:	UNIVERSIDAD DEL AZUAY



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

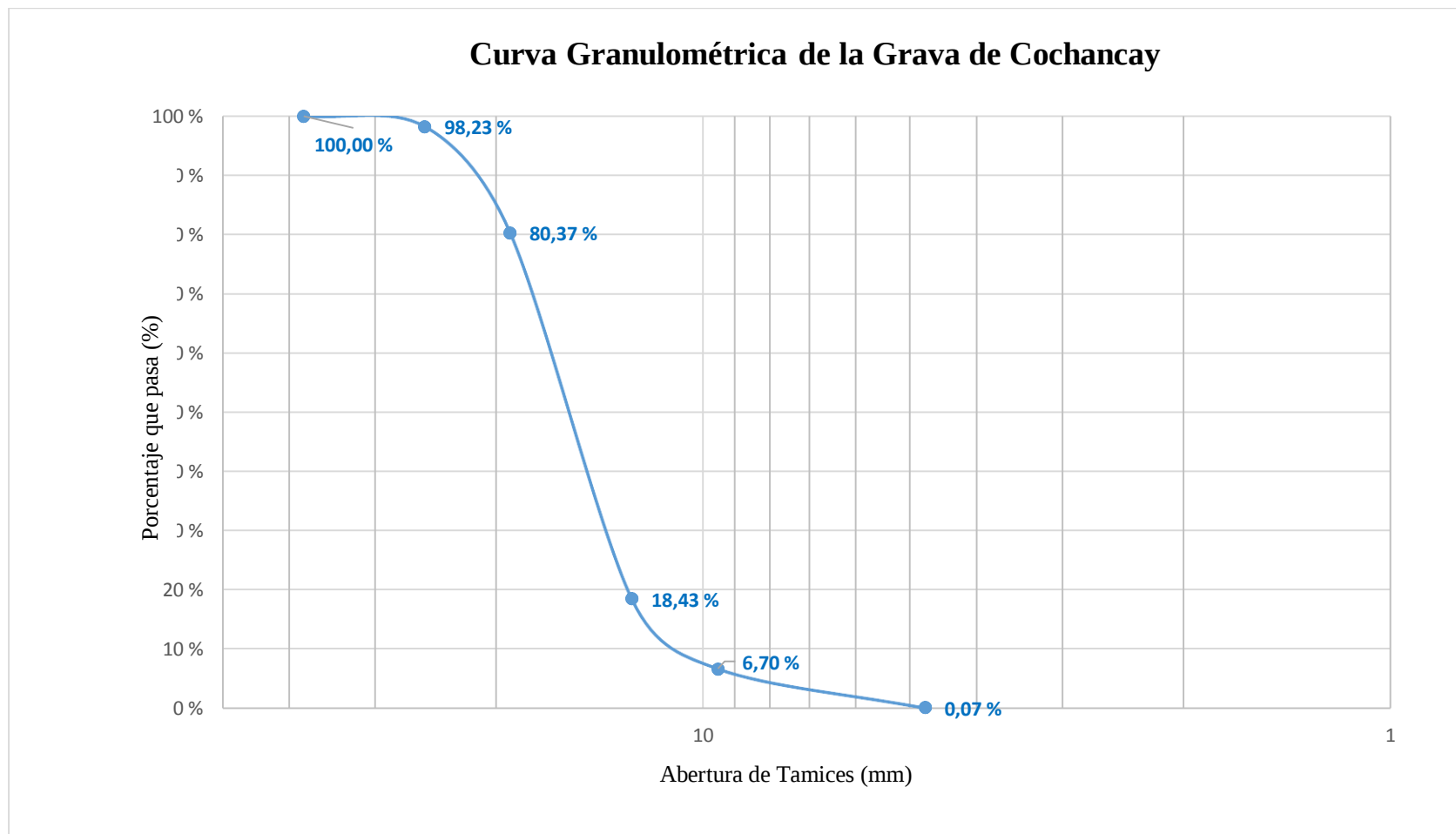
TAMIZ		MASA RETENIDA		PORCENTAJE	PORCENTAJE
(malla cuadrada)		PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA
Pulgadas	mm.	gramos	gramos	%	%
1½"	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	53	53	1.8	98.2
¾"	19.1	536	589	19.6	80.4
1/2"	12.7	1858	2447	81.6	18.4
3/8"	9.52	352	2799	93.3	6.7
Nº4	4.76	199	2998	99.9	0.1
Fondo		2			
Total (gramos)		3000			

Peso antes del ensayo	3000	gramos
Peso después del ensayo	2998	gramos

Comentarios

El tamaño máximo del agregado grueso es de 1 pulgada (25.4 mm).

Anexo 11- Curva granulométrica de la Grava triturada de Cochancay.



Anexo 12- Ficha de laboratorio de determinación de Asentamiento del hormigón.

**MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO**

FECHA: 07/02/2019; 14/02/2019; 21/02/2019
 NOMBRE: GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 LABORATORIO: UNIVERSIDAD DEL AZUAY

ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN

TIPO DE HORMIGÓN	ASENTAMIENTO (cm)
Tipo 1	6
Tipo 2	7
Tipo 3	7

Asentamiento promedio	6.7	cm
-----------------------	-----	----

Comentarios

La dosificación Tipo 1 comprende una variable que es la Arena de río de Cochancay.

La Tipo 2 tiene como variable a la Tonalita (producto de una trituradora cónica) de la Josefina.

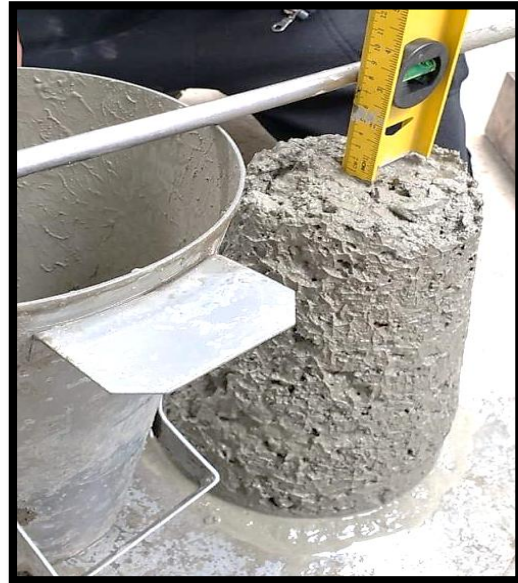
Y en la dosificación Tipo 3 la variable es la Tonalita (producto de una trituradora de impactos)

igualmente de la Josefina.

Anexo 13- Asentamiento del hormigón Tipo 1.



Anexo 14- Asentamiento del hormigón Tipo 2.



Anexo 15- Asentamiento del hormigón Tipo 3.



Anexo 16- Curado del hormigón sumergido en agua por 14 días.



Anexo 17- Ficha de laboratorio de determinación de Densidad del hormigón Tipo 1.

**DENSIDAD DEL HORMIGÓN**

FECHA: 22/02/2019
 NOMBRE: GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 LABORATORIO: UNIVERSIDAD DEL AZUAY

TIPO DE HORMIGÓN: 1

CILINDRO	DIMENSIONES (cm)	MASA (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA UNITARIA (kgf/cm ²)
1	10 x 20	3748	1570.8	2.39	328.16
2	10 x 20	3698	1570.8	2.35	325.20
3	10 x 20	3713	1570.8	2.36	334.08
4	10 x 20	3773	1570.8	2.40	335.80
5	10 x 20	3784	1570.8	2.41	333.82
6	10 x 20	3760	1570.8	2.39	347.33
7	10 x 20	3796	1570.8	2.42	348.06
8	10 x 20	3735	1570.8	2.38	324.45
9	10 x 20	3732	1570.8	2.38	341.48
10	10 x 20	3748	1570.8	2.39	335.37

Densidad promedio del hormigón Tipo 1	2.39	(g/cm³)
--	-------------	---------------------------

Comentarios

El hormigón fabricado con Arena de río como árido fino, tiene una densidad promedio de 2.39 g/cm³ y una resistencia promedio a la compresión de 335.38 kgf/cm², luego de haberse curado por 14 días sumergido en agua.

Anexo 18- Ficha de laboratorio de determinación de Densidad del hormigón Tipo 2.

**DENSIDAD DEL HORMIGÓN**

FECHA: 01/03/2019
 NOMBRE: GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 LABORATORIO: UNIVERSIDAD DEL AZUAY

TIPO DE HORMIGÓN: 2

CILINDRO	DIMENSIONES (cm)	MASA (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA UNITARIA (kgf/cm ²)
1	10 x 20	3638	1570.8	2.32	285.55
2	10 x 20	3598	1570.8	2.29	291.13
3	10 x 20	3674	1570.8	2.34	300.31
4	10 x 20	3674	1570.8	2.34	303.60
5	10 x 20	3646	1570.8	2.32	285.97
6	10 x 20	3592	1570.8	2.29	290.68
7	10 x 20	3688	1570.8	2.35	286.10
8	10 x 20	3689	1570.8	2.35	291.75
9	10 x 20	3545	1570.8	2.26	273.68
10	10 x 20	3703	1570.8	2.36	290.11

Densidad promedio del hormigón Tipo 2	2.32	(g/cm ³)
---------------------------------------	------	----------------------

Comentarios

El hormigón fabricado con Tonalita (fragmentada producto de una trituradora cónica) como árido fino, tiene una densidad promedio de 2.32 g/cm³ y una resistencia promedio a la compresión de 289.89 kgf/cm², luego de haberse curado por 14 días sumergido en agua.

Anexo 19- Ficha de laboratorio de determinación de Densidad del hormigón Tipo 3.



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

DENSIDAD DEL HORMIGÓN

FECHA: 08/03/2019
 NOMBRE: GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 LABORATORIO: UNIVERSIDAD DEL AZUAY

TIPO DE HORMIGÓN: 3

CILINDRO	DIMENSIONES (cm)	MASA (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA UNITARIA (kgf/cm ²)
1	10 x 20	3742	1570.8	2.38	294.64
2	10 x 20	3719	1570.8	2.37	298.28
3	10 x 20	3692	1570.8	2.35	301.40
4	10 x 20	3616	1570.8	2.30	290.02
5	10 x 20	3636	1570.8	2.31	294.72
6	10 x 20	3692	1570.8	2.35	306.51
7	10 x 20	3698	1570.8	2.35	294.75
8	10 x 20	3701	1570.8	2.36	293.76
9	10 x 20	3754	1570.8	2.39	303.22
10	10 x 20	3724	1570.8	2.37	299.20

DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN TIPO 3	2.35	(g/cm³)
--	-------------	---------------------------

Comentarios

El hormigón fabricado con Tonalita (fragmentada producto de una trituradora de impactos) como árido fino, tiene una densidad promedio de 2.35 g/cm³ y una resistencia promedio a la compresión de 297.65 kgf/cm², luego de haberse curado por 14 días sumergido en agua.

Anexo 20- Ficha de laboratorio del ensayo de Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 1.



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

FECHA: 22/02/2019
 NOMBRE: GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 LABORATORIO: UNIVERSIDAD DEL AZUAY

TIPO DE HORMIGÓN: 1

CILINDRO	EDAD (días)	DIMENSIONES (cm)	AREA (cm ²)	CARGA TOTAL (kgf)	CARGA UNITARIA (kgf/cm ²)	CARGA UNITARIA (Mpa)	CARGA UNITARIA PROMEDIO (kgf/cm ²)
1	14	10 x 20	78.54	25774	328.16	32.18	335.38
2	14	10 x 20	78.54	25541	325.20	31.89	
3	14	10 x 20	78.54	26239	334.08	32.76	
4	14	10 x 20	78.54	26374	335.80	32.93	
5	14	10 x 20	78.54	26218	333.82	32.74	
6	14	10 x 20	78.54	27279	347.33	34.06	
7	14	10 x 20	78.54	27337	348.06	34.13	
8	14	10 x 20	78.54	25482	324.45	31.82	
9	14	10 x 20	78.54	26820	341.48	33.49	
10	14	10 x 20	78.54	26340	335.37	32.89	

Tipo de Curado: Sumergido en agua

Comentarios

El hormigón fabricado con Arena de río como árido fino, se sometió a un curado sumergido en agua por 14 días.
Tiene una resistencia promedio a la compresión de 335.38 kgf/cm², una densidad promedio de 2.39 g/cm³ y un asentamiento de 6 cm.
La sección de los cilindros de 78.54 cm², es un valor aproximado.

Anexo 21- Ficha de laboratorio del ensayo de Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 2.



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

FECHA: 01/03/2019
 NOMBRE: GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 LABORATORIO: UNIVERSIDAD DEL AZUAY

TIPO DE HORMIGÓN: 2

CILINDRO	EDAD (días)	DIMENSIONES (cm)	AREA (cm ²)	CARGA TOTAL (kgf)	CARGA UNITARIA (kgf/cm ²)	CARGA UNITARIA (Mpa)	CARGA UNITARIA PROMEDIO (kgf/cm ²)
1	14	10 x 20	78.54	22427	285.55	28.00	289.89
2	14	10 x 20	78.54	22865	291.13	28.55	
3	14	10 x 20	78.54	23586	300.31	29.45	
4	14	10 x 20	78.54	23845	303.60	29.77	
5	14	10 x 20	78.54	22460	285.97	28.04	
6	14	10 x 20	78.54	22830	290.68	28.51	
7	14	10 x 20	78.54	22470	286.10	28.06	
8	14	10 x 20	78.54	22914	291.75	28.61	
9	14	10 x 20	78.54	21495	273.68	26.84	
10	14	10 x 20	78.54	22785	290.11	28.45	

Tipo de Curado: Sumergido en agua

Comentarios

El hormigón fabricado con Tonalita (fragmentada producto de una trituradora cónica) como árido fino, se sometió a un curado sumergido en agua por 14 días. Tiene una resistencia promedio a la compresión de **289.89 kgf/cm²**, una densidad promedio de **2.32 g/cm³** y un asentamiento de **7 cm**.
 La sección de los cilindros de **78.54 cm²**, es un valor aproximado.

Anexo 22- Ficha de laboratorio del ensayo de Resistencia a la compresión del hormigón Tipo 3.



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

FECHA: 08/03/2019
 NOMBRE: GARZÓN LUIS - GODOY BYRON
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 LABORATORIO: UNIVERSIDAD DEL AZUAY

TIPO DE HORMIGÓN: 3

CILINDRO	EDAD (días)	DIMENSIONES (cm)	AREA (cm ²)	CARGA TOTAL (kgf)	CARGA UNITARIA (kgf/cm ²)	CARGA UNITARIA (Mpa)	CARGA UNITARIA PROMEDIO (kgf/cm ²)
1	14	10 x 20	78.54	23141	294.64	28.89	297.65
2	14	10 x 20	78.54	23427	298.28	29.25	
3	14	10 x 20	78.54	23672	301.40	29.56	
4	14	10 x 20	78.54	22778	290.02	28.44	
5	14	10 x 20	78.54	23147	294.72	28.90	
6	14	10 x 20	78.54	24073	306.51	30.06	
7	14	10 x 20	78.54	23150	294.75	28.91	
8	14	10 x 20	78.54	23072	293.76	28.81	
9	14	10 x 20	78.54	23815	303.22	29.74	
10	14	10 x 20	78.54	23499	299.20	29.34	

TIPO DE CURADO: SUMERGIDO EN AGUA

Comentarios

El hormigón fabricado con Tonalita (fragmentada producto de una trituradora de impactos) como árido fino, se sometió a un curado sumergido en agua por 14 días. Tiene una resistencia promedio a la compresión de **297.65 kgf/cm²**, una densidad promedio de **2.35 g/cm³** y un asentamiento de **7 cm**.
 La sección de los cilindros de **78.54 cm²**, es un valor aproximado.