



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

**Caracterización de áridos de materiales de construcción del
cantón Loja**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Gordillo Ordóñez, Juan Carlos

DIRECTOR: Soto Luzuriaga, John Egverto, M.Sc

CO-DIRECTOR: Tapia Chávez, Ángel Guillermo, M.Sc

LOJA – ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magister.

John Egverto Soto Luzuriaga.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **“Caracterización de áridos de materiales de construcción del cantón Loja”** realizado por Juan Carlos Gordillo Ordóñez, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, enero de 2017

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Juan Carlos Gordillo Ordóñez declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **Caracterización de áridos de materiales de construcción del cantón Loja**, de la Titulación Geología y Minas, siendo John Egverto Soto Luzuriaga director del presente trabajo; eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f

Juan Carlos Gordillo Ordóñez

110468725-4

DEDICATORIA

Aquella *Fuerza Superior* que me ha permitido llegar hasta este punto a lo largo de mi vida y haberme dado la salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor en cada uno de los detalles en los que he sentido su presencia y majestad, *Dios*.

Por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

AGRADECIMIENTO

Como autor no hubiese podido llegar a culminar mi trabajo de fin de titulación sin la ayuda de personas incondicionales de voluntad e instituciones que han facilitado este proyecto para acabar en feliz término.

Dejo constancia de mi profundo agradecimiento a:

Mis padres por su incondicional ayuda económica y emocionalmente; de manera especial al Ing. John Soto L. Director y al Ing. Ángel Tapia Co-Director de tesis, a los docentes de la facultad de Geología y Minas por su buena voluntad y apoyo en la formación de profesionales de excelencia y a todas las personas que en colaboración me han ayudado a llegar al punto final de la presente investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVOS	7
CAPÍTULO I.....	8
1.1 Caracterización geológica	9
1.2 Ubicación geográfica.....	12
1.3 Climatología	16
1.4 Relieve	17
1.5 Hidrografía	18
1.6 Geología regional.....	18
CAPÍTULO II.....	21
2.1 Canteras	22
2.1.1 Canteras en cuanto a la Ordenanza Municipal de Loja.....	22
2.2 Concesión minera	23
2.2.1 Políticas de concesión por parte del Municipio de Loja.....	23
2.3 Áridos.....	24
2.4 Clasificación de áridos	26
2.4.1 Según su aplicación.....	27
2.4.2 Según su modo de extracción	27
2.4.3 Según su forma	27
2.4.4 Según la nomenclatura de su granulometría.....	27
2.5 Yacimientos de áridos naturales	29
2.6 Propiedades de los áridos.....	30
2.6.1 Propiedades físicas	30
2.6.2 Propiedades mecánicas	36
2.6.3 Propiedades químicas	37
2.6.4 Propiedades térmicas	40

2.7	Mineralogía de los áridos	41
2.8	Áridos y su especificación en el uso de la construcción de obras civiles e infraestructura.	42
2.9	Controles de calidad	43
CAPÍTULO III.....		45
METODOLOGÍA.....		45
3.1	Investigación de campo.....	47
3.1.1	Controles de calidad en obra y plantas de explotación	48
3.2	Características de las zonas de estudio	49
3.2.1	Concesión Minera 1. “Junior” JR_001.....	49
3.2.2	Concesión Minera 2 “San Juan” SJ_002.....	49
3.2.3	Concesión Minera 3 “Sol_003”	50
3.3	Muestreo de los áridos	51
3.3.1	Toma de muestras	52
3.4	Análisis de Laboratorio.....	53
3.4.1	Ensayo de Granulometría	53
3.4.2	Ensayo de Abrasión (Porcentaje de desgaste)	53
3.4.3	Densidad Relativa y capacidad de absorción del árido fino (estado SSS) 54	
3.1.1	Densidad Relativa y capacidad de absorción del árido grueso (estado SSS) 55	
3.1.2	Determinación de la masa unitaria del árido grueso/fino (Densidad Aparente).....	56
3.1.3	Hormigón de cemento hidráulico: Determinación del asentamiento.....	57
3.1.4	Hormigón de cemento hidráulico: Elaboración y curado de especímenes para ensayos	58
3.1.5	Hormigón de cemento hidráulico: Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.	59
CAPÍTULO IV		60
4.1	De granulometría	61
4.2	De Abrasión	65
4.3	De Contenido de Humedad.....	66
4.4	De la Densidad relativa y capacidad de absorción del árido fino.	67
4.5	De la Densidad relativa y capacidad de absorción del árido grueso.....	68
4.6	De la Masa unitaria, peso volumétrico o densidad aparente del árido fino. 69	
4.7	De la Masa unitaria, peso volumétrico o densidad aparente del árido grueso. 70	
4.8	Del Análisis petrográfico.....	70
4.9	Del Diseño de mezcla de concreto.....	71

4.9.1	Resistencia.- determinación de la resistencia media requerida.....	72
4.9.2	Determinación de la relación agua cemento a/c.	73
4.9.3	Elección del revenimiento o asentamiento.....	74
4.9.4	Contenido de agua.	75
4.9.5	Contenido de material cementante.	76
4.9.6	Cálculo de volúmenes	77
4.9.7	Valores de dosificación final por m ³	80
4.9.8	Valores de dosificación corregida por absorción.....	81
4.9.9	Valores de dosificación para tres cilindros	82
4.10	Hormigón de cemento hidráulico: determinación del asentamiento.....	83
4.11	Hormigón de cemento hidráulico.- elaboración y curado de especímenes para ensayo.	83
4.12	Hormigón de cemento hidráulico.- determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.	85
4.13	Análisis de roturas de falla.	86
CONCLUSIONES		89
RECOMENDACIONES.....		91
BIBLIOGRAFÍA.....		92
ANEXOS.....		94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Consumo de áridos.	26
Tabla 2.	Nomenclatura de fracciones granulométricas	28
Tabla 3.	Escala de dureza de Mohs.	33
Tabla 4.	Minerales reactivos perjudiciales y materiales sintéticos.....	41
Tabla 5.	Módulos de finura obtenidos en el laboratorio.	63
Tabla 6.	Límites granulométricos del agregado fino.....	63
Tabla 7.	Clasificación de arena de acuerdo a su módulo de finura.	64
Tabla 8.	Resultados granulométricos del agregado grueso obtenidos en el laboratorio. 64	
Tabla 9.	Resultados de abrasión. (Porcentaje al desgaste).....	65
Tabla 10.	Resultados de densidad relativa y capacidad de absorción (agregado fino). ...	67
Tabla 11.	Resultados de densidad relativa y capacidad de absorción (agregado grueso).	68
Tabla 12.	Resultados de masa suelta y compacta (agregado fino).	69
Tabla 13.	Resultados de masa suelta y compacta (agregado grueso).	70
Tabla 14.	Análisis petrográfico obtenido en laboratorio.....	70
Tabla 15.	Resistencia a la compresión media requerida	73
Tabla 16.	Dependencia entre la relación agua-cemento y resistencia a la compresión del concreto.	73
Tabla 17.	Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.....	74
Tabla 18.	Cantidad de agua y % aire para la dosificación del presente trabajo de investigación.....	75
Tabla 19.	Requisitos aproximados de agua, mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y TMN del agregado.....	76
Tabla 20.	Cantidad de agua, relación a/c y cantidad de material cementante calculado. .	77
Tabla 21.	Requisitos mínimos de material cementante para concreto en superficies planas.	77
Tabla 22.	Resultado del cálculo de volúmenes.....	77

Tabla 23. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.....	78
Tabla 24. Valores de dosificación por m ³ calculados.....	80
Tabla 25. Valores calculados de dosificación corregida por absorción.	81
Tabla 26. Valores de dosificación sin corrección.....	82
Tabla 27. Valores de dosificación corregida por absorción.	82
Tabla 28. Resultados de asentamientos obtenidos en laboratorio.....	83
Tabla 29. Dimensiones de los cilindros de ensayo	85
Tabla 30. Resistencia con carga aplicada a los 7 y 28 días.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Caracterización geológica de la concesión minera “Junior”	9
Figura 2. Caracterización geológica de la concesión minera “San Juan”	10
Figura 3. Caracterización geológica de la cantera “Solamar”	11
Figura 4. Mapa de ubicación geográfica de la concesión minera: a) “Junior”, b) “San Juan” y c) “Solamar”.	14
Figura 5. Morfología de los áridos.....	30
Figura 6. Granulometría JR_001 del agregado fino.....	61
Figura 7. Granulometría SJ_002 del agregado fino.....	62
Figura 8. Granulometría Sol_002 del agregado fino.....	62
Figura 9. Modelos típicos de fractura.	86
Figura 10. Preferencias del material de procedencia.....	95
Figura 11. Modelo de encuesta aplicada.....	98
Figura 12. Resultados de encuesta aplicada.....	101
Figura 13. Resultados de los cilindros de hormigón sometidos a resistencia.....	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Recolección de muestras.....	51
Ilustración 2. Recolección, etiquetado y reducción de muestras.....	51
Ilustración 3. Separación de material fino del grueso.....	52
Ilustración 4. Análisis granulométrico.....	53
Ilustración 5. Ensayo de abrasión (porcentaje de desgaste).....	53
Ilustración 6. Densidad relativa (árido fino).....	54
Ilustración 7. Densidad relativa (árido grueso).....	55
Ilustración 8. Determinación del asentamiento.....	57
Ilustración 9. Elaboración de especímenes para ensayos.....	58
Ilustración 10. Determinación de la resistencia a la compresión. (210 Kg/cm ²)	59
Ilustración 11. Análisis petrográfico (JR_001; SJ_002 Y SOL_003).....	71
Ilustración 12. Elaboración y curado de cilindros de hormigón.....	84
Ilustración 13. Rotura de fallas. a) tipo2 y b) tipo4.....	87
Ilustración 14. Rotura de fallas. a) tipo 2 y b) tipo4.....	87
Ilustración 15. Rotura de fallas. a) tipo 4 y b) tipo 5.....	88
Ilustración 16. Contenido de impurezas.....	102
Ilustración 17. Revenimiento o asentamiento (anexo).....	122
Ilustración 18. Material empleado para la elaboración de especímenes de cilindro.....	122
Ilustración 19. Mezcla de material luego de concretera.....	123
Ilustración 20. Elaboración de cilindros de hormigón.....	123
Ilustración 21. Desencofrado de cilindros de hormigón.....	124
Ilustración 22. Cilindros de hormigón puestos a curación en piscina de agua.....	124
Ilustración 23. Recubrimiento de azufre.....	126
Ilustración 24. Cilindros de hormigón sometidos a resistencia.....	126

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene por objetivo la evaluación e investigación de las propiedades físicas, mecánicas y petrográficas de los materiales pétreos empleados en obras de construcción en la ciudad de Loja. Además, la ciudadanía puede hacer uso de éste soporte técnico al momento de tomar decisiones para aprovechar la buena calidad de materiales de construcción destinados a obras civiles.

Los resultados obtenidos de la evaluación de los áridos fueron efectuados tomando en cuanto a la “Ordenanza Municipal para Regular, Autorizar y Controlar la Explotación y Transporte de Materiales Áridos y Pétreos en el Cantón Loja N°017-2014”. Éste método de evaluación se realizó en base a las Normas Técnicas nacionales e internacionales ASTM C 33, NTE INEN 872, EHE, NCh 163, Ministerio de Transporte y Obras Públicas M.T.O.P., NTE INEN 2536 y NTE INEN 2149.

En base a pruebas de laboratorio se determinó que los materiales de las tres concesiones mineras de esta investigación cumplen con los requisitos de las Normas Técnicas antes mencionadas y además son aceptables para la construcción de obras de infraestructura.

PALABRAS CLAVES: áridos, infraestructura, cantera, hormigón, pétreos, aluviales, dosificación, petrográfico.

ABSTRACT

The goal of this research paper is relate to investigation and evaluation of the physical, mechanical and petrographic material properties that are required in infrastructure of Loja. In addition, the citizens are able to use this technical support to make decisions about the advantage of the right quality materials of construction for building works.

The final results from the evaluation of the aggregates were done according to “Ordenanza Municipal para Regular, Autorizar y Controlar la Explotación y Transporte de Materiales Áridos y Pétreos en el Cantón Loja N°017-2014”. Besides, this method of evaluation was done considering the national and international technical regulations:” ASTM C 33, NTE INEN 872, EHE, NCh 163, Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador M.T.O.P., NTE INEN 2536 y NTE INEN 2149”.

Finally, the laboratory analysis determined that materials of three mining concessions accomplished the necessary requisites of technical norms, and the quality of materials are ruled in the constructions of infrastructure works.

KEY WORDS: stone material, concrete, alluvial, dosing concretes, quarry, petrographic.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el ser humano se ha visto en la necesidad de hacer investigación en el mundo que lo rodea, las asociaciones o grupos de personas que caminaban juntos por mantener la supervivencia de su especie han desarrollado los más grandes logros en cuanto a la construcción de viviendas. La búsqueda de un lugar seguro en donde sobrevivir ha sido su principal fuente de exploración para indagar sobre las edificaciones que hoy en día tenemos y que al pasar de los años se han ido modificando para bien, es decir; se han modernizado y gracias al avance de la ciencia y tecnología hoy en día tenemos la ventaja de poder edificar nuestras obras civiles con normas de eficacia que se caracterizan por la calidad y comodidad que pueden ofrecer al usuario.

El mundo es bastante competitivo y el día a día nos ofrece nuevas fuentes y alternativas para satisfacer nuestras necesidades en bienestar del hogar. La producción de áridos ha venido siendo una de las mayores industrias del mundo, esto se debe a que en la construcción de pequeñas y grandes obras se emplea un número altamente considerado de materiales pétreos para poder realizar obras como viviendas, carreteras, edificios, hospitales, vías férreas, hidroeléctricas, escuelas, etc.

Éste trabajo de investigación consiste en la evaluación de tres zonas consideradas como estratégicas, (denominadas con los siguientes códigos para la identificación del presente estudio: área 1: concesión “Junior” JR_001, área 2: concesión “San Juan” SJ_002 y área 3: concesión “Solamar” Sol_003), ubicadas en el cantón de Loja para la evaluación de materiales óptimos y de buena calidad como materiales de construcción destinados a la infraestructura de edificaciones dentro de la ciudad de Loja, así un material de bajo rendimiento y calidad se considerará como no eficiente para llevar a cabo dichas obras antes mencionadas.

Se ha considerado pertinente cuatro capítulos para llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto en donde se detallan las siguientes especificaciones: En el capítulo I se desarrollan las generalidades respecto a la problemática y la razón del por qué el tema propuesto para realizar investigación.

El capítulo II corresponde a los referentes teóricos que involucran la explicación detallada de los conceptos técnicos empleados. Dentro del capítulo III se describe la metodología empleada para llevar a cabo los objetivos generales y específicos propuestos en el presente trabajo. El capítulo IV precisa la recopilación de la información, trabajo de campo-laboratorio y obtención de resultados técnicos tanto de caracterización de los materiales pétreos, como de evaluación de estos materiales puestos en prueba a resistencia de compresión con dosificaciones mínimas para 210 kg/cm^2 . Y finalmente se puntualiza los resultados de las conclusiones.

El beneficiario directo de esta investigación es el autor de dicho proyecto y la Titulación de Geología y Minas de la UTPL, ya que aportará al conocimiento como profesional y al aporte de nuevos conocimientos dentro de la institución. De manera indirecta, los resultados obtenidos en la investigación servirán como contribuyentes para el conocimiento de la calidad de los materiales que explotan cada uno de los propietarios de las concesiones mineras. La respuesta a la problemática planteada fue dada en cuanto a la evaluación de cada uno de los parámetros y ensayos necesarios de los materiales pétreos empleados en cada una de las canteras para la obtención de hormigones de resistencia mínima para 210 kg/cm^2 .

Para poder llevar a cabo el presente trabajo de investigación se consideró como facilidades el posible acceso de vialidad a cada uno de los sectores considerados como estratégicos, la toma de muestras, la información recopilada y el uso adecuado del laboratorio de Geología e ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de un país y en especial sus intereses socio-económicos están directamente relacionados con la producción de los materiales de construcción. Para obtener una obra resistente y durable, esta debe cumplir con parámetros de buena calidad y evaluarse en base a normas nacionales e internacionales tomando en cuenta las actualizaciones de las mismas, así estas se verán calificadas para cumplir con la óptima calidad de un material utilizado en las obras de construcción como son: partículas limpias, agregados de alta resistencia, bien clasificados, durables, etc.

Mediante una encuesta aplicada en la ciudad de Loja a varios propietarios de viviendas en construcción, se pudo determinar que el material pétreo empleado para obras de infraestructura es solicitado de acuerdo a la variable de calidad y pureza de los mismos. Siendo de esta manera, el material de preferencia aquel que se encuentra lejos de las zonas urbanas de cualquier ciudad, pueblo o región donde el aluvial al cursar la urbe lleva consigo materiales considerados como contaminantes y perjudiciales, que de cierta manera afectan en la calidad de los áridos empleados para la construcción de viviendas.

En la ciudad de Loja y el cantón se ha demostrado que el material utilizado en las obras de construcción y obras viales no cumple con parámetros de alta calidad siendo materiales de muy baja resistencia (Chillo Gallo & Jiménez, 2005). Razón por la cual se realiza esta investigación, en donde el árido de las concesiones mineras del cantón Loja con mayor demanda para la construcción, se evalúa en base a las normas ASTM C33, INEN 782, EHE y NCh 163, que establecen los requerimientos mínimos que el material árido debe cumplir para obtener un hormigón compacto y trabajable.

El objetivo es evaluar tres zonas estratégicas de concesiones mineras ubicadas en los ríos de la parte Sur, Centro y Norte de la ciudad de Loja, de esta manera en base a ensayos y análisis de laboratorio se pretende determinar la calidad del material antes de pasar por la ciudad, en la ciudad y fuera de ella mucho más al norte siguiendo el cauce de corrientes hidrológicas.

La relación establecida determinará cuáles son los parámetros y en qué calidad encontramos el material dentro de estas tres zonas que la ciudadanía se abastece para necesidades de construcción e infraestructura.

(Kosmatka et al., 2004) Los materiales pétreos empleados en las obras de infraestructura, al no cumplir con las especificaciones según su finalidad de aplicación, pueden provocar el deterioro de los elementos estructurales; en el hormigón fresco existe posibilidad de presentarse problemas en cuanto al trabajo, la segregación, cambio de volumen, expansión y mala adherencia entre la pasta y el árido, en el hormigón endurecido se pueden presentar fisuras y obtener mezclas de baja resistencia.

OBJETIVOS

Objetivo general

Caracterizar geotécnica y mecánicamente los materiales áridos de tres canteras del cantón Loja empleados en el uso de obras civiles.

Objetivos específicos

- Evaluar tres zonas estratégicas dentro del cantón Loja para determinar la calidad del material empleado en las obras de construcción.
- Caracterizar geológicamente las canteras a estudiar.
- Analizar y evaluar las propiedades físicas, petrográficas y mecánicas de los áridos empleados para la construcción.
- Elaborar y analizar pruebas de hormigón resistentes a la compresión simple (210 Kg/cm^2).

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1 Caracterización geológica

La caracterización geológica de un sector hace referencia a las formaciones geológicas, fallas y tipos de fallas geológicas, la disposición, dirección rumbo y buzamiento de estratos, la dirección con respecto al norte geográfico, etc. En el presente trabajo de investigación, tomando en cuenta el aspecto de que las concesiones mineras están situadas sobre depósitos aluviales, se consideró realizar una descripción geológica de las formaciones sobre las cuales se encuentran situadas dichas concesiones mineras o a su vez sobre la cuenca sedimentaria en la cual están ubicadas.

La concesión minera "Junior" situada al sur del cantón y provincia de Loja parroquia Malacatos, en el sector de Valladolid, se encuentra ubicada en la cuenca sedimentaria de Malacatos sobre la Unidad Chiguinda, en contacto con la formación "Loma Blanca" y parte de depósitos coluvio-aluviales y depósitos aluviales que son acarreados por el principal afluente que es el río "Solanda", el mismo que a su vez recibe contribución de depósitos aluviales por la unión del río Chonta y la quebrada Chontiles, como se observa en la figura 1.

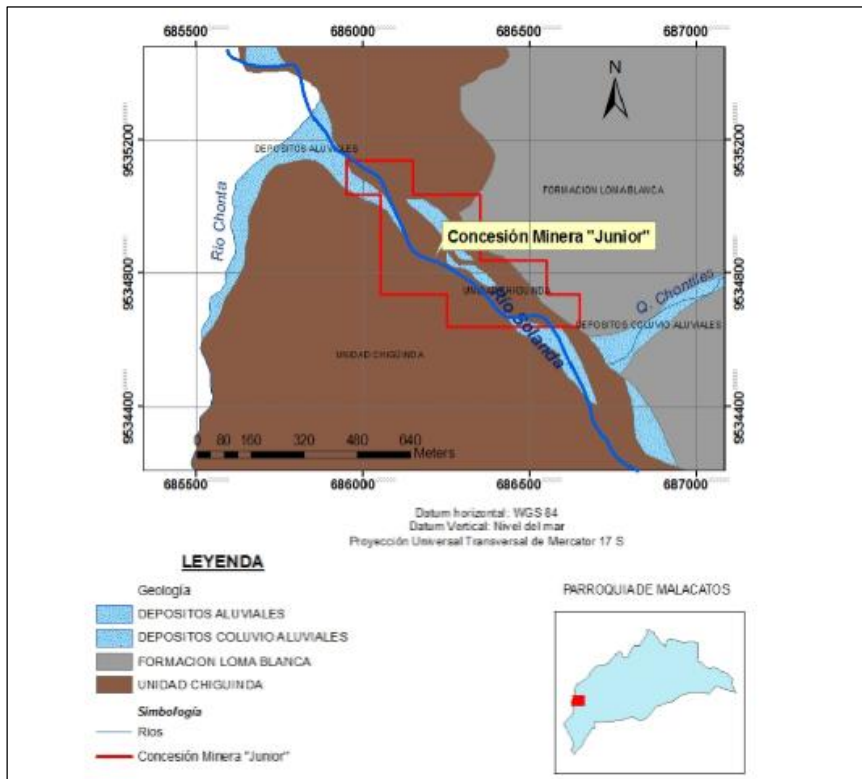


Figura 1 Caracterización geológica de la concesión minera "Junior"

Fuente: DGMIC-IGM.
Elaboración: El autor

La concesión minera “San Juan” se encuentra situada al norte de la ciudad de Loja en el barrio del mismo nombre, en la cuenca sedimentaria de Loja sobre la unidad Chiguinda y parte de depósitos coluviales como se muestra en la figura 2.

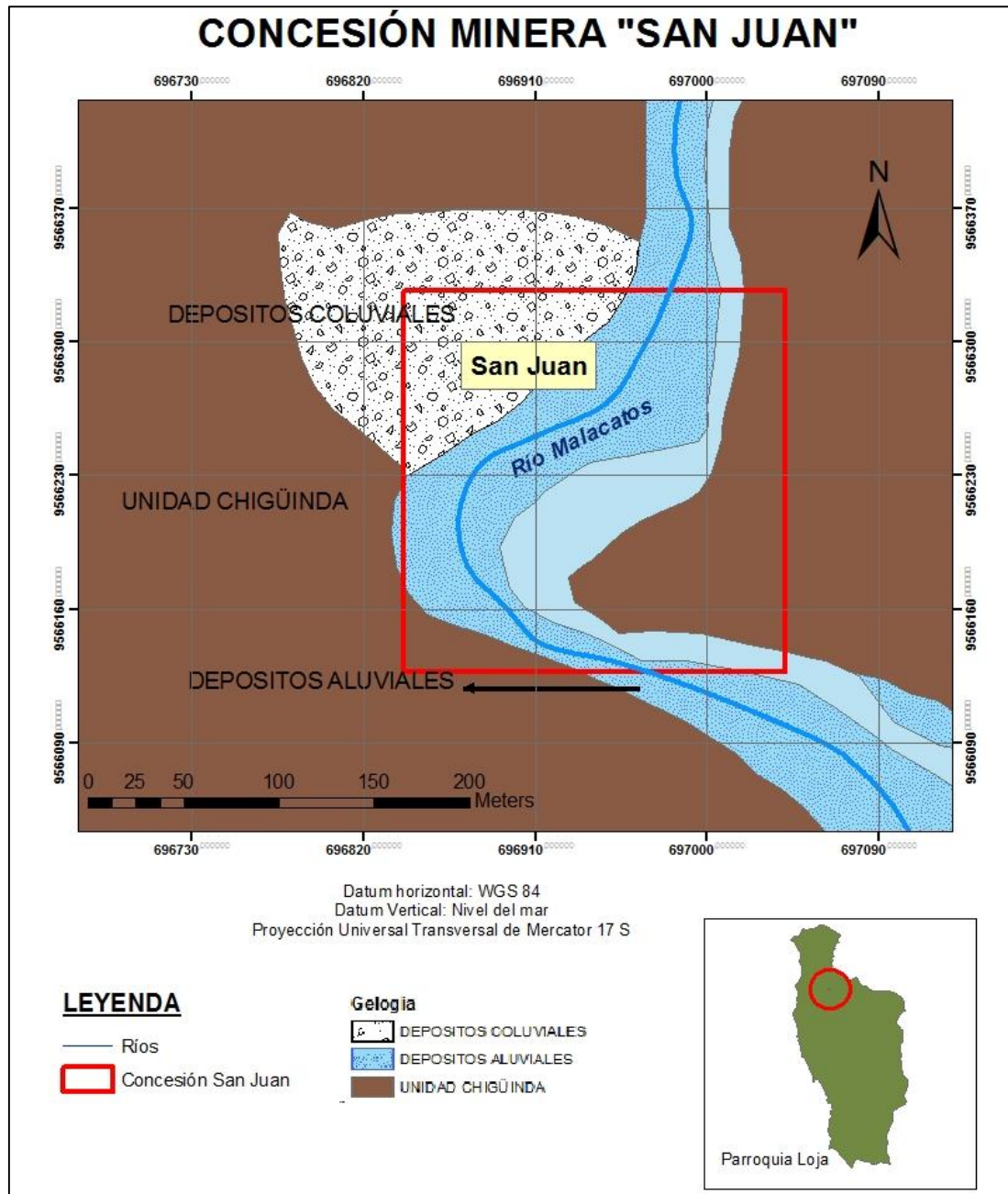


Figura 2. Caracterización geológica de la concesión minera “San Juan”

Fuente: DGMIC-IGM.
Elaboración: El autor.

La tercera concesión minera “Solamar” se ubicada sobre el contacto de la Unidad Chiguinda y el Intrusivo de “San Lucas” como se observa en la figura 3.

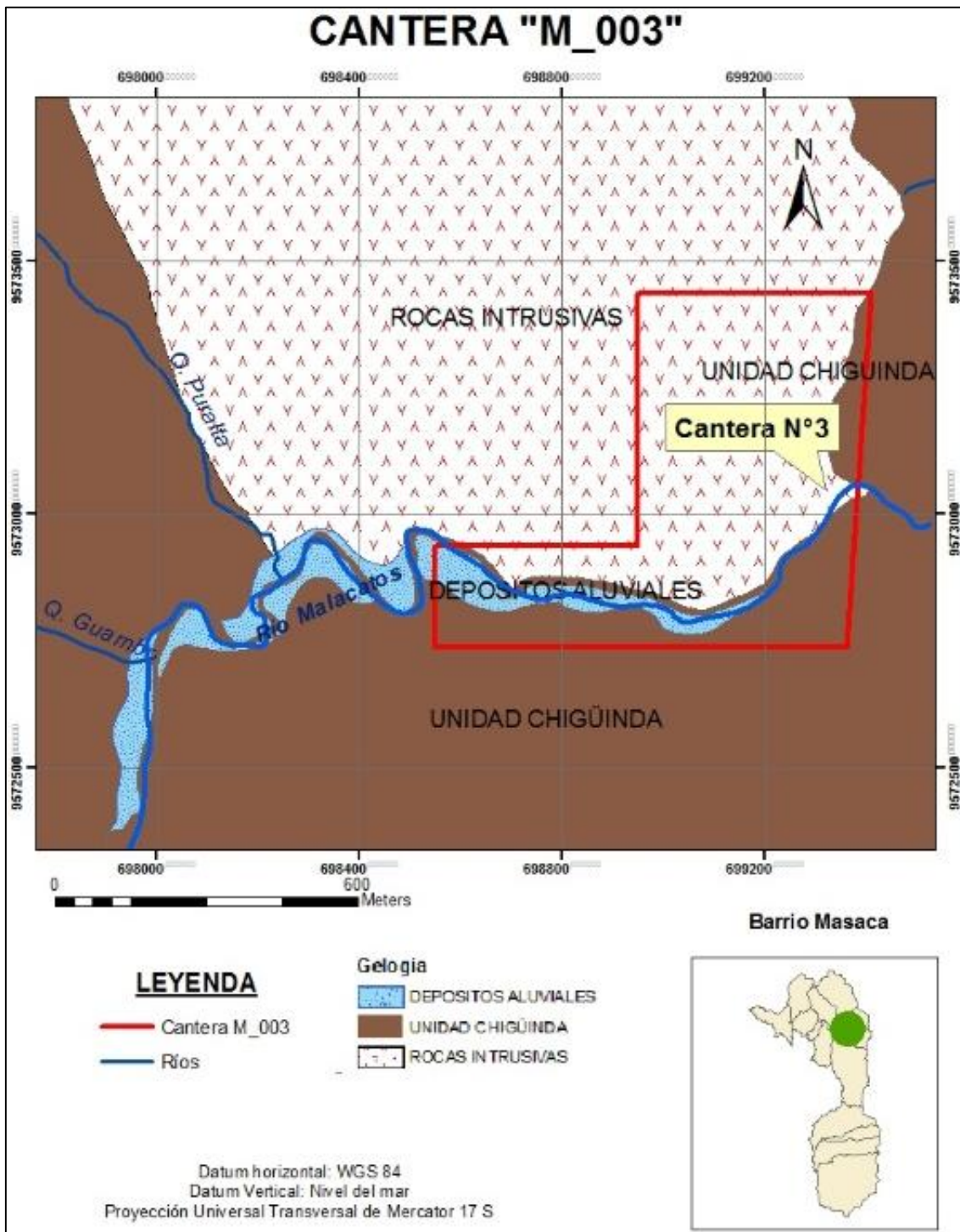


Figura 3. Caracterización geológica de la cantera “Solamar”

Fuente: DGMIC-IGM.
Elaboración: El autor

1.2 Ubicación geográfica



Figura 4.a). Mapa de ubicación geográfica de la concesión minera: "Junior"

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CONCESIÓN MINERA "SAN JUAN"

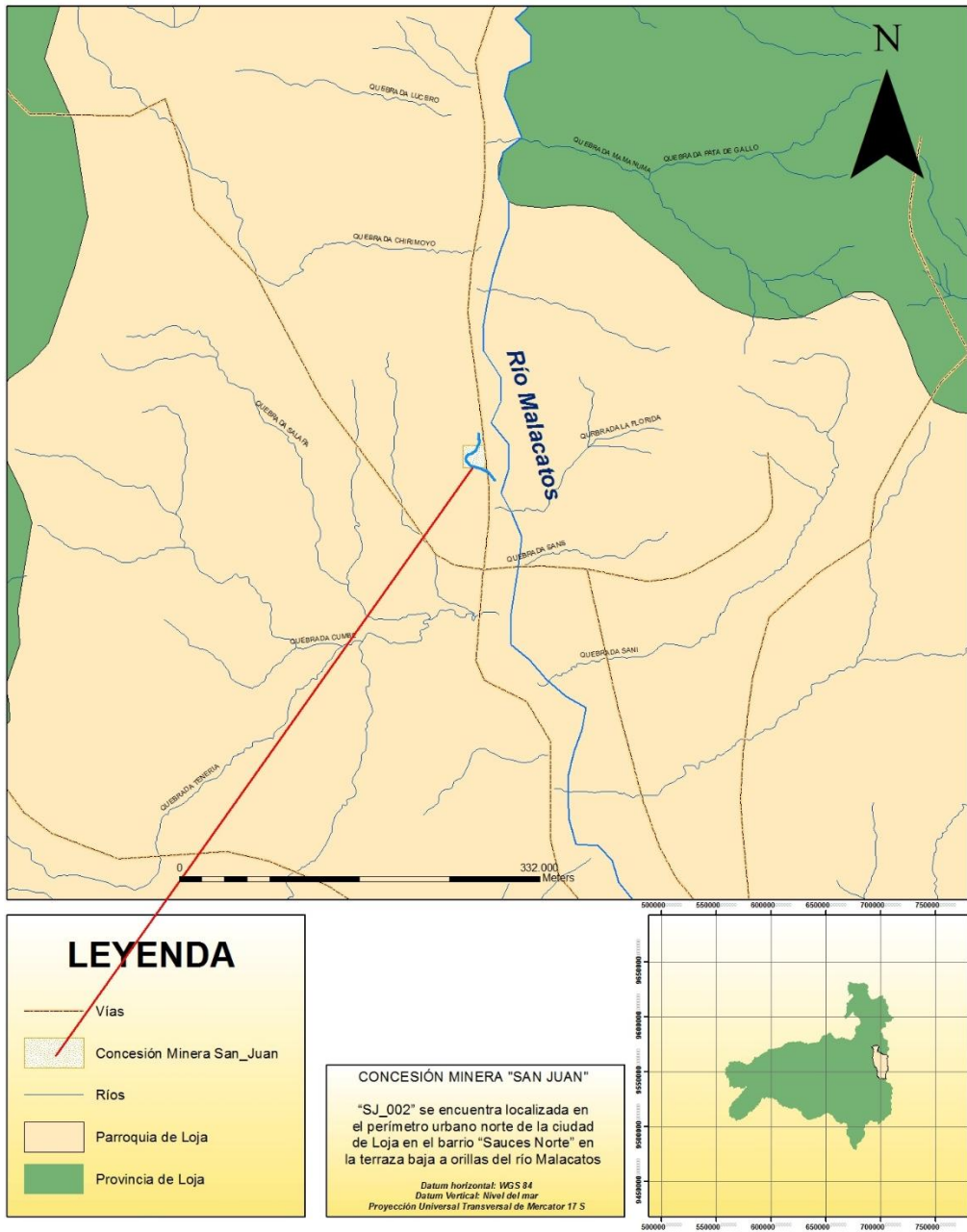


Figura 4.b) Mapa de ubicación geográfica de la concesión minera "San Juan"

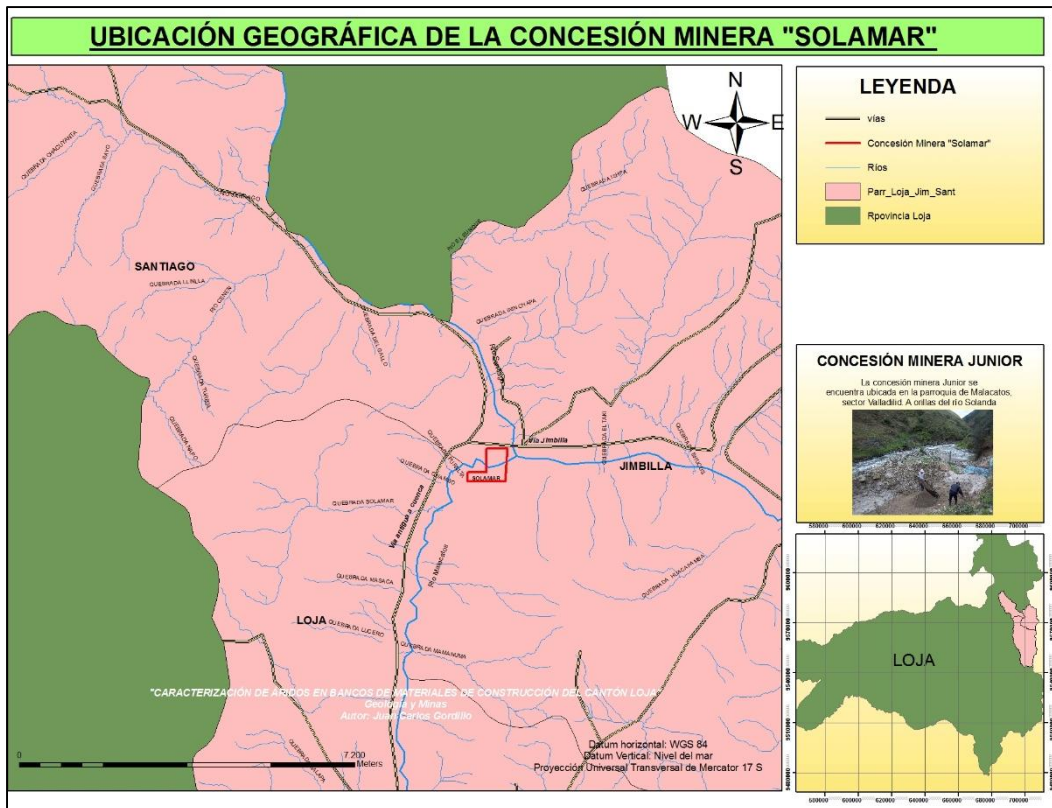


Figura 4.c) Mapa de ubicación geográfica de la concesión minera "Solamar".
Fuente: DGMIC-IGM.
Autor: El autor

La concesión minera "JR_001" para el presente trabajo de investigación y de código 600524 otorgado por el Municipio de la ciudad de Loja con permiso para la explotación de materiales de construcción, se encuentra localizada en la parroquia de Malacatos, sector Valladolid, titulada por PETMINSUR CÍA. LTDA., con una superficie de 181 m^2 , las vías de acceso tienen un amplio sendero para llegar hacia la mina como se observa en la figura 4a.

Coordenadas:

- X: 685945; Y: 9535125; H: 1470 msnm.
- X: 686636; Y: 9534631; H: 1477 msnm.

La segunda concesión minera "San Juan" con código 1101012 otorgado por el Municipio de Loja bajo la etiqueta de "SJ_002" para el presente trabajo de investigación, en la actualidad cumple con la fase de minería artesanal en la provincia y cantón de Loja localizada en el perímetro urbano norte de la ciudad, en el barrio San Juan, en la terraza baja a orillas del río Zamora, se trata de un afluente hidrológico que pasa sobre la formación Chiguinda. Actualmente se encuentra realizando trabajos de explotación de materiales para la construcción.

Su localización se encuentra entre las coordenadas:

- X: 696889; Y: 9566279; H: 1994 msnm.
- X: 696920; Y: 9566295; H: 1997 msnm.

Actualmente ésta concesión minera cuenta con los estándares y permisos de funcionamiento por parte del Municipio de Loja para explotar materiales pétreos. En esta área se trabaja con una sola zaranda para abastecer la comercialización diaria de 4-5 viajes de volquetadas de material. Esta concesión minera expende materiales como arena fina y gruesa, grava, piedra, etc., todo en cuanto respecta a materiales áridos para la comercialización dentro y fuera de la ciudad.

El material que es extraído directamente del río (promedio de 15 viajes de volquetadas) demora de dos a tres días para obtener dos volquetadas de material ya clasificado. El personal con el que actualmente se encuentra en funcionamiento es de 20 personas. La maquinaria utilizada dentro de esta concesión minera cuenta de una gallineta, cinco volquetas. El material únicamente puede ser expendido bajo el régimen de guía otorgado por el municipio de Loja. En el sector se puede apreciar una buena señalización. En invierno el material se torna un poco más claro que en verano, cuando existe escases de material para explotar, la propietaria se ve en condiciones de ordenar la explotación de los bancos en donde se acumula gran cantidad de material. Dentro de la comercialización el material de grava y piedra es el más solicitado para la ciudadanía dentro de esta concesión minera.

El tercer punto estratégico para el presente trabajo de investigación denominado bajo la etiqueta de "Sol_003" se trata de un sector de minería artesanal en donde actualmente se realizan muy pocos trabajos de explotación de materiales para la construcción, esto debido al estado aún "inscrito" del permiso de funcionamiento otorgado por ARCOM a los propietarios del terreno situado a orillas de la unión de los ríos Santiago y Zamora, tiene una superficie de 36,67 has, se trata de una asociación de trabajadores del barrio "Masaca". El terreno se encuentra ubicado entre el sector "Los Encuentros" y "Solamar" a 45 minutos al norte de la ciudad de Loja al contacto de la formación Chiguinda del terciario que contiene rocas metamórficas del basamento de la cuenca de Loja y el intrusivo de granodioritas características de San Lucas.

El lugar es característico por ser una zona de bastante relieve con abundancia de cobertura vegetal, es una zona de riesgo por ser característica de deslizamientos, las arterias viales son de un solo carril y no poseen cobertura asfáltica como se observa en la figura 4c.

Esta cantera se encuentra ubicada dentro de las siguientes coordenadas:

- X: 699322; Y: 9573047; H: 1884 msnm.
- X: 698549; Y: 9572747; H: 1884 msnm.

En la actualidad los propietarios explotan de entre 1-2 volquetadas a los 3 o 4 días. El material explotado más común en esta cantera es de arena, grava y piedra; con destino a la ciudad de Loja. La maquinaria utilizada es una gallineta y una volqueta.

1.3 Climatología

En cuanto a la concesión minera “Junior” (JR_001) localizada al sur de la ciudad de Loja en la parroquia de Malacatos, ésta es característica por poseer un clima subtropical – seco con temperaturas promedio de 20,6°C. En la parroquia de Malacatos, una de sus principales fuentes del comercio es la explotación de materiales pétreos destinados a la construcción que se encuentran concesionadas a lo largo de los ríos de esta parroquia. La concesión minera “San Juan” ubicada en el barrio del mismo nombre de la ciudad de Loja se considera por ser un clima ecuatorial templado y subhúmedo. Además en este sector se registran temperaturas promedio de aire de 16°C. Generalmente caluroso en el día y frío-húmedo por las noches. Los meses de menor temperatura son de junio a septiembre, el mes de julio es considerado como el más frío.

Junio y julio es la temporada donde se registra la mayor cantidad de lluvias del oriente con vientos constantes, es por tal razón que se la considera como “temporada del viento”. Es esta temporada es en dónde los propietarios de concesiones mineras ubicadas en los ríos de la ciudad de Loja tienen mayor demanda de explotación y comercialización debido a que los afluentes hidrológicos acarrear consigo gran cantidad de material aluvial. Los meses de septiembre a diciembre presentan temperaturas medias un poco más altas. Pero es en estos meses que se han registrado las temperaturas exageradas más bajas. Exclusivamente en noviembre se registra el 30% de las temperaturas más bajas del año.

Loja conserva un microclima característico, el sector nor-oriental es más cálido que el área urbana y es precisamente éste el punto donde se encuentra ubicada concesión minera N°2. La temperatura de la ciudad en los últimos años se ha elevado en 0,7 °C, registrándose las temperaturas más altas que han llegado a los 30 °C.

La tercera concesión minera ubicada en el sector de Los encuentros en la unión de los ríos Zamora que proviene de la ciudad de Loja y el río Santiago proveniente de la parroquia con el mismo nombre con temperaturas fluctuantes entre 12 y 14 °C. Está situada a 45 minutos de la ciudad de Loja. Esta zona es característica por poseer un clima templado-húmedo. Posee clima Ecuatorial Mesotérmico semi-húmedo. (Municipio de Loja, s.f.)

1.4 Relieve

La concesión minera “Junior” (JR_001) al encontrarse ubicada sobre los depósitos aluviales del río Solanda posee un relieve de terrazas bajas, es por ello que el material acumulado en dichas terrazas es aprovechado para la explotación de materiales pétreos. En cuanto al relieve de la parroquia Malacatos (Valladolid) es característico por poseer zonas montañosas con altos relieves y a la vez contiene micro cuencas o valles de depósitos sedimentarios, en el sector se puede presenciar llanuras de terrazas o mesetas de depósitos aluviales acarreados por las corrientes hidrológicas. En cuanto al relieve de la concesión minera “San Juan” (SJ_002) ubicada en el barrio del mismo nombre de la ciudad de Loja describe un zona baja de relieves ya que el aluvial ha formado terrazas altas, medias y bajas en el sector, además este lugar forma parte de la cuenca intra-montañosa de la ciudad de Loja.

El sector en donde se encuentra ubicada la concesión minera “Solamar” (Sol_003) se caracteriza por tener un relieve de tipo montañoso con altas pendientes y cimas agudas con valles en “V” abiertos, esta es una de las principales características de las formaciones que integran parte de la cordillera de los Andes, se pueden observar varios deslizamientos a lo largo de los cortes de la vía antigua a Cuenca y parroquia Jimbilla.

1.5 Hidrografía

La hidrografía del área 1 “Junior” es característica por los afluentes hidrológicos del río Solanda que a la vez recibe aporte de la quebrada Chontiles y el río Chonta con dirección sureste-noroeste. El área 2 “San Juan” es una concesión minera que recibe aporte por los afluentes hidrológicos que en la Puerta de la ciudad de Loja se unen los ríos Malacatos y Zamora Huayco, al término de la unión esta conserva el nombre de Río Zamora, éste río constituye el eje principal de la hoya, nace en el nudo de Cajanuma a 3.400 m.s.n.m. Su curso en la parte baja del valle tiene una pendiente de 1,2% y una longitud de 14 km hasta la unión con el Zamora Huayco. En su recorrido, recibe varios afluentes primarios y secundarios que nacen de la misma cordillera Central de los Andes.

El área minera 3 “Solamar” conserva sus afluentes hídricos que resulta de la unión de los ríos Zamora y Zamora Huayco. Su caudal es importante porque al recibir el aporte de varios afluentes, entre ellos el Jipiro, en época de lluvias torrenciales desborda en la llanura al norte de la ciudad provocando daños a las áreas vecinas. Este río debe ser manejado con cuidado, respetando su curso natural. El río Zamora es el único en la provincia de Loja que nace en los flancos occidentales de la cordillera Central de los Andes y luego rompe la cordillera al norte de la ciudad de Loja, en el sector de Jimbilla y vierte sus aguas en la cuenca amazónica, a diferencia de otros ríos que fluyen hacia el occidente y pertenecen a la cuenca del Pacífico.

1.6 Geología regional

Para llevar a cabo la geología regional que abarque los tres puntos considerados como estratégicos en el presente trabajo de investigación, se evaluó de acuerdo a la ubicación de cada sector; en los mapas geológicos escala 1:1 000 000. Así, tenemos:

El área 1 “JR_001” se encuentra ubicada sobre la cuenca lacustre sedimentaria sin-orogénica de Malacatos formada a partir del mioceno, paralelamente cuando las cordilleras se levantan. La cuenca Malacatos tiene una edad promedio entre 5.3 – 23.03 Ma. Por último, en forma intercalada dentro de las columnas estratigráficas que constituye esta cuenca intramontañosa existen depósitos de piroclastos, lavas, aglomerados y tobas que son explotados como áridos, para satisfacer las necesidades

de la industria de la construcción (Paladines & Soto, GEOLOGÍA Y YACIMIENTOS MINERALES DEL ECUADOR, 2010). Esta cuenca contiene sus estratos subdivididos en las siguientes formaciones:

- Formación Chiguinda: Bordea la parte Sur de la cordillera, tiene 30Km de ancho, constituida al Oeste por rocas de metamorfismo bajo como filitas, esquistos sericíticos y cuarcitas. Al Este está constituida por rocas como metagranitos, gneises, gneises graníticos y migmatitas. Su potencia es de más de 100Km.

- Formación Loma Blanca: Constituida por una secuencia de rocas volcánicas, tobas aglomeráticas, tobas y flujos de lava andesítica yace de forma discordante sobre la Unidad Chiguinda. Donde hacia el Norte ocupan el ancho total de la cuenca, pero en dirección Sur, están cubiertas de sedimentos que le permiten aflorar solamente en una banda estrecha a lo largo del lado oeste de la cuenca. Su edad es del Oligoceno-Mioceno inferior.

El área 2 “SJ_002” se encuentra localizada sobre la cuenca sedimentaria terciaria de edad miocénica de Loja. Es una cuenca sin-orogénica formada a partir del mioceno constituida de dos sub cuencas, más profunda en la parte oriental, a la altura del río Malacatos, siempre hubo una pequeña divisoria entre la subcuenca oriental con la occidental la parte más profunda que subsidie se deposita la formación San Cayetano mientras al otro lado se deposita la formación Trigal, formación Lavanda y formación Belén, constituyendo una sola formación. Al depositarse la formación San Cayetano, Lavanda, Trigal y Belén, se produce un proceso de contracción, evento pre Quillollaco. Las rocas de la formación San Cayetano como están contra la cordillera incluso se forman fallas de empuje y pequeños pliegues. En cambio las rocas de la otra sub cuenca, la unidad Trigal, Lavanda y Belén se deforman en forma elástica, con discordancia se depositan encima la unidad Quillollaco, que son conglomerados que se depositan en ambiente de orilla de lago o continental. Estas cuencas intermontanas siempre son rematadas por conglomerados, con distinta granulometría, aumentando a medida que ascendemos en la columna estratigráfica, significa también que el levantamiento cada vez es más brusco, estos procesos son conocidos como procesos molásicos. (Paladines & Soto, Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador., 2010)

El área 3 “Sol_003” se encuentra ubicada sobre el contacto de la unidad Chiguinda y el intrusivo de cuerpo granítico de San Lucas. En el Plutón de San Lucas a lo largo del río Zamora en cierto punto la diorita está intruída por una granodiorita biotítica de grano medio la cual a su vez es recortado por diques delgados de andesita. En Las Juntas (954 788) el Plutón San Lucas presenta una estructura plana débil casi vertical con un rumbo de 075° que sugiere una cataclasis ligera. En algunos lugares los gneises bandeados indican la posibilidad de migmatización. La edad de las intrusiones es difícil de deducir debido a la edad incierta de las formaciones que ellos intruyen. Sin embargo, el intrusivo San Lucas da dos edades radiométricas de 61 millones de años y 63 m. a. (INIGEMM, s.f.)

CAPÍTULO II
PRINCIPIOS TEÓRICOS

2.1 Canteras

Una cantera es una explotación minera que generalmente se realiza a cielo abierto, de estas se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridos. Las canteras son explotaciones de pequeño tamaño en comparación con la minería a gran escala, aunque el conjunto de ellas representa, probablemente el mayor volumen de la minería mundial.

Los productos obtenidos en las canteras, a diferencia del resto de las explotaciones mineras, no son sometidos a concentración. Las principales rocas obtenidas en las canteras son los mármoles, granitos, calizas, pizarras, entre otras. Toda cantera tiene una vida útil, y una vez que esta se agota, el abandono de esta actividad puede generar varios problemas en el ámbito ambiental como por ejemplo la discriminación del paisaje.

2.1.1 Canteras en cuanto a la Ordenanza Municipal de Loja

Según la Ordenanza Municipal de Loja conforme al Plan de Ordenamiento Territorial “autoriza el aprovechamiento de agregados áridos y pétreos que se encuentren en lechos de los ríos, de acuerdo a las siguientes obligaciones”:

- a) Se dará prioridad a la explotación de canteras a cielo abierto de materiales áridos y pétreos, considerando un sistema técnico de explotación por terrazas descendentes, teniendo en cuenta los aspectos de seguridad y salud ocupacional. Las actividades se desarrollarán con responsabilidad social y ambiental con la finalidad de minimizar los riesgos de trabajo y el impacto ambiental causado por esta actividad.

- b) La explotación de materiales áridos y pétreos en los cauces de los ríos mayores se la realizará únicamente en los lugares que apruebe el Municipio, y previo a la construcción de azudes, muros de escollera, y bermas de seguridad con el propósito de proteger la erosión vertical y horizontal del cauce del río y las riberas de los terrenos colindantes del área autorizada.

c) La explotación de materiales áridos y pétreos en los cauces de los ríos y quebradas menores está permitida únicamente para la explotación artesanal, la misma que debe estar ajustada a las condiciones y regulaciones técnicas que establezca la Jefatura de Minas y Canteras.

d) La Municipalidad y las entidades del Estado y sus instituciones en forma directa o por intermedio de sus contratistas podrán explotar los materiales de construcción ubicados en los lechos de ríos, quebradas y canteras según lo establece la Ley de Minas en el Título IX De los Regímenes Especiales, Artículo 144, y el Reglamento General de la Ley de Minería en el Capítulo VI Libre Aprovechamiento de materiales de construcción para obra pública.

2.2 Concesión minera

Según (Anuario N° 29, 2006) “Una concesión minera es el conjunto de Derechos y Obligaciones que otorga el Estado y que confiere a una persona natural, jurídica o al propio Estado, la facultad para desarrollar las actividades de exploración y explotación del área o terreno solicitado”.

2.2.1 Políticas de concesión por parte del Municipio de Loja

La Ordenanza Municipal N° 017-2014 para Regular, Autorizar y Controlar la Explotación y Transporte de Materiales Áridos y Pétreos en el Cantón Loja, en su artículo 2 contempla “Es función del Municipio de Loja, elaborar y ejecutar el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y Políticas Públicas para regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos con criterios de calidad, eficacia, eficiencia y responsabilidad en los lechos de los ríos, lagos y canteras a favor de personas naturales o jurídicas”. Además la Ordenanza Municipal contempla que no se otorgarán autorizaciones municipales para la explotación de materiales áridos y pétreos en cuanto a:

a) Áreas de Parques Nacionales, Áreas Protegidas, reservas forestales, captaciones de agua cruda, canales de riego y redes de agua potable; y, zonas de amortiguamiento de los sectores detallados en este literal.

- b) En áreas de conservación por vulnerabilidad, deslizamientos, movimientos de masa, declaradas como tales por la autoridad competente en el tema.
- c) En el perímetro urbano ni en el perímetro de expansión urbana establecidos por el POUL, con la sola excepción de extracción de los materiales azolvados en los azudes y represas.
- d) En los sitios destinados a senderos ecológicos y a la actividad turística, declarados por el Municipio de Loja.
- e) En lugares, donde por la cercanía de la concesión, puedan verse afectadas vías de interconexión; previo informe técnico de la Jefatura de Minas y Canteras.
- f) La distancia mínima para establecer áreas de explotación de materiales áridos y pétreos cerca de las captaciones de agua cruda, canales de riego y redes de agua potable, será de 1 km.

2.3 Áridos

En el ámbito de la industria de la construcción y de la obra civil se denomina árido a una roca que tras un proceso de tratamiento industrial (simple clasificación por tamaños en el caso de los áridos naturales, o trituración, molienda y clasificación en el caso de los áridos de machaqueo), se emplean en la industria de la construcción en múltiples aplicaciones, que van desde la elaboración, junto con un material ligante (cemento portlan, cales hidráulicas, yesos, alquitrán, etc.), de hormigones, de morteros y aglomerados asfálticos, hasta la construcción de bases y sub-bases para carreteras, basaltos y sub-basaltos para las vías de ferrocarril o escolleras para la construcción de puertos marítimos.

Según Valencia (2004) el árido es un material granular que en la mayoría de los casos, ha de tener una distribución granulométrica adecuada según su campo de aplicación a ser utilizado. Mientras que, Sanz (2007) denomina al árido como un material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción. El árido a diferencia de otros materiales, se caracteriza por su estabilidad química y su resistencia mecánica además que por su tamaño.

El árido es aplicable en razón a su comportamiento estable frente a la acción química o agentes externos, así como a su resistencia mecánica frente a cargas y vibraciones. No se consideran como áridos aquellas sustancias minerales utilizadas como cargas en diversos procesos industriales por sus características físico-químicas que afectan al producto obtenido y a sus especificaciones Valencia (2004) (por ejemplo, calizas para cargas en la industria del papel), ni aquellas en cuyos procesos industriales no tiene que ver con la resistencia mecánica, sino la aportación del proceso que hace viable el producto (por ejemplo el caso de las calizas para cementos, cales, arenas silíceas para fabricación de vidrio, etc.).

En resumen, los principales campos de aplicación de estas materias primas son:

- Áridos para la preparación de hormigones. (construcción de obras de infraestructura).
- Áridos para la preparación de aglomerantes asfálticos.
- Basaltos, sub-basaltos y gravillas.
- Escolleras para la protección de obras portuarias, ríos y canales.
- Taludes de sostenimiento (pedraplanes).
- Rellenos y aplicaciones varias.
- Materias primas para la industria (cemento, vidrio, cal, cerámica, metalurgia, siderurgia, cargas, plásticos, arenas para filtros, etc.)

En cuanto al consumo de las principales aplicaciones de los áridos, éstas se encuentran en la tabla. N° 1.

Tabla 1. Consumo de áridos.

ARIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN (%)	
Hormigones, morteros y prefabricados	68,2
Carreteras	21,9
Balasto	2,1
Escollera	3,7
Otros usos	4
	100
Áridos industriales	
Fabricación de cementos	79,6
Fabricación de cales y yesos	4,1
Industrias del vidrio	4,5
Industria química básica	3,2
Metalurgia básica	3,6
Arenas de moldeo	1,1
Cargas	3,9
	100

Fuente: (ASTM C 33/AASHTO M6, COVENIN 277, IRAM 1512, Nch 163, NMX-C-111, NTC 174 y NTP 400.037)

Elaboración: El autor.

2.4 Clasificación de áridos

Los áridos según su origen pueden considerarse como natural, artificial o reciclado. El árido natural es aquel material que procede del laboreo de un yacimiento y que este a su vez ha sido sometido únicamente a procesos mecánicos. En cuanto a su forma se distinguen en redondeados o rodados y procedentes de machaqueo, esto es el resultado de la fracturación mecánica necesaria para su obtención.

Los áridos artificiales son aquellos procedentes de procesos industriales y a su vez han sido sometidos a alguna modificación físico-química o de otro tipo. En cuanto al árido reciclado, en términos generales, se trata del árido que resulta del reciclaje de residuos de demoliciones o construcciones y de escombros. (Comisión_Nacional_Áridos_Chile, 2001).

2.4.1 Según su aplicación

Se clasifica de acuerdo a sus distintos campos de aplicación o uso; como materia prima se emplea para la elaboración de diversos tipos de mortero, hormigón, mezclas y tratamientos asfálticos o a su vez como bases granulares. De manera inmediata, el árido es aprovechado para obras marítimas, capas granulares de rodadura, fluviales, terraplenes, escolleras, sub-bases granulares, drenes y rellenos estructurales.

2.4.2 Según su modo de extracción

Esta clasificación se basa en la procedencia artesanal y mecánica. La diferencia de este tipo de clasificación está en el equipo y maquinaria empleada para su obtención. La producción artesanal se caracteriza por emplear mano de obra, en donde el árido se clasifica en cuanto a su tamaño y cantidad. La producción mecánica está definida por la cantidad alta de volumen considerado de los áridos necesarios para obras de alta viabilidad técnica y económica, esta producción exige alta gama de equipos y maquinaria pesada que garantice un rendimiento de acuerdo a la demanda requerida.

2.4.3 Según su forma

Los áridos se clasifican de acuerdo a su redondez que pueden ser: partículas angulares, sub-angulares, redondeadas, sub-redondeadas y muy redondeadas. Según su esfericidad éstas pueden ser partículas cúbicas, elongadas, aplanadas y lajeadas. Finalmente en base a su textura superficial pueden ser de superficie lisa o corrugada. (Instituto_Nacional_Normalización, 1998)

2.4.4 Según la nomenclatura de su granulometría

(Valencia, 2004)

- Áridos para hormigones y morteros.
 - Arenas: 0-5 mm.
 - Gravas: 6-12 mm, 12-20 mm y 20-40 mm.

- Áridos para prefabricados.
Arenas: 0-3 mm y 0-5 mm.
Gravillas: 6-12 mm y 12-18 mm.
- Áridos para carreteras.
Material de relleno y plataforma.
Sub-base.
Base de gravas 14-60 mm y arena 0-4 mm.
Capa de rodadura (aglomerado asfáltico): 40% arena (0-5 mm),
60% grava (6-12 mm).
- Áridos para la construcción de vías férreas.
Gravas: 10-25 mm.
Basalto fino: 16-31,5 mm.
Basalto grueso: 25-50 mm.

La nomenclatura de las diferentes fracciones granulométricas varía según las zonas, Ortega (1993) cita de la que se recoge en la tabla N° 2. En general se denominan finos todos los elementos de tamaño inferior a 0,075 mm.

Tabla 2. Nomenclatura de fracciones granulométricas

Nombre	Intervalo (mm)
Morro	80 – 150
Grava gruesa	50 – 80
Grava media	40 – 60
Grava menuda	30 – 50
Gravilla	20 – 30
Garbancillo	5 – 20
Arena gruesa	2 – 5
Arena fina	0,05 – 2

Fuente Ortega (1993)

Elaboración: El autor.

2.5 Yacimientos de áridos naturales

En Geología un yacimiento es una formación en la que está presente una concentración estadísticamente anómala de minerales presentes en la corteza terrestre o litósfera. Los yacimientos de áridos naturales pueden provenir de dos tipos:

- Yacimientos de arenas, gravas y conglomerados.
- Yacimientos de rocas de cantera para áridos de machaqueo.

Procesos

Una obra de calidad y durabilidad requiere de un material óptimo a la hora de su construcción, esto depende principalmente de las propiedades del material con los que se ejecuta dicha obra. Por lo tanto exige tener una granulometría definida, buena clasificación, tamaño máximo o estar libres de finos, de esta manera, deben ser sometidos a varios procesos para su puesta en obra (Sanz, 2007):

- Limpieza: Es el proceso en el cual se retira las ramas, los finos y otros restos que pueda tener el material extraído directamente del río. En algunas instancias se suele humedecer el material por lo que esto implica además de un proceso de secado posterior, en caso de requerirlo.
- Triturado: Es el proceso que se sigue para conseguir el diámetro máximo necesario. Este proceso cuenta con tres etapas. En la primera el árido alcanza un diámetro de 2 cm, la segunda en la que se obtiene un tamaño entre 1,5 y 0,5 cm y la última es la que produce arenas.
- Clasificación: Dependiendo del diámetro se puede realizar con un cribado, si el diámetro es de 2 mm resulta más rentable usar separación hidráulica y neumática.

2.6 Propiedades de los áridos

La calidad de los áridos se basa en sus propiedades y de acuerdo a éstas se programa la firmeza y durabilidad en una obra. Las propiedades de los áridos pueden ser mecánicas, geométricas, térmicas, físicas y químicas.

Los áridos son materiales granulares inertes formados por fragmentos de roca o arenas utilizados en la construcción y en numerosas aplicaciones industriales. Dependiendo de la aplicación a la que se destinan, los áridos deberán reunir distintas características, estas características están asociadas a la naturaleza petrográfica y al proceso utilizado para la producción, entre las que destacan:

2.6.1 Propiedades físicas

Morfología

(Blázquez) Se define como laja a todo aquel árido cuyo espesor sea inferior a $\frac{3}{5}$ del tamaño medio de la fracción mineral correspondiente. Aguja es cualquier árido cuya longitud sea superior en $\frac{9}{5}$ al tamaño medio del árido. Otro aspecto morfológico que también influye en la resistencia de un árido es su **angulosidad**: si posee caras fracturadas con aristas vivas y una superficie rugosa presentará un mayor rozamiento interno, lo que hará al material más resistente mecánicamente.

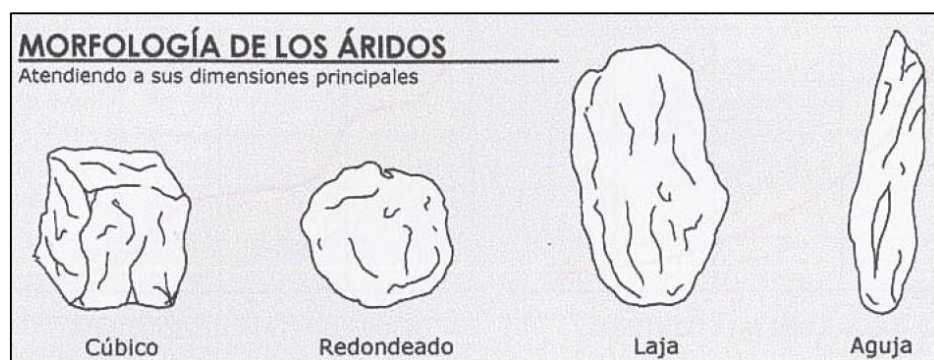


Figura 5. Morfología de los áridos.

Fuente Ortega (1993)

Abrasión y porosidad

Los áridos presentan poros tanto superficialmente como en su interior, en superficie facilitan el ingreso de la humedad. La cantidad y rapidez de penetración obedecen a las características que contengan los poros (continuidad, dimensión y volumen). La absorción de un árido se llama a la capacidad de adquirir agua o humedad a través de sus poros y se determina en base al porcentaje de peso perdido luego de ser secado al horno por un durante un día (24 horas). “Es preciso tomar en cuenta el estado del árido una vez que se lo utilice, ya que el agua contenida puede llegar a producir alteraciones en mezclas rígidas o flexibles que se fabriquen en obra” (Aduvire, y otros, 2003). El valor de absorción se determina de la siguiente forma:

$$Pa = 100 * \frac{B - A}{A}$$

En donde:

Pa= % de absorción del árido

A= masa seca del árido (gr).

B= masa en estado saturado.

Densidad

La densidad es medida a través de la cuantía de árido requerida en masa que se necesita para llenar una vasija con un volumen unitario específico. Las partículas con forma esférica o cúbica son características para obtener productos altos de densidades, lo que facilita la gradación del árido y a la vez disminuye el porcentaje de vacíos. La densidad se determina mediante la siguiente fórmula: (Sánchez & Gutiérrez)

$$M = \frac{G - T}{V}$$

En donde:

M= masa volumétrica (Kg/m^3).

G= masa de muestra + recipiente (Kg).

T= masa del recipiente (Kg).

V= volumen del recipiente (m^3).

Masa específica

(Kosmatka et al., 2004) “El valor de masa específica de un árido no incluye los vacíos entre sus partículas y se determina por medio del producto entre la masa específica relativa y la densidad del agua de 1000 kg/m³ de modo que el rango ideal de masa específica es de 2400 a 2900 kg/m³”. Para determinar la masa específica se considera la siguiente expresión:

$$Me = D * Mr$$

En dónde:

Me= masa específica.

D= masa específica del agua a 997,5 kg/m³.

Mr= masa específica relativa.

Humedad

Los áridos al encontrarse en los depósitos donde serán expendidos, se encuentran expuestos a agentes externos de humedad, como por ejemplo la lluvia. La humedad está relacionada con la capacidad de absorción, mediante el análisis de ésta es posible determinar si existe o no variaciones de mezclas en caso de ser utilizado como materia prima. Para un árido existen cuatro estados de humedad (Steven H. Kosmatka, 2004): Totalmente seco, seco, saturado & superficie seca y húmedo. La humedad se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$H = 100 * \frac{W - D}{D}$$

En dónde:

H= contenido de humedad (%).

W= masa de muestra húmeda (gr).

D= masa de muestra seca (gr).

Masa específica relativa

“Es el producto de la masa y la masa más agua con el mismo volumen absoluto, su valor se determina con el árido ya sea en estado seco o saturado superficialmente seco y se toma en cuenta para el diseño de mezclas rígidas. Se recomienda que la masa específica relativa de un árido esté en un rango entre 2.4 a 2.9, caso contrario este material presentará deterioro” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

$$Mr = \frac{A}{A - C}$$

En dónde:

Mr= masa específica relativa.

A= masa de muestra seca (*gr*).

C= masa de muestra en agua (*gr*).

Dureza

Una de las propiedades diagnósticas más útiles es la dureza, una medida de la resistencia de un mineral a la abrasión o al rayado. Esta propiedad se determina frotando una roca o mineral de dureza desconocida contra un mineral de dureza conocida. Puede obtenerse un valor numérico si se emplea la escala de Mohs, que consiste en diez minerales dispuestos en orden desde el 1 (más blando) al 10 (más duro), como se muestra en la tabla N° 3 (Edward, 2005).

Tabla 3. Escala de dureza de Mohs.

ESCALA DE DUREZA DE MOHS		
Dureza	Mineral	Comentario
1	Talco	La uña lo raya
2	Yeso	La uña lo raya con dificultad
3	Calcita	Se raya con una moneda de Cu
4	Fluorita	Se raya con cuchillo
5	Apatito	Se puede rayar difícilmente con cuchillo
6	Ortosa	Se raya con lija de acero
7	Cuarzo	Raya al vidrio
8	Topacio	Raya todos los anteriores
9	Corindón	Zafiros y rubíes son formas de corindón
10	Diamante	Solo el diamante lo raya

Fuente (Tarbuck & Lutgens, 2005)

Elaboración: El autor.

Contenido de vacíos

Alguna de las alteraciones en la proporción de la totalidad de los componentes de una mezcla es provocada por el contenido de vacíos de un árido y a la vez aumenta con la angulosidad y disminuye con la presencia de partículas bien gradadas de mayor tamaño o con áridos con una granulometría continua. La siguiente expresión es usada para determinar su valor:

$$V = 100 * \frac{((Mr * W) - M)}{S - W}$$

En dónde:

V= contenido de vacíos (%).

Mr= masa seca específica relativa.

M= masa específica del árido (Kg/m^3).

W= densidad del agua igual a $997,5 Kg/m^3$.

Abundamiento

Mediante el abundamiento se determina la expansión del árido en estado húmedo del cual se considera como reseña su masa en estado seco. Este fenómeno es producido por la tensión superficial del agua que hace que las partículas del árido se aparten, es decir; aumente su volumen. Mientras mayor es el contenido de humedad, mayor será el incremento de las partículas. El abundamiento a la vez obedece de la masa volumétrica del árido apisonado en estado sss de la masa volumétrica suelta en estado húmedo y de su contenido de humedad (Kosmatka et al., 2004).

$$A = \frac{A}{B - C}$$

En dónde:

A= masa volumétrica del árido apisonado y seco (Kg/m^3).

B= masa volumétrica del árido húmedo (Kg/m^3).

C= contenido de humedad del árido (%).

Permeabilidad

Es la capacidad que poseen las partículas de un árido para acceder el paso del agua a través de su superficie durante un tiempo determinado. “Los factores de presión interna y temperatura influyen directamente en el proceso ya que se pueden alcanzar valores máximos de permeabilidad en un árido conforme aumenta la presión interna de las partículas” (Aduvire, y otros, 2003). Se utiliza la siguiente fórmula para determinar la permeabilidad del árido en base al método de cabeza constante para el flujo laminar de agua a través de cada una de sus partículas:

$$K = \frac{Q * L}{A * t * h}$$

En dónde:

K = Coeficiente de permeabilidad en cm/s.

Q = Caudal descargado en cm³

L = Distancia entre manómetros en cm.

A = Área de la sección transversal del espécimen en cm².

T = Tiempo total de desagüe en s.

h= Diferencia de altura sobre los manómetros en cm.

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

Por otro lado, hay que hablar de una "permeabilidad intrínseca" (también llamada "coeficiente de permeabilidad"); como constante ligada a las características propias o internas del terreno. Y de una "permeabilidad real" o de Darcy, como función de la permeabilidad intrínseca más las de las características del fluido.

2.6.2 Propiedades mecánicas

Abrasión Resistencia al desgaste

La resistencia al desgaste se aplica al árido grueso y se considera como un factor bastante relevante en obras sujetas a agentes abrasivos como por ejemplo de carreteras. Para realizar este ensayo y determinar la resistencia al desgaste es necesario hacer uso de la máquina de los Ángeles en donde el material es sometido al desgaste en un tambor metálico con esferas de acero por un periodo de 15 minutos, así se determina de forma indirecta su resistencia mecánica, su valor se calcula en base al material que no ha sido disgregado al ser sometido a 500 revoluciones en dicha máquina. “El empleo de este método permite determinar la calidad de un árido y establecer así su posible aplicación en obras sujetas a abrasión”. (Aduvire, y otros, 2003) Se determina mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{A - B}{A}$$

En dónde:

V = Resistencia al desgaste por abrasión en %.

A = Masa total inicial del árido en gr.

B = Masa del árido después de ser sometido a desgaste en gr.

Resistencia al pulimiento

La resistencia al pulimiento es aquella resistencia que los áridos presentan al perder su rigidez en su textura superficial, esta propiedad se tomará en cuenta cuando un árido va a ser empleado en capas de rodadura en las cuales por acción del tráfico vehicular se pierde la forma de la superficie de las partículas, dicho deterioro depende de la intensidad del tráfico vehicular y se calcula mediante el ensayo británico de pulimento que establece la resistencia del árido a través de un coeficiente de pulido acelerado y que depende de la naturaleza petrográfica del material (Aduvire, y otros, 2003).

2.6.3 Propiedades químicas

Impurezas orgánicas

Según (Kosmatka et al., 2004). “Los áridos son materiales que no deben contener impurezas orgánicas, esto debido a que causan problemas como el retraso en el fraguado de mezclas rígidas, el endurecimiento e interfieren en la resistencia y durabilidad de una obra”. Generalmente las impurezas presentes en un árido son las turbas, humus y margas orgánicas. El contenido se determina diluyendo una muestra de árido en una solución de hidróxido de sodio (Na), esta se deja en reposo por durante 24 horas, si la muestra en reposo manifiesta una coloración un poco más oscura se confirma que existe la presencia de impurezas orgánicas.

Partículas livianas

Se considera como partículas livianas a aquellas que poseen densidad relativa baja o menor a 2 y que principalmente corresponden a componentes de madera, lignito, carbón, y materiales de áridos fibrosos.

Este tipo de partículas son aquellas que se deben evitar en cualquier proyecto de construcción debido a que provocan alteraciones en el desarrollo de su resistencia, así como desprendimientos, fisuras y manchas dentro de la obra. Se utiliza la siguiente fórmula para determinar su valor: (Kosmatka et al., 2004)

$$L = 100 * \frac{W1}{W2}$$

En donde:

- L = Porcentaje en masa de partículas ligeras en %.
- W1 = Masa seca de la partículas que flotan en *gr*.
- W2 = Masa seca de la muestra total inicial en *gr*.

Contenido de azufre y sulfuros

Aquellos áridos productos de la reciclación que hoy en día son aprovechados para emplearlos como materiales en el campo de la construcción, contienen compuestos perjudiciales de azufre. En países como España se emplea este tipo de materiales en estructuras de sub-base en carreteras razón por la cual es primordial determinar su contenido y características antes de su uso, así de esta manera se lograría evitar posibles problemas como daños en su estructura. El contenido de compuestos de azufre de los áridos se determina por digestión ácida y por combustión a elevadas temperaturas. La digestión ácida es aquella en la cual se logra determinar el contenido de azufre a partir de su transformación en sulfatos haciendo uso de ácido clorhídrico y peróxido de hidrógeno que luego son precipitados en forma de sulfato de bario.

Cloruros solubles en agua

Cuando los áridos se encuentran en contacto directo con aguas salinas o sumergidos en ellas, poseen cloruros que son nocivos debido al daño que estos causan a la estructura de una obra. Cuando el material es utilizado para la construcción de mezclas rígidas los cloruros influyen en el tiempo de fraguado, permiten el aumento de la contracción por secado, haciendo uso de acero reforzado, estos causan corrosión, provocando la presencia de eflorescencias o mancha superficiales que luego originan protuberancias.

Sulfatos solubles en agua y en ácido

El material árido que es extraído naturalmente del mar y reciclados contiene sulfatos que al igual que los cloruros afectan la eficacia y durabilidad de un elemento estructural. Los áridos reciclados son los que mayor contenido de sulfatos presenta, esto a causa de contaminantes como yeso presente en morteros de edificaciones.

Los áridos originados de obras que contienen contacto directo con aguas del mar también se consideran como áridos con un contenido elevado de sulfatos, se puede hacer uso únicamente de aquellos áridos reciclados cuando se haya determinado que el contenido de sulfatos no es perjudicial. (Kosmatka et al., 2004)

Reactividad Álcali-Sílice

Se considera como uno de los principales procesos de degradación o deterioro del hormigón a aquellos áridos con reactividad álcali-sílice originada por reacciones químicas entre el álcali aportado por el cemento y otros componentes silíceos reactivos que poseen los áridos.

Este tipo de reacciones por lo general generan un gel que se expande y genera presión a causa del agua absorbida por la pasta de cemento, la presión en continuo aumento llega a producir fisuras en el árido y a la vez en la pasta del cemento endurecida.

La reacción álcali-sílice además de fisuras genera hendeduras y erupciones de daños más graves aún, en pavimentos de hormigón se generan ondulaciones y roturas en forma de cuña, las fisuras sin embargo, se tienden a originar en forma paralela a la armadura con dimensiones que varían entre 2 a 3 cm.

Toda la masa de concreto se ve afectada una vez que se inicia la reacción del hormigón, de la misma forma actuaría el acero de reforzado ya que tiende a corroerse a causa de la humedad que ingresa por dichas fisuras y grietas generadas. (Kosmatka et al., 2004).

Reactividad Álcali-Carbonato

Cuando los agregados contienen combinaciones de rocas dolomíticas de cristales semiduros, frágiles y muy pesados se produce de manera directa la reactividad álcali-carbonato, este tipo de reacción se presenta con muy poca frecuencia por la razón de que las rocas de este espécimen no se consideran aptos para ser empleados como materiales de construcción debido a que su resistencia y propiedades físico-mecánicas resultan ineficientes para la industria de la construcción.

Los áridos que contienen dolomitas se caracterizan por mostrar sus granos cristalinos de forma porosa y terrosa, poseen una dureza de 3.5 - 4 en la escala de Mohs, con una densidad relativa de 2.9, son características por poseer un color blanco, gris de distinta intensidad, incoloro, inclusive negro. (Kosmatka et al., 2004)

2.6.4 Propiedades térmicas

Resistencia a la congelación y deshielo

Esta es la resistencia que debido a la calidad y eficacia de un árido permite garantizar elementos estructurales con superficies libres de agrietamientos y alteraciones que son producidas por el proceso natural de absorción de agua del árido hasta alcanzar cierto punto de saturación crítico por periodos de congelación y deshielo. Además de la absorción del material es necesario tomar en cuenta el grado de porosidad, permeabilidad y estructura de poros de los áridos. Aquellas grietas que se presentan en pavimentos a causa fenómenos de congelación y deshielo en el árido se conocen como agrietamientos, estas son producto de la saturación de los áridos que conforman capas de sub-base, base y rodadura del pavimento. (Kosmatka et al., 2004)

La resistencia de los áridos durante etapas de congelación y deshielo se establece al sumergir el árido en una solución de sulfato de sodio o magnesio de densidad específica, en donde los cristales de sal en los poros de cada partícula asemejan la presión interna que se produce por el congelamiento, los resultados obtenidos se determinan en base a la pérdida de masa del árido luego de ser sometido a una serie de ciclos de congelación y deshielo. En el caso de las mezclas rígidas existen métodos más puntuales para establecer si el árido garantiza ser resistente a los cambios climáticos. Para este fin se fabrican modelos que son sometidos a periodos de congelación y deshielo en equipos aptos para este fin y su calidad se comprueba cuando no existe la presencia de algún tipo de expansión lineal o pérdida de peso de las muestras.

Para determinar la resistencia a la congelación y deshielo se hace uso de la fórmula siguiente:

$$R = pi * \frac{Pi}{100}$$

En donde:

- R = Resistencia a la congelación y deshielo de un árido en %.
- pi= Porcentaje que pasa por cada tamiz después del ensayo.
- Pi = Porcentaje de la gradación original que pasa por cada tamiz.

2.7 Mineralogía de los áridos

Es suficientemente conocido que la mineralogía de los áridos tiene una influencia determinante en la durabilidad del hormigón en general. En la mayoría de casos y/o apartados se prohíbe el uso de áridos susceptibles de liberar álcalis, como por ejemplo granitos alterados, esquistos, rocas con gran cantidad de feldespatos y/o micas, recomendando, por el contrario, áridos calizos. Los áridos se conforman por rocas y estas a su vez por minerales, que en su tiempo son producidos por elementos químicos o combinación entre ellos, resulta necesario conocer su origen y composición para establecer si garantizan evitar posibles inconvenientes o imprevistos al momento de emplearlos como materiales dentro del campo de la construcción. (Chinchón Yepes & Sanjuán Barbudo, 2008). Los áridos poseen gran variedad de minerales, cada uno con propiedades tales como color, tenacidad brillo, fractura dureza, etc. Para el ámbito de la construcción es necesario que los áridos estén libres de poseer aquellos minerales que no contengan características adecuadas de resistencia y durabilidad, considerándose estos como potencialmente nocivos.

Tabla 4. Minerales reactivos perjudiciales y materiales sintéticos

Minerales reactivos perjudiciales y materiales sintéticos		
Sustancias reactivas álcali-sílice		Sustancias reactivas álcali-carbonatas
Andesitas	Esquisto	Caliza dolomítica
Argilita	Fillita	Dolomía calcítica
Calcedonias	Gneis granítico	Dolomitas finamente granuladas
Chert	Grauvaca	
Cherts calcedónicos	Mat. Volcánico vitrificado	
Calizas (Si)-Dolomitas	Mata-grauvacas	
Cristobalita	Ópalo	
Cuarcitas	Pizarra opalina	
Cuarzo	Pizarra silícea	
Cuarzosa	Riolita	
Dacita	Vidrio (Si) natural-sintético	
	Tridmita	

Fuente: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Elaboración: El autor

Un árido no debe contener los minerales que se mencionaron anteriormente en la tabla N°4, debido a la reacción que estos causan en el hormigón, además tampoco deben contener minerales de yeso y anhidrita que generan ataques por sulfatos, mucho menos debe contener esquistos ya que estos causan erupciones a causa del hinchamiento (Kosmatka et al., 2004).

2.8 Áridos y su especificación en el uso de la construcción de obras civiles e infraestructura.

Existen normas o especificaciones dentro de cada país o región que se destinan a detallar cierto tipo de requerimientos de un árido, y de acuerdo al tipo de obra o al empleo final que recibirá el material, de manera directa o para realizar composiciones con otro tipo de materiales artificiales o naturales. Actualmente las normas internacionales de mayor empleo destinadas a la obra civil y de infraestructura son: ASTM "American Society for Testing and Materials".

Se considera como Norma General la MTC E 001 2000. Esta norma regula las condiciones que deben poseer los Técnicos en laboratorio así como los equipos para la ejecución de los ensayos, y la presentación de informes en los proyectos contratados por el MTC. Todo el personal técnico utilizado en la ejecución de ensayos debe estar calificado por la Supervisión, en el caso de un proyecto específico, o por una Entidad competente, avalada por el MTC, en otros casos.

En este último caso la vigencia de la Certificación será de tres (3) años, por lo cual, cumplido este período el técnico debe actualizarla. Si el Técnico no participa en otros proyectos después de ser evaluado, la vigencia de su calificación también será de tres (3) años (Melchor, 2003). En Ecuador se considera pertinente tomar en cuenta las normas INEN que establece el Instituto Ecuatoriano de Normalización. Así, para el presente trabajo de fin de titulación se tomó en consideración las siguientes normas en base al control de áridos destinados a su aplicación:

Especificaciones de hormigón

Para la elaboración de hormigones los áridos deben cumplir con las exigencias diseñadas en la NTE INEN 872. Además, se han tomado como referencia las determinaciones detalladas en la norma ASTM C 33, esta última se considera como referencia en la mayoría de países americanos.

Un árido que da cumplimiento a las especificaciones de las normas nacionales e internacionales certifica la producción de hormigones resistentes y duraderos, de esta manera evitará tener variaciones en la porción relativa del árido, agua y cemento, trabajabilidad, contracción, bombeabilidad, porosidad, y economía. (Kosmatka et al., 2004)

Especificación para obras en vialidad

En obras de construcción de vías tales como pavimentos rígidos, obras de drenaje, morteros, hormigón asfáltico, capas de rodadura, tratamientos superficiales, capas de base y sub-base deben cumplirse con las especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, las mismas que describen las descripciones generales para la edificación de caminos y puentes. (Kosmatka et al., 2004)

2.9 Controles de calidad

Según la Ordenanza Municipal para Regular, Autorizar y Controlar la Explotación y Transporte de Materiales Áridos y Pétreos en el Cantón Loja, establece:

“La Constitución de la República del Ecuador en su artículo 264, numerales 10, 11 y 12, dispone que los gobiernos municipales tendrán la competencia exclusiva de: delimitar, regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos que se encuentren en los lechos de ríos, lagos, playas de mar y canteras”.

El artículo 2 contempla, “Es función del Municipio de Loja, elaborar y ejecutar el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y Políticas Públicas para regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos con criterios de calidad, eficacia, eficiencia y responsabilidad en los lechos de los ríos, lagos y canteras a favor de personas naturales o jurídicas”.

En el artículo 39 se considera. “Los beneficiarios de las autorizaciones municipales para materiales áridos y pétreos, con excepción de las autorizaciones para transportación de los mismos, deberán adjuntar a los informes semestrales de producción, copia de los resultados de los análisis y ensayos de calidad de los materiales destinados a la comercialización o elaboración de sus productos finales. Los análisis se los realizará en laboratorios, legalmente acreditados para este tipo de ensayos. Se realizarán como mínimo los siguientes análisis”:

Nombre del ensayo	Norma
<i>Granulometría</i>	(Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696)
<i>Resistencia a la abrasión</i>	(Requisito Norma INEN < 50%)
<i>Densidad aparente</i>	(Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 836)
<i>Materiales finos</i>	(Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 697)
<i>Elaboración de hormigones</i>	(Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694)
<i>Resistencia de compresión</i>	(Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 573:2010)
<i>Desgaste a los sulfatos</i>	(Requisito Norma INEN < 12%)
<i>Impurezas orgánicas</i>	(Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 855).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

La metodología del presente trabajo de investigación describe un diseño de tipo experimental puro debido a que las variables de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos aplicados a los áridos, pueden ser evaluadas manipulando los datos para planificar un hormigón de resistencia requerida. Y a la misma vez pre-experimental porque su grado de control es mínimo y con una sola medición del caso que consiste en administrar variables a los resultados obtenidos en el laboratorio de los ensayos para finalmente obtener un experimento más amplio y de mayor detalle en cuanto a la calidad de los áridos empleados en la dosificación de hormigones.

Los alcances de la presente investigación son de tipo explicativo y exploratorio. Exploratorio porque el tema “Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja” requiere de indagación, sondeo, análisis, reconocimiento, estudio y muestreo de las muestras de aluvial recogidas en el campo (río) de cada una de las concesiones mineras. Y explicativo porque una vez obtenidos los resultados de laboratorio se describen, aclara y justifica el uso de estos materiales pétreos empleados en obras de construcción destinados a la infraestructura e incluso de vialidad.

En este capítulo se describe el trabajo de campo llevado a cabo como investigación, dentro del cual se especifica de manera clara y ordenada el proceso a llevar a cabo dentro de las concesiones mineras para la obtención de materiales característicos de buena calidad. Además se detalla las particularidades dentro de cada concesión minera como son las características geológicas, muestreo, entre otras.

No obstante, es necesario garantizar la calidad del material de construcción y a su vez asegurar al constructor un producto de óptima calidad que se encuentre dentro de las especificaciones del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) o normas internacionales según el Reglamento General a la Ley Orgánica del Consumidor. (Santos, Moss, & Noboa, 2002)

3.1 Investigación de campo

La mayor parte de obras civiles y de infraestructura que se construyen dentro de la ciudad de Loja son edificaciones o viviendas de dos a tres pisos considerando datos de encuestas aplicadas a 100 obras en construcción según (Cartuche_Juan, 2012), dónde se determinó que un 84% se construyen con áridos extraídos de concesiones mineras del cantón Loja, un 15% con áridos de Catamayo y el 1% del cantón Zamora

La demanda de mayor consumo en cuanto a áridos para la construcción está enfocado en los cantones de Loja y Catamayo. Además que los concesionarios cuentan con depósitos de almacenamiento asegurando así el stock de áridos de diferente tipo.

En mucho de los casos, los concesionarios mineros solamente se encargan de la extracción del material y a la vez expender el mismo a diferentes destinos, es decir; estos no cuentan con depósitos de almacenamiento ya que hoy en día se han modificado las leyes en cuanto al traspaso de esta competencia al Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja (GAD) que antes era competencia de ARCOM. Tomando en cuenta los tres sectores estratégicos de las concesiones mineras puestos en consideración para el presente estudio se realizó una investigación mediante encuestas con el objetivo de conocer la preferencia de los usuarios al momento de la adquisición de materiales pétreos para su construcción.

La primera concesión minera denominada “Junior” se encuentra ubicada al Sur de Loja, parroquia Malacatos. La población de este sector se dedica en mayor parte a la comercialización de materiales pétreos para la construcción.

Por otra parte, tenemos la segunda concesión “San Juan” se encuentra situada al norte de la ciudad en el barrio del mismo nombre y la tercera concesión minera “Solamar” se encuentra localizada a 45 minutos hacia el Norte entre los barrios Montecristi y Solamar a la altura de la unión de los ríos Santiago y Zamora.

3.1.1 Controles de calidad en obra y plantas de explotación

Según la Constitución de la República del Ecuador en su artículo 264, numerales 10, 11 y 12, dispone “Que los gobiernos municipales contarán con la aptitud exclusiva de: “Delimitar, regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos que se encuentren en los lechos de los ríos, lagos, playas de mar y canteras” , además de regular las recomendaciones de la municipalidad con personas naturales o jurídicas las cuales realicen actividades de explotación, procesamiento, almacenamiento y transporte de materiales de construcción incluida la arcilla. Así también dispone, la remediación de impactos ambientales que pudieren ser provocados por la explotación de materiales áridos y pétreos en el cantón Loja”.

El Artículo 37 de la Ordenanza Municipal (inspecciones e informes) menciona sobre la inspección técnica la cual “es un procedimiento administrativo preventivo, y se somete periódicamente a la revisión y verificación del cumplimiento de las normas que están establecidas por parte de la presente ordenanza; a las autorizaciones municipales para explotación, instalación y operación de plantas de trituración y clasificación, plantas de asfalto, hormigoneras; y depósitos de almacenamiento de materiales áridos y pétreos”. (ORDENANZA_MUNICIPAL, 2014).

Calidad de Materiales

Según la Ordenanza Municipal “Las personas que reciban beneficio por parte de las autorizaciones municipales para materiales áridos y pétreos, deberán adicionar a los informes semestrales de producción, una copia de los resultados de análisis y ensayos de calidad de los materiales empleados a la comercialización y elaboración de sus productos finales. Los análisis deberán ser realizados en laboratorios que sean legalmente acreditados para este tipo de ensayos. Además, se realizará como requisito mínimo los siguientes análisis: Granulometría de árido fino y grueso, Resistencia a la abrasión de los materiales (porcentaje al desgaste), Densidad relativa y capacidad de absorción del árido fino y grueso (estado sss), Determinación de la masa unitaria del árido fino y grueso (densidad aparente), Porcentaje de absorción del árido fino y grueso, Hormigón de cemento hidráulico: determinación del asentamiento, Hormigón de cemento hidráulico: elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo, Hormigón de cemento hidráulico: determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico”.

3.2 Características de las zonas de estudio

3.2.1 Concesión Minera 1. “Junior” JR_001

La concesión minera Junior en la actualidad posee con todos los permisos ambientales y de funcionamiento para la explotación de materiales para la construcción. Cuenta con una superficie de 17 hectáreas titulada por Juan Medina Construcciones y Comercio C. LTDA. Ésta área está situada sobre los depósitos aluviales provenientes del río Solanda y este a su vez es contribuido por el río Chonta y la quebrada Chontiles.

Coordenadas:

X: 686212; Y: 9 534843

3.2.2 Concesión Minera 2 “San Juan” SJ_002

La concesión minera “San Juan” actualmente se encuentra realizando trabajos de explotación de materiales áridos para la construcción. Esta es una cantera de tipo artesanal con código 1101012. Su localización se encuentra entre las coordenadas:

- X: 696889; Y: 9566279; H: 1994msnm.
- X: 696920; Y: 9566295; H: 1994msnm.

Esa concesión minera si cuenta con los estándares y permisos de funcionamiento por parte del Municipio de Loja para explotar materiales pétreos. En esta área se trabaja con una sola zaranda para abastecer la comercialización diaria de 4-5 viajes de volquetadas de material.

Esta concesión minera expende materiales como arena fina y gruesa, grava, piedra, etc., todo en cuanto respecta a materiales áridos para la comercialización dentro y fuera de la ciudad.

El material que es extraído directamente del río (promedio de 15 viajes de volquetadas) demora de dos a tres días para obtener dos volquetadas de material ya clasificado. El personal con el que actualmente se encuentra en funcionamiento es de 20 personas. La maquinaria utilizada dentro de esta concesión minera es de una gallineta, cinco volquetas. El material únicamente puede ser expendido bajo el régimen de guía otorgado por el municipio de Loja. En el sector se puede apreciar una buena señalización.

En invierno el material se torna un poco más claro que en verano, cuando existe escases de material para explotar, la propietaria se ve en condiciones de ordenar la explotación de los bancos en donde se acumula gran cantidad de material. Dentro de la comercialización el material de grava y piedra es el más apto para la ciudadanía dentro de esta concesión minera. El área minera tiene una edad promedio de 50-60 años de ambigüedad.

3.2.3 Concesión Minera 3 “Sol_003”

El tercer punto estratégico para el presente trabajo de investigación denominado bajo la etiqueta de “Sol_003” se trata de un sector de minería artesanal en donde actualmente se realizan muy pocos trabajos de explotación de materiales para la construcción, esto debido a la falta del permiso de funcionamiento otorgado por el municipio de Loja que les hace falta a los propietarios del terreno situado a orillas de la unión de los ríos Santiago y Zamora. El terreno se encuentra ubicado en el sector de “Los Encuentros” a 45 minutos al norte de la ciudad de Loja. El lugar es característico por ser una zona de bastante relieve con abundancia de cobertura vegetal, es una zona de riesgo por ser característica de deslizamientos, las arterias viales de un solo carril no poseen cobertura asfáltica. Esta cantera se encuentra ubicada dentro de las siguientes coordenadas:

X: 699322; Y: 9573047; H: 1884msnm.

En la actualidad el propietario explota de entre 1-2 volquetadas a los 3 o 4 días. El material explotado más común en esta cantera es de arena, grava y piedra; con destino a la ciudad de Loja. La maquinaria utilizada es una gallineta y una volqueta.

3.3 Muestreo de los áridos

La toma de muestra de los áridos se la realiza bajo ciertas condiciones y estándares establecidos en las normas ASTM D75 “Práctica Estándar para el Muestreo de Áridos” y MTC E201 “Muestreo para materiales de construcción”. Una vez determinadas las zonas de estudio de dónde se tomarían las muestras para el respectivo análisis en el laboratorio, se procedió al lugar de cada uno de los sectores para realizar el muestreo del material. El material de selección fue tomado directamente del afluyente de dónde los concesionarios toman el mismo para ser tratado en su respectiva planta, esto se logró gracias a la cooperación de cada uno de los propietarios y de las personas encargadas de la operación de las máquinas como son las retroexcavadoras.



Ilustración 1. Recolección de muestras
Elaboración: El autor.

Con ayuda de la máquina retroexcavadora fue posible extraer los materiales pétreos directamente del río.



Ilustración 2. Recolección, etiquetado y reducción de muestras.
Elaboración: El autor.

Para asegurar el estado del material extraído y evitar la alteración o segregación del mismo, se empleó sacos y se tomaron dos muestras de cada cantera y se procedió a colocar sus respectivas etiquetas para luego ser transportadas en una camioneta hacia el Laboratorio de Suelos de la UTPL.

3.3.1 Toma de muestras

Una vez que las muestras fueron ingresadas al laboratorio, se procedió a realizar la reducción de las mismas con la finalidad de determinar las propiedades físicas de los áridos de cada cantera, esto con el objetivo de obtener muestras representativas a las que se trasladó desde el campo, además tomando en cuenta cada uno de los ensayos a determinar en este trabajo de fin de titulación.



Ilustración 3. Separación de material fino del grueso.
Elaboración: El autor.

La reducción de las muestras de los áridos se la realizó en base a la Norma MTC E 103-2000, este método operativo está basado a la vez en la Norma ASTM C 702, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad.

Esta Norma Técnica se aplica de acuerdo a las especificaciones para agregados que requieren porciones de muestras del material para someterlas a ensayos, para reducir el tamaño de la muestra obtenida en el campo a tamaños convenientes a fin de describir el material y medir su calidad, de tal manera que la porción de muestra de ensayo más pequeña no deje de ser representativa de la muestra más grande y por lo tanto de la total suministrada.

Una vez reducida la muestra se procedió a separar el material fino del material grueso, para esto se empleó el tamiz N°4 considerando como material fino aquel que pasa la malla y el retenido es el material denominado como árido grueso.

3.4 Análisis de Laboratorio

Las muestras de materiales extraídos de cada uno de los afluentes, se sometieron a ensayos para determinar la calidad de cada uno de los materiales en los diferentes sectores de los que fueron provenientes.

3.4.1 Ensayo de Granulometría

Este ensayo se realizó bajo los estándares de la Norma MTC E 107-2000, la misma que está basado en las normas ASTM D 422 y AASHTO T 88, las cuales se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. El objetivo de este ensayo es la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo y el porcentaje de suelo que pasa por los distintos tamices de la serie empleada, hasta el de 74 μ m (N° 200)



Ilustración 4. Análisis granulométrico.

Elaboración: El autor.

3.4.2 Ensayo de Abrasión (Porcentaje de desgaste)

Este ensayo fue realizado bajo los estándares de las normas MTC E 207-2000, ASTM C 131, AASHTO T 96 Y ASTM C 535. El propósito de este ensayo está enfocado en el procedimiento que se debe seguir para determinar el desgaste de los agregados gruesos de 37,5 mm (1 $\frac{1}{2}$ ") mediante el uso de la máquina de Los Ángeles. El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando una carga abrasiva.



Ilustración 5. Ensayo de abrasión (porcentaje de desgaste).

Elaboración: El autor.

3.4.3 Densidad Relativa y capacidad de absorción del árido fino (estado SSS)

Este ensayo fue realizado bajo los estándares de la norma I.N.V.E – 222. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del peso específico aparente y real a 23/23°C (73.4/73.4°F) así como la absorción después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño inferior a 4.75 mm (tamiz No.4). Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 856-2010) se establece como objetivo este método para determinar la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino.



Ilustración 6. Densidad relativa (árido fino).
Elaboración: El autor.

Este método de ensayo se lo debe aplicar para determinar la densidad promedio en una muestra de árido fino (es decir sin incluir el volumen de vacío entre partículas), la densidad relativa y la absorción del árido. La densidad es expresada de las siguientes formas: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como aparente. La densidad SH y la densidad relativa SH se establecen después de secar el árido. La densidad SSS, densidad relativa SSS y la absorción se determinan una vez que se haya saturado el árido en agua por un periodo determinado.

En resumen, se necesita sumergir en agua por alrededor de $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, una muestra de árido previamente secada, hasta que consiga una masa constante, con la finalidad de llenar con agua sus poros. Posteriormente, se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas y se determina la masa. Luego, se pone la muestra en un recipiente graduado y se determina el volumen de la misma a través del método volumétrico; para finalizar, la muestra se seca al horno y se determina nuevamente el valor de su masa. Los valores de masa obtenidos son empleados en las fórmulas de este método de ensayo, lo cual facilita el cálculo de la densidad, la densidad relativa y la absorción. (NTE_INEN, 2010)

3.1.1 Densidad Relativa y capacidad de absorción del árido grueso (estado SSS)

De acuerdo a la NTE INEN 856-2010 se determina como objetivo el método de ésta práctica para el cálculo de la densidad, densidad relativa y la absorción del árido grueso. La finalidad de este método de ensayo se emplea para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido grueso (excluyendo el volumen de vacío entre partículas), la densidad relativa y la absorción del árido. Dependiendo del proceso empleado, la densidad puede ser expresada como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. Así mismo, la densidad relativa, una cantidad adimensional, es expresada como SH, SSS o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente).

La densidad SH y la densidad relativa SH se obtienen una vez que se seca el árido. La densidad SSS, densidad relativa SSS y la absorción se determinan después de saturar el árido en agua por un periodo definido.



Ilustración 7. Densidad relativa (árido grueso).
Elaboración: El autor.

Este método de ensayo permite hallar la densidad de la porción sólida de un número grande de partículas del árido y proporciona un valor promedio, que representa la muestra de análisis. La diferencia entre la densidad de las partículas del árido, determinada por éste método, y la masa unitaria de los áridos, determinada de acuerdo con el procedimiento de la NTE_INEN 858, se basa en que este método contempla el volumen del vacío entre las partícula del árido.

3.1.2 Determinación de la masa unitaria del árido grueso/fino (Densidad Aparente).

Este ensayo fue realizado bajo los estándares de las normas NTE INEN 858-2010. El objetivo de este ensayo es determinar la masa unitaria del árido en condición compacta o suelta y a su vez calcular los vacíos entre partículas en los áridos: fino, grueso o en una mezcla de ambos. El método de ensayo es aplicable a los áridos que no sea superiores a un tamaño máximo de 125 mm. Además, el método es frecuentemente utilizado para determinar los valores de masa unitaria, que serán empleados en varios métodos para la selección de dosificaciones en las mezclas de hormigón. (INEN, 2010)

- **Peso compacto**

Se coloca el árido en un molde y se lo compacta mediante el método de varillaje en tres secciones de tres capas, cada capa de árido será compactada por una varilla con un total de 25 golpes en forma de espiral, se calcula la masa unitaria y el contenido de vacíos utilizando las fórmulas establecidas en la norma NTE INEN 858:2010. La varilla de compactación la cual es de acero debe ser lisa, recta, 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con la punta de un extremo o ambos a la vez redondeados semiesféricos. El molde consiste en una vasija cilíndrica de metal la misma deberá ser provista de manubrios y ser impermeable, con la parte superior y el fondo, recto y uniforme. Conjuntamente, deberá ser rígido para conservar su forma bajo condiciones agresivas por su uso. La característica de la parte interior del molde es que sea una superficie lisa y continua. El procedimiento por el método de varillado resume que, se debe llenar la tercera parte del molde y nivelar la superficie usando los dedos. Compactar la capa de árido ya sea fino o grueso, con 25 golpes distribuidos uniformemente en forma de espiral. Llenar completamente los dos tercios de la vasija metálica hasta rebosar para posteriormente compactar en la misma forma antes mencionada. Se debe nivelar la superficie del área utilizando los dedos o una regleta, de forma que cualquier liviana proyección de partículas grandes del material grueso, equilibren los vacíos mayores en la superficie, por debajo de la parte superior del molde. Cuando se lleve a cabo la compactación de la primera capa, no se permite que la varilla golpee hacia el fondo del molde. La compactación de la segunda y tercera capas debe ser vigorosa y evitando que la varilla de compactación penetre la capa anterior.

- **Peso suelto**

Para la determinación de la masa unitaria del árido fino o grueso, suelto, se realiza el mismo procedimiento anteriormente mencionado par el árido del peso compacto, exceptuando el punto del procedimiento del varillaje y el llenado del molde en tres capas consecutivas; en su lugar se procede únicamente a llenar el molde con el árido ya sea fino o grueso sin aplicar compactación, enrazando la superficie superior del molde con el árido.

3.1.3 Hormigón de cemento hidráulico: Determinación del asentamiento

La NTE INEN 1 578, establece como objetivo la determinación de asentamiento del hormigón de cemento hidráulico tanto en campo como en laboratorio. El alcance de esa norma establece la determinación del asentamiento o revenimiento en hormigones de cemento hidráulico en estado plástico. Este método de ensayo se aplica al hormigón preparado con árido grueso de hasta 375 mm.



Ilustración 8. Determinación del asentamiento.
Elaboración: El autor.

El espécimen de hormigón mezclado se procede a colocar dentro de un recipiente en forma cónica truncada y posteriormente se procede al varillado. Se realiza el levantamiento del molde permitiendo de esta manera que la mezcla se asiente en el fondo. Para reportar el valor de asentamiento se procede a medir la distancia vertical entre la altura original y la del centro que se desplaza de la superficie superior del hormigón, después de su deformación.

3.1.4 Hormigón de cemento hidráulico: Elaboración y curado de especímenes para ensayos

La NTE INEN 1 576-2011 como finalidad establece los procedimientos adecuados para la fabricación y curación de cilindros y vigas, tomados de muestras representativas de hormigón fresco, que se emplea en la edificación de obras civiles. El alcance proporciona requisitos normalizados para la elaboración, curado, protección y transporte de especímenes de hormigón.

Según presenta (Alejandro, 2010). En la última década, existe la necesidad de elaborar hormigones de mayor resistencia para edificaciones convencionales, dichos hormigones generalmente son empleados en la construcción de rascacielos, y su evolución se ha dado de manera gradual a través del tiempo; “por ejemplo en los años 50 se consideraba los hormigones de 34 MPa de resistencia a compresión como concreto de alta resistencia. En los años 60 los hormigones de 41 y 52 MPa eran considerados como tal. Al inicio de los años 70 se producían ya hormigones de 62 MPa y más recientemente se han usado in situ hormigones con resistencia a compresión por encima de 138 MPa”.



Ilustración 9. Elaboración de especímenes para ensayos.
Elaboración: El autor.

Al hormigón fresco, una vez realizados los ajustes necesarios, se lo muestrea y determina sus características físicas, siguiendo procedimientos normalizados. Luego se toman muestras de hormigón en los moldes especificados para el proyecto, los que pueden ser cilindros o vigas, en el presente trabajo se hace uso de los cilindros, de acuerdo a los procedimientos que se indican en esta norma; la compactación puede ser ejecutada por varillado o por vibración según lo indicado en las especificaciones. A los especímenes se les proporciona el curado inicial y final normalizado o curado de obra, dependiendo del propósito de los resultados del ensayo de los especímenes.

3.1.5 Hormigón de cemento hidráulico: Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1 573-2010) instituye como objetivo el método de ensayo para definir la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. Los resultados de este ensayo sirven de soporte como base para el control de calidad de la dosificación del hormigón, operaciones de mezclado y colocación, además de determinar el desempeño con sus especificaciones, y control de la evaluación de la efectividad de aditivos y usos similares.



Ilustración 10. Determinación de la resistencia a la compresión. (210 Kg/cm²)
Elaboración: El autor.

De manera resumida, según la Norma técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1 573-2010) la metodología de este ensayo radica en aplicar cierta fuerza axial de compresión a los cilindros de hormigón de cemento hidráulico considerando una velocidad moderada que se encuentre dentro de un rango específico según la norma hasta alcanzar la rotura de falla del espécimen.

Para el posterior trabajo de escritorio en cuanto al cálculo de la resistencia a la compresión de cada uno de los especímenes cilíndricos se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal de cada uno de las muestras de cilindro.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el capítulo cuatro no solamente se evalúa la calidad del árido sino que además se realiza la evaluación de cada uno de los parámetros dentro del mismo y que son necesarios para determinar la calidad y resistencia de los hormigones mediante la dosificación de los mismos. De la evaluación de la calidad de los materiales de las tres áreas consideradas como estratégicas, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1 De granulometría

Del ensayo de análisis granulométrico se determinaron los siguientes parámetros:

- Para el árido fino: módulo de finura, clasificación de arena por su módulo de finura.
- Para el árido grueso: tamaño máximo (TM), tamaño máximo nominal (TMN), Módulo de finura.

Árido Fino

En la figura N° 6, 7 y 8 se muestra la granulometría del árido fino de las tres concesiones mineras.

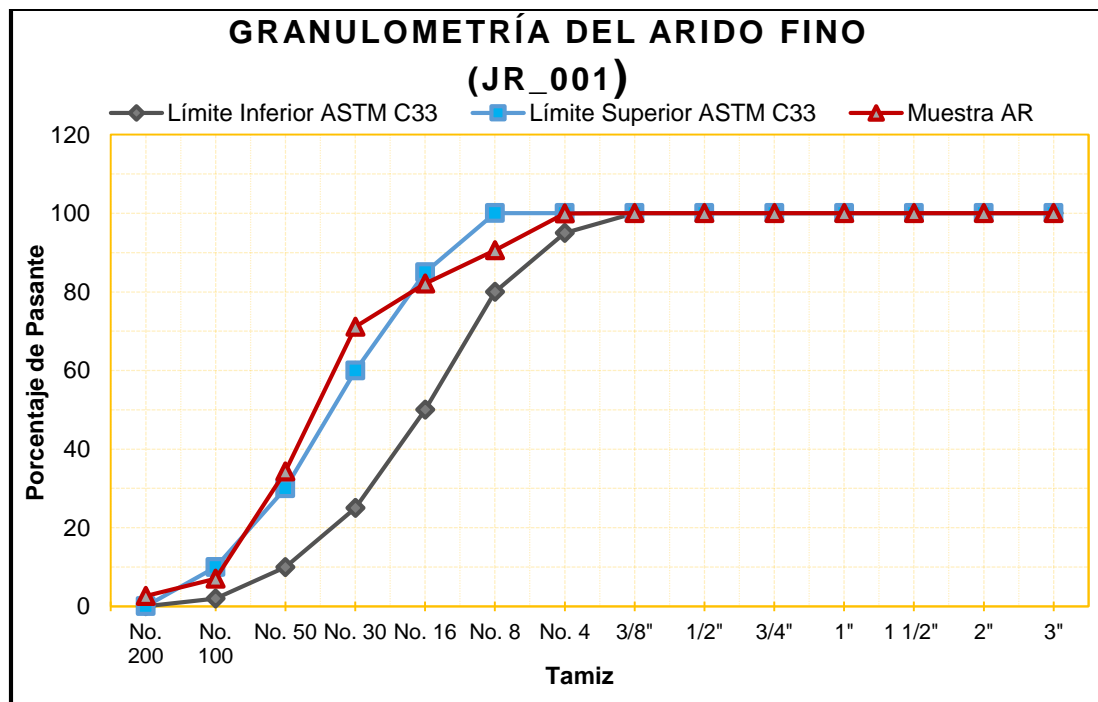


Figura 6. Granulometría JR_001 del agregado fino.

Elaboración: El autor.

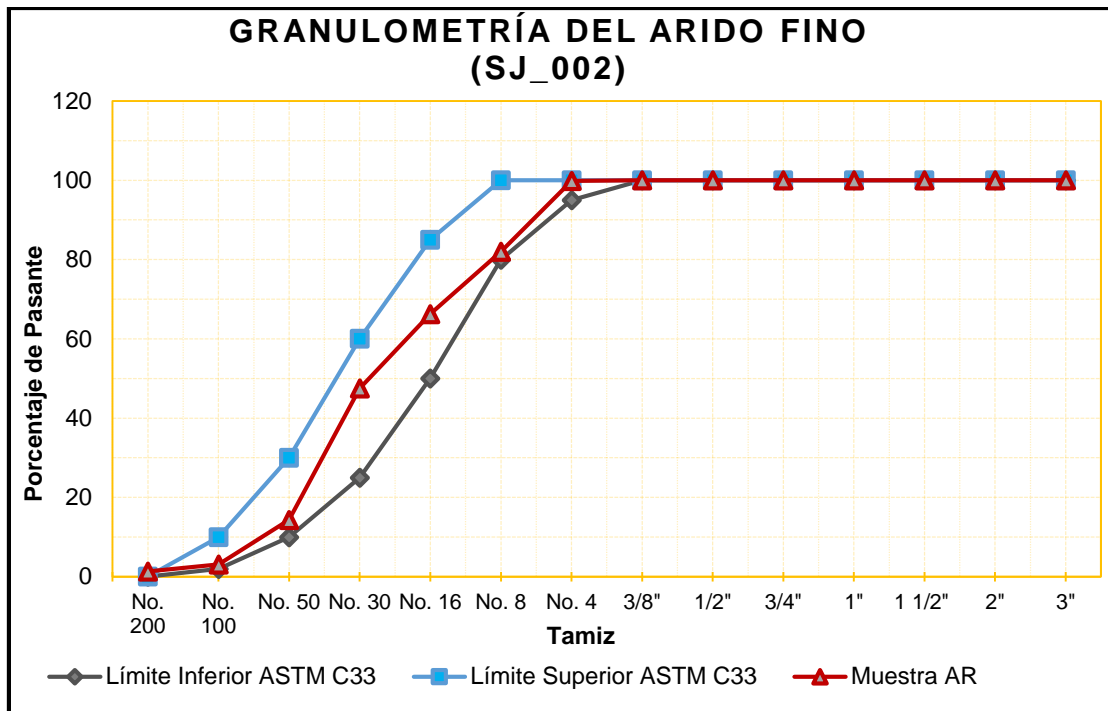


Figura 7. Granulometría SJ_002 del agregado fino.

Elaboración: El autor.

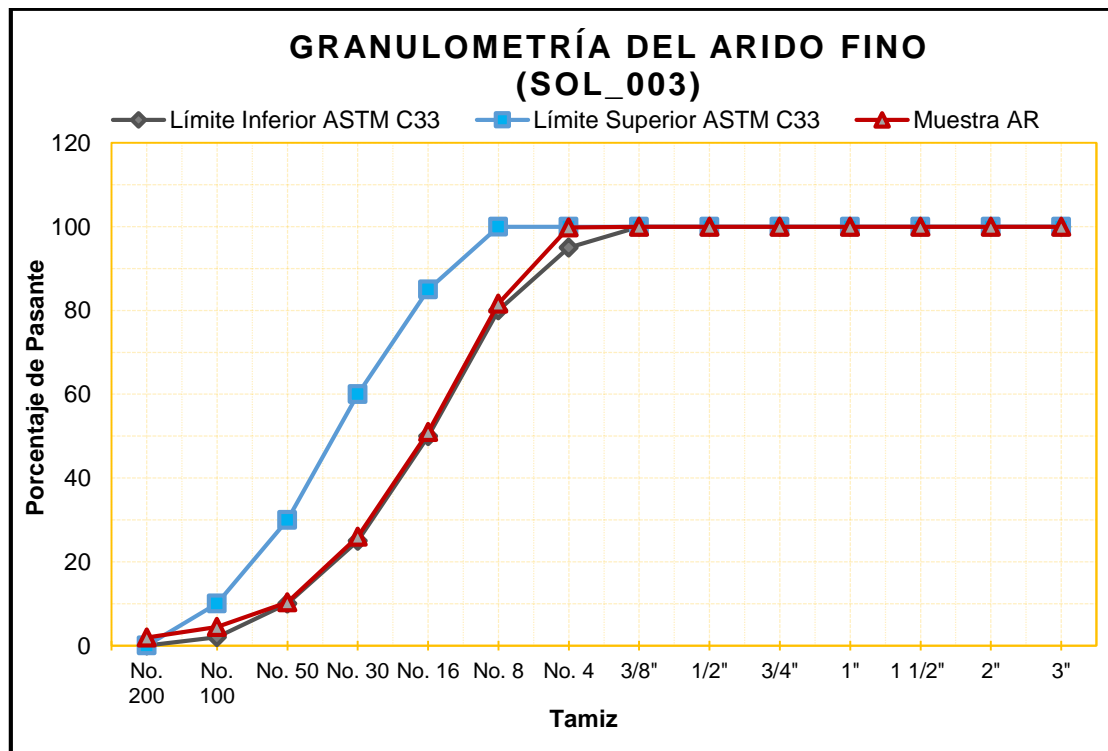


Figura 8. Granulometría Sol_002 del agregado fino.

Elaboración: El autor.

Tabla 5. Módulos de finura obtenidos en el laboratorio.

Muestras	MÓDULO DE FINURA (MF)	Clasificación.	Corrección del 0,20 (MF)
Concesión minera: JR_001	2,15 %	Fina	2,35 % (media)
Concesión minera: SJ_002	2,87 %	Media	Sin corrección
Muestra: Sol_003	3,27 %	Gruesa	3,07 % (gruesa)

Fuente: (COGUANOR, 2010)

Elaboración: El autor.

La concesión minera que cumple con los parámetros requeridos en la norma ASTM C-33 sin ser corregida es el área 2 (SJ_002) que cuenta con una clasificación de arena media según su módulo de finura. Las otras dos concesiones fueron debidamente corregidas y por ende fueron consideradas dentro de lo establecido en la Norma ASTM C-33 como válidas para ser seleccionadas como proporciones para concreto. La granulometría más deseable para el agregado fino depende del tipo de obra, si la mezcla es rica y del tamaño máximo del agregado grueso. En general, si se mantiene constante la relación agua-cemento y se elige correctamente la relación agregado fino-agregado grueso, se puede usar un amplio rango de granulometrías, sin efectos considerables sobre la resistencia. Sin embargo, algunas veces, se logrará la mayor economía con el ajuste de la mezcla de concreto para que se adapte a la granulometría de los agregados locales. La granulometría de los agregados finos de acuerdo con las normas ASTM C 33 (AASHTO M6), COVENIN 277, IRAM 1512, NCh163, NMX-C-111, NTC 174, NTP 400.037, UNIT 84, es generalmente satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de estas normas, con respecto a la granulometría se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Límites granulométricos del agregado fino.

Tamiz	% Pasante
3/8" (9,5 mm)	100
N°4 (4,75 mm)	95 a 100
N°8 (2,36 mm)	80 a 100
N°16 (1,18 mm)	50 a 85
N°30 (0,6 mm)	25 a 60
N°50 (0,3 mm)	10 a 30
N°100 (0,15 mm)	2 a 10

Fuente: (ASTM C 33/AASHTO M6, COVENIN 277, IRAM 1512, Nch 163, NMX-C-111, NTC 174 y NTP 400.037)

Elaboración: El autor.

El árido fino no debe estar por sobre el 45% retenido entre tamices consecutivos de los que se indicaron en la tabla antes mencionada. Si el agregado contiene rocas con distribución de tamaño uniforme no resultan alteraciones de las proporciones relativas del mismo, ni la demanda de agua, bombeabilidad, la cantidad de cemento, economía, trabajabilidad, y durabilidad del hormigón (Kosmatka et al., 2004).

Tabla 7. Clasificación de arena de acuerdo a su módulo de finura.

Tipo de arena	Módulo de Finura MF (gr)
Gruesa	2,9 a 3,2 g
Media	2,2 a 2,9 g
Fina	1,5 a 2,2 g
Muy fina	1,5 g

Fuente: (COGUANOR, 2010)

Elaboración: El autor.

En ninguno de los casos el módulo de finura será menor de 2,3 ni mayor de 3,1 en caso de haber variación de más del 0,20 del valor asumido al seleccionar las proporciones para el concreto, éste habrá de ser rechazado o al menos que se contrasten ajustes adecuados. (COGUANOR, 2010).

Árido grueso

Del ensayo de análisis granulométrico del árido grueso se determinó los siguientes parámetros que se detallan en la tabla N° 8: Tamaño máximo (TM), tamaño máximo nominal (TMN), Módulo de finura.

Tabla 8. Resultados granulométricos del agregado grueso obtenidos en el laboratorio.

Muestras	MÓDULO DE FINURA (MF)	Tamaño Máximo (TM)	Tamaño Máximo Nominal (TMN)
Concesión minera: JR_001	2,35 gr (media)	3"	2"
Concesión minera: SJ_002	2,87 gr (media)	2 1/2"	2"
Muestra: Sol_003	3,07 gr (gruesa)	3"	2"

Elaboración: El autor.

Una vez fabricados los cilindros de concreto, estos serán sometidos al agua y por ende se procedió a hacer la respectiva limpieza de material orgánico contenido en los agregados gruesos de cada una de las canteras, así como su respectivo lavado, secado al horno y tamizado por la malla N°4, de manera que cada una de éstas impurezas no limiten el comportamiento normal en cuanto al contacto con el cemento. Una vez pasado todo el material por el tamiz N°4 se clasificó como árido grueso a todo el material retenido en dicho tamiz. El agregado grueso consiste en grava o puede también ser roca triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de los dos en base a los requerimientos que establece la norma ASTM C-33. Los agregados gruesos deben cumplir con los requerimientos especificados en la norma ASTM C-33 para cada tamiz según el tamaño de agregado a utilizar. El tamaño de partícula del árido está en función de las necesidades desarrolladas para el diseño de concreto.

4.2 De Abrasión

Los valores de resistencia a la abrasión obtenidos en el laboratorio de las diferentes canteras y concesiones de estudio, se muestran en la tabla N°9:

Tabla 9. Resultados de abrasión. (Porcentaje al desgaste)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Concesión minera: JR_001	Concesión minera: SJ_002	Muestra: Sol_003	ASTM C 33	INEN 872
PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	g	5000,00	5000,00	5000,00	50%	50%
PESO MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO RETENIDO #12	g	3389,81	3040	3539,70		
PESO MUESTRA PASANTE #12	g	1610,19	1960	1460,30		
% RESISTENCIA AL DESGASTE	%	32,20 %	39,20 %	29,21 %		

Elaboración: El autor.

El desgaste es inversamente proporcional a la resistencia del árido grueso; es decir, mientras más desgaste presenta el árido, menor es la resistencia del mismo. El orden de resistencia al desgaste entre las concesiones puestas en estudio en el presente trabajo de investigación, destaca el material de la concesión minera “Solamar” presentando el más bajo desgaste del 29%, seguido por la concesión minera “Junior” con un porcentaje de desgaste de 32% y finalmente tenemos la concesión “San Juan” la misma que presenta el porcentaje más alto de desgaste del 39% y por ende el árido es de menor resistencia en comparación con las dos concesiones antes mencionadas.

La norma MTC E 207 – 2000 en modo operativo y basada en las normas ASTM C 131 AASHTO T 96 y ASTM C 535 establece como objetivo el procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste en los agregados gruesos de 37,5 mm (1^{1/2}”) haciendo uso de la máquina de Los Ángeles. Este método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina con carga abrasiva.

Con los resultados obtenidos de cada una de las concesiones mineras investigadas en el presente trabajo, se determinó que el árido grueso de dichas concesiones puede ser empleado para la fabricación de cualquier tipo de hormigón, según los requisitos mínimos que las normas solicitan.

4.3 De Contenido de Humedad

El material fue extraído directamente del cauce del río es por eso que los resultados varían en su porcentaje a más de ser un material procedente de aluvial lo que significa que sus partículas tendrán poco contenido de arcillas. La Norma I.N.V.E -122 contempla como objetivo la determinación del contenido de agua de los áridos. El contenido de humedad se refiere como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o “agua libre”, en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material. El contenido de humedad de los materiales se determina únicamente del árido fino. Los resultados se muestran en la tabla N° 10:

CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestras	W. húmeda (g)	W. seca (g)	C. humedad (%)	Promedio (%)
JR_001	133,99	130,16	2,94	2,72
	162,81	158,83	2,51	
SJ_002	258,65	240,86	7,39	7,06
	230,08	215,55	6,74	
M_003	167,17	157,14	6,38	6,29
	182,04	171,42	6,20	

Elaboración: El autor.

4.4 De la Densidad relativa y capacidad de absorción del árido fino.

Los resultados de densidad relativa más alta pertenecen a la concesión minera Junior (JR_001) con una densidad de 2,71 (kg/m^3). En la siguiente tabla se detallan los resultados obtenidos de las concesiones mineras y su respectiva nomenclatura asignada:

Ds.- Densidad del volumen de masa

Dsss.- Densidad del volumen saturado superficialmente seco

D.- Densidad del volumen aparente del árido

Po.- Porcentaje de absorción del agua en el árido

Tabla 10. Resultados de densidad relativa y capacidad de absorción (agregado fino).

	<i>ds (kg/m³)</i>	<i>dsss (kg/m³)</i>	<i>d (kg/m³)</i>	<i>po (%)</i>
JR_001	2,64	2,67	2,71	0,86 %
SJ_002	2,59	2,62	2,67	1,22 %
Sol_003	2,58	2,61	2,65	1,11 %

Elaboración: El autor

La masa específica relativa se la usa en cálculos de proporcionamiento y control de la mezcla, tal como el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla. Normalmente no se la usa como medida de calidad del agregado. La mayoría de agregados presentan baja gravedad específica. La mayoría de agregados naturales tiene masas específicas relativas que varían de 2,4 a 2,9, con masa específica correspondiente de las partículas de 2400 a 2900 Kg/cm³ (Kosmatka et al., 2004). Los métodos de ensayo para la determinación de la masa específica relativa de los agregados fino y grueso se describen en las normas ASTM C 127 (AASHTO T 85), NTC 176, NTE 085, ASTM C 128 (AASHTO T84), NTE 857. (Kosmatka et al., 2004).

El objetivo de este método establece la determinación de densidad, densidad relativa o gravedad específica y absorción del árido fino. Obedeciendo al proceso empleado, la densidad es expresada como: seca al horno con las siglas (SH), saturada superficialmente seca con las siglas (SSS) o a la vez densidad aparente. Este método se emplea para determinar la densidad de la parte sólida de un gran número de granos del árido y también para proporcionar un valor promedio que represente a la muestra.

4.5 De la Densidad relativa y capacidad de absorción del árido grueso

Los valores de absorción se emplean para determinar los cambios en la masa de un árido debido a la cantidad de agua absorbida por los poros de las partículas constitutivas, en comparación con la condición seca, cuando se supone que el árido ha estado en contacto con agua por un tiempo determinado como para satisfacer la mayoría del potencial absorbido. El valor de absorción que se calcula en el laboratorio se consigue después de sumergir en agua el árido seco por un determinado tiempo, obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la tabla N° 12:

Ds. Densidad del volumen de masa

Dsss. Densidad del volumen saturado superficialmente seco

D.- Densidad del volumen aparente del árido

Po. Porcentaje de absorción del agua en el árido

Tabla 11. Resultados de densidad relativa y capacidad de absorción (agregado grueso).

	<i>ds (kg/m³)</i>	<i>dsss (kg/m³)</i>	<i>d (kg/m³)</i>	<i>po (%)</i>
JR_001	2,68	2,71	2,76	1,13 %
SJ_002	2,57	2,61	2,69	1,66 %
Sol_003	2,62	2,66	2,72	1,47 %

Elaboración: El autor

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 857:2010) establece como alcance: “la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa o gravedad específica y la absorción del árido”. Este método de ensayo es utilizado para determinar la densidad de la porción sólida de un número grande de partículas de árido y proporcionar un valor promedio, que representa la muestra.

La densidad relativa generalmente es utilizada para la determinación del volumen ocupado por el árido en las mezclas, incluyendo hormigón de cemento portland, bituminoso y otras mezclas dosificadas o analizadas en base al volumen absoluto. La densidad relativa (SSS) se la utiliza en tanto el árido está húmedo, es decir; si ha logrado su absorción, sino de lo contrario, la densidad relativa se utiliza para los cálculos cuando el árido se asume que está en estado seco. (INEN, NTE, 2010).

4.6 De la Masa unitaria, peso volumétrico o densidad aparente del árido fino.

Los resultados obtenidos en el laboratorio se ilustran en la siguiente tabla:

Tabla 12. Resultados de masa suelta y compacta (agregado fino).

	Masa unitaria Compacta (g/cm ³)	Masa unitaria suelta (g/cm ³)
JR_001	1,68	1,57
SJ_002	1,69	1,58
Sol_003	1,67	1,51

Elaboración: El autor.

La masa volumétrica del agregado comúnmente utilizado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1750 Kg/m³ (75 a 110 lb/pie³). La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla. La cantidad de vacíos varía del 40 a 50% para el agregado fino. La angulosidad aumenta la cantidad de vacíos, mientras que los tamaños mayores de un agregado bien graduado y la mejoría de la granulometría disminuyen el contenido de vacíos. (Kosmatka et al., 2004).

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 858:2010) “establece el método de ensayo para determinar la masa unitaria o peso volumétrico de los áridos, en condición compacta o suelta y calcular los vacíos entre las partículas en los áridos: fino, grueso o una mezcla de ellos”. (INEN, NTE, 2010)

Los métodos para la determinación de la masa volumétrica del agregado y contenido de vacíos se encuentran en las normas: ASTM C 29, (AASHTO T 19), NTC 92, COVENIN 0274. La masa volumétrica o masa unitaria de un agregado es la masa o el peso del agregado que requiere para lograr rellenar un recipiente con un volumen específico, éste volumen es aquel ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas del agregado.

4.7 De la Masa unitaria, peso volumétrico o densidad aparente del árido grueso.

Tabla 13. Resultados de masa suelta y compacta (agregado grueso).

Concesiones	Masa unitaria Compacta (g/cm ³)	Masa unitaria suelta (g/cm ³)
JR_001	1,87	1,74
SJ_002	1,75	1,68
Sol_003	1,82	1,71

Elaboración: El autor.

Los resultados obtenidos en el laboratorio se ilustran en la tabla N° 14. Los parámetros de masa unitaria son los mismos para el árido fino y grueso comúnmente utilizado en el concreto de peso normal de 1200 a 1750 Kg/m³ (75 a 110 lb/pie³). La NTE INEN 858:2010 establece el método de ensayo para calcular la masa unitaria del árido, en condición compacta o suelta y determinar los vacíos entre partículas en áridos: fino, grueso o una mezcla de ellos. (INEN, NTE, 2010)

4.8 Del Análisis petrográfico

En el laboratorio, una vez separados el material fino del grueso se procedió a realizar el respectivo lavado del agregado grueso con la finalidad de eliminar partículas arcillosas o materia orgánica contenida en cada una de las muestras. Las muestras lavadas y secadas se trasladaron al laboratorio de petrografía para realizar el respectivo análisis del contenido de rocas en cada una de las muestras. Los resultados obtenidos se describen en la tabla N° 15.

Tabla 14. Análisis petrográfico obtenido en laboratorio.

Análisis Petrográfico	
Etiquetas	Contenido de rocas
Cantera: Jr_001	- Cuarzita. (50%) - Cuarzita de moscovita y biotita. (25%) - Cuarzo (mineral). (10%) - Filita. (10%) - Cuarzo lechoso. (5%) - Minerales de: Biotita, plagioclasa, cuarzo, estaurolita, piroxenos.
Cantera: SJ_002	- Cuarzita. (40%) - Filita. (25%) - Cuarzo (mineral). (20%) - Caliza. (10%) - Esquisto. (5%)
Cantera: Sol_003	- Esquisto. (30%) - Cuarzita. (30%) - Roca volcánica. basalto (20%) - Cuarzo (mineral). (10%) - Cuarzita. (10%)

Elaboración: El autor.

Los agregados naturales tomados para el estudio en el presente trabajo de investigación fueron extraídos directamente del cauce de los ríos de cada una de las canteras, encontrando las siguientes rocas que se muestran en la ilustración N° 11:



Ilustración 11. Análisis petrográfico (JR_001; SJ_002 Y SOL_003).

Elaboración: El autor.

No puede dejarse de lado lo que la importancia del tipo y calidad de un agregado es para la edificación de obras civiles. Los agregados tanto fino como grueso ocupan cerca del 60 – 75 % del volumen de concreto (70 - 85% de la masa) y a la vez influyen vigorosamente en las propiedades tanto en estado fresco como fraguado, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. Los agregados finos por lo general consisten de arena natural o piedra triturada con partículas en su mayor parte menores que 5 mm. Sin embargo, los áridos gruesos son aquellos considerados de una grava o a su vez la combinación de gravas o rocas trituradas con partículas que predominan los 5 mm (generalmente entre 9.5 y 37.5 mm).

4.9 Del Diseño de mezcla de concreto.

El diseño de mezcla es aquel proceso en el cual se determinan las características requeridas del concreto. La dosificación o el proporcionamiento hace referencia al proceso de determinar las cantidades de los componentes del concreto haciendo uso de “materiales locales” para de esta manera lograr las características especificadas. Un concreto proporcionado adecuadamente cumple con las siguientes características:

- Trabajabilidad aceptable del concreto fresco.
- Durabilidad, apariencia, resistencia y apariencia del concreto endurecido, y
- Economía.

Es de primordial importancia el conocimiento sobre los principios básicos del diseño de mezclas como los cálculos empleados para determinar las proporciones de mezcla.

Las cualidades citadas anteriormente se logran alcanzar en las construcciones con características únicamente de selección adecuada de los materiales y de las características de mezcla. Antes de determinar las proporciones de mezcla, se optan sus características tomando en cuenta el uso que se prevé dar al concreto, tamaño y forma de los elementos, las condiciones de exposición y las propiedades físicas del concreto.

Luego de realizar la selección de las características adecuadas, se procede a la dosificación de la mezcla a partir de datos de campo o de laboratorio. Al considerar que la mayoría de las propiedades requeridas en el concreto endurecido dependen primordialmente de la calidad de pasta cementante, la primera instancia para el proporcionamiento del concreto es la elección de la relación “agua-cemento” apropiada para la resistencia y durabilidad necesarias a las que se dosifica. Para llevar a cabo el diseño de mezcla del concreto se sigue el orden de los siguientes procesos.

4.9.1 Resistencia.- determinación de la resistencia media requerida.

Para el proyecto de investigación se ha considerado una resistencia requerida de 210 Kg/cm^2 Para la determinación de la Resistencia media requerida se realiza los siguientes cálculos:

$$f'c(r) = f'c + 84$$

$$f'c(r) = 210 \text{ Kg/cm}^2 + 84$$

$$f'c(r) = 294 \text{ Kg/cm}^2$$

El valor de resistencia media requerida es la misma para las tres concesiones mineras.

Según (Kosmatka et al., 2004) El promedio de la resistencia media requerida será de la misma forma que la resistencia especificada más aquella tolerancia que lleva en consideración las variaciones de los materiales, métodos de mezclado, transporte y colocación del concreto y de aquellas variaciones en la producción, curado y ensayo de probetas cilíndricas de concreto. Al ser mayor la resistencia media $f'c$, se denomina “ $f'cr$ ”, esta es la resistencia requerida en el diseño de una mezcla de concreto. En la tabla N° 16 se muestran los parámetros para la resistencia media requerida.

Tabla 15. Resistencia a la compresión media requerida

Resistencia a la compresión especificada $f'c$ (Kg/cm^2)	Resistencia a la compresión media requerida (Kg/cm^2)
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Más de 350	$1,10 f'c + 50$

Fuente: STEVEN H. KOSMATKA. Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: El autor.

4.9.2 Determinación de la relación agua cemento a/c .

La tabla N° 17 nos muestra el valor de la relación a/c para diversos números de resistencias, pero no nos indica un valor partiendo de la resistencia media requerida que en el apartado anterior se calculó que fue de $294 Kg/cm^2$. Así se procedió a interpolar entre los factores de $250 - 300 Kg/cm^2$, obteniendo un valor de relación agua cemento $a/c = 0,5584$. Este valor es considerado para las tres concesiones mineras:

Interpolación: $a/c = \{[(300 - 294) * (0,62 - 0,55)] / (300 - 250)\} + 0,55 = 0,5584$.

La relación agua-cemento (a/c) es la masa del agua dividida por la masa del material cementante que puede ser (cemento portland, cemento adicionado, ceniza volante, escoria, humo de sílice y puzolanas naturales). La relación agua-cemento elegida para un diseño de mezcla de concreto deberá ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposiciones anticipadas. La tabla N° 17 muestra los requisitos para varias condiciones de exposición.

Tabla 16. Dependencia entre la relación agua-cemento y resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a compresión a los 28 días Kg/cm^2 (MPa)	Correlación agua/material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0,38	0,31
400	0,43	0,34
350	0,48	0,40
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,72

Fuente: STEVEN H. KOSMATKA. Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: El autor.

4.9.3 Elección del revenimiento o asentamiento.

El valor de asentamiento estimado para el presente proyecto está destinado para la construcción de columnas de edificios.

Tabla 17. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.

Construcción del concreto	Revenimiento o asentamiento mm (plg)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Fuente: STEVEN H. KOSMATKA. Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: El autor.

Los hormigones que tienen asentamientos menores de 15 mm pueden no ser suficientes plásticos y los que tienen asentamientos mayores a 230 mm pueden no ser suficientes cohesivos para que este ensayo sea significativo. (INEN:578, 2010). Según Kosmatka, “son necesarios diferentes valores de asentamiento para varios tipos de construcción. Por lo general se indica el asentamiento en la especificación de la obra como uno de los rangos, como de 50 a 100 mm o como valor máximo que no se debe exceder”.

El ensayo de asentamiento o revenimiento generalmente se utiliza para calcular la consistencia del concreto. Para una proporción establecida de cemento y agregado, sin aditivos, mientras mayor sea el revenimiento, más húmeda es la mezcla. El revenimiento es un indicador de trabajabilidad al momento de evaluar mezclas similares.

La norma ASTM C-94 y la norma IRAM 1666 presentan los detalles de tolerancias para el asentamiento. Así, cuando no existen especificaciones en el asentamiento, se puede tomar en cuenta un valor aproximado de los que se ilustran en tabla N° 18 para la consolidación mecánica del concreto. Dentro del ajuste de mezcla, resulta legal aumentar el asentamiento en cerca de 10 mm con la adición de 2 kilogramos de agua por metro cúbico de concreto. (Kosmatka et al., 2004)

4.9.4 Contenido de agua.

De los resultados obtenidos en el laboratorio y tomando en cuenta los valores de la tabla N° 20 de acuerdo al tamaño máximo nominal (TMN) se determina: la cantidad de agua y porcentaje de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, en cada una de las concesiones mineras.

Tabla 18. Cantidad de agua y % aire para la dosificación del presente trabajo de investigación.

CONCESIONES	TMN (mm)	Cant. agua (kg/m ³)	% Aire
“Junior” JR_001	50	169	0,5
“San Juan” SJ_002	50	169	0,5
Cantera Sol_003	50	169	0,5

Fuente: STEVEN H. KOSMATKA. Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: El autor

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la variación de la cantidad de cualquier ingrediente del concreto generalmente afecta las proporciones de otros ingredientes, o a su vez, altera las características de la mezcla. Kosmatka ilustra un ejemplo: “la adición de 2 kg de agua por metro cúbico aumentará el revenimiento o asentamiento en cerca de 10 mm, además de aumentar el volumen de aire y el contenido de pasta (cemento) y disminuir el volumen de agregado y la masa volumétrica del concreto. En el ajuste de mezclas para el mismo asentamiento, una disminución de 1% en el contenido del aire permitirá el aumento de la demanda de agua en cerca de 3 kg por metro cúbico”.

El contenido de agua se da por un número diverso de factores como: tamaño, forma y textura del agregado, asentamiento, relación agua-cemento (a/c), contenido de agua, tipo e inclusive contenido de material cementante, aditivos y condiciones ambientales. Para la cantidad de contenido de agua se estima la siguiente tabla.

Tabla 19. Requisitos aproximados de agua, mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y TMN del agregado.

Revenimiento (asentamiento) mm	Agua, kg/m ³ de concreto, para los tamaños de agregado indicados							
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
	Concreto sin aire incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Fuente: STEVEN H. KOSMATKA. Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: El autor

El contenido de agua que se emplea para los agregados angulares se ilustra en la tabla N° 20. Para concretos y agregados, lo contemplado en la tabla puede reducirse con una aproximación de 10 kg/m³ para el agregado subangular, 20 kg/m³ para la grava con partículas trituradas y 25 kg/m³ para la grava redondeada, para llegar a obtener el asentamiento especificado. “Esto muestra la necesidad de las mezclas de prueba para los materiales locales, pues cada fuente de agregado es diferente y puede afectar de manera diversa las propiedades del concreto”. (Kosmatka et al., 2004)

4.9.5 Contenido de material cementante.

Una vez obtenida la relación agua/cemento (0,55 en este trabajo de investigación para las tres concesiones) y la cantidad de agua obtenida en el apartado anterior, resulta fácil determinar la cantidad de cemento despejando (c):

a: cantidad de agua.

c: cantidad de cemento

$$a/c = 0,5584$$

$$c = a/0,5584$$

$$c = 169 \text{ Kg/m}^3 / 0,5584$$

$$c = 302,65 \text{ Kg/m}^3$$

Tabla 20. Cantidad de agua, relación a/c y cantidad de material cementante calculado.

CONCESIONES	Cant. agua (kg/m ³)	Relación a/c	Cant. Cemento (Kgf/m ³)
“Junior” JR_001	169	0,5584	302,65
“San Juan” SJ_002	169	0,5584	302,65
Cantera Sol_003	169	0,5584	302,65

Elaboración: El autor.

Además se puede tomar en consideración los valores de la tabla N° 22, aunque no sea este el caso en el presente trabajo de investigación.

Tabla 21. Requisitos mínimos de material cementante para concreto en superficies planas.

TMN mm (pulg.)	Material cementante (kg/m ³)
35,7 (1 ^{1/2})	280
25 (1)	310
19 (3/4)	320
12,5 (1/2)	350
9,5 (3/8)	360

Fuente: STEVEN H. KOSMATKA. Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: El autor.

4.9.6 Cálculo de volúmenes

Para el cálculo de volúmenes se indica en primera instancia los resultados obtenidos que se muestran en la tabla N° 23 y luego se detalla el proceso a seguir para determinar cada uno de ellos respectivamente.

Tabla 22. Resultado del cálculo de volúmenes.

	Cálculo de volúmenes						
	A. grueso		Aire (m ³)	Cemento (m ³)	Agua (m ³)	A. fino	
	Cant. (kgf)	Vol. (m ³)				Cant. (kgf)	Vol. (m ³)
Área 1 JR_001	1458,60	0,550	0,005	0,101	0,169	459,465	0,175
Área 2 SJ_002	1295	0,496	0,005	0,101	0,169	599,84	0,229
Área 3 Sol_003	1310,40	0,493	0,005	0,101	0,169	605,52	0,232

Elaboración: El autor.

4.9.6.1 Volumen del agregado grueso

Mediante la tabla N° 23 Determinamos el factor de volumen del agregado grueso, en donde se considera la densidad del mismo en estado seco y compacto, y el módulo de finura (MF) del árido fino. De ser necesario se podría interpolar los datos detallados de la tabla antes mencionada.

Tabla 23. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

TMN máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 (^{3/8})	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (^{1/2})	0,59	0,57	0,55	0,53
19,00 (^{3/4})	0,66	0,64	0,62	0,60
25,00 (1)	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1 ^{1/2})	0,75	0,73	0,71	0,69
50 (2)	0,78	0,76	0,74	0,72
75 (3)	0,82	0,80	0,78	0,76
150 (6)	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: STEVEN H. KOSMATKA. Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: El autor

El módulo de finura (MF) es de: 2,15 para JR_001; 2,87 para SJ_002 y 3,27 para Sol_003. Considerando el TMN de 50 mm en la tabla N°23 para las tres concesiones mineras, los valores del factor de volumen asignados para JR_001, SJ_002 y Sol_003 son 0,78 m³; 0,74 m³ y 0,72 m³ respectivamente. Se tiene entonces:

“Junior” JR_001

$$V. A. Grueso = ((Factor\ de\ volumen * \delta\ aparente\ compacta) / \delta. relativo (sss))$$

$$V. A. Grueso = ((0,78\ m^3 * 1870\ kg/m^3) / (2650\ kg/m^3))$$

$$V. A. grueso = 0,550\ m^3.$$

$$Cantidad = (Factor\ de\ volumen * \delta\ aparente\ compacta) /$$

$$Cantidad = (0,78\ m^3 * 1870\ kg/m^3)$$

$$Cantidad = 1458,60\ kgf.$$

4.9.6.2 Volumen de aire

El cálculo de la cantidad de volumen de aire describe la relación del cociente entre el contenido mismo de aire determinado en la tabla N° 20 del apartado 4.9.4 del contenido de agua y el valor de 100. Así, tenemos:

$$V. \text{ Aire} = (\text{Contenido de aire}/100)$$

$$V. \text{ Aire} = (0,5/100)$$

$$V. \text{ Aire} = 0,005 \text{ m}^3.$$

4.9.6.3 Volumen de cemento

La cantidad de volumen de cemento es la relación entre el contenido mismo de cemento determinado en la tabla N° 21 del apartado 4.9.5 de la cantidad de material cementante y la densidad del cemento. Este volumen de cemento determinado es el mismo para las tres concesiones mineras.

Así, tenemos:

$$V. \text{ cemento} = (\text{Contenido de cemento}/\delta. \text{ Cemento})$$

$$V. \text{ cemento} = (302,65 \text{ kg}/ 3000 \text{ kg/m}^3)$$

$$V. \text{ cemento} = 0,101 \text{ m}^3.$$

4.9.6.4 Volumen de agua

Para el cálculo de la cantidad de volumen de agua se establece la relación del cociente entre la cantidad de agua determinada en la tabla N° 19 del apartado 4.9.4 y la densidad de la misma (1000 kg/m^3). Este valor de volumen de agua determinado se lo utiliza para las tres concesiones mineras. Así, tenemos:

“Junior” JR_001, “San Juan” SJ_002 & Cantera Sol_003

$$V. \text{ agua} = (\text{Contenido de agua}/\delta. \text{ Agua})$$

$$V. \text{ agua} = 169 \text{ kg}/ 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$V. \text{ agua} = 0,169 \text{ m}^3.$$

4.9.6.5 Volumen de agregado fino

El resultado del volumen del árido fino es el producto de la sustracción de 1 m³ de mezcla, de la sumatoria de todos los volúmenes antes calculados (agregado grueso, aire, cemento, agua). El volumen del agregado fino se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (V. \text{ Agregado grueso} + V. \text{ aire} + V. \text{ cemento} + V. \text{ agua})$$

“Junior” JR_001

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (V. \text{ Agregado grueso} + V. \text{ aire} + V. \text{ cemento} + V. \text{ agua})$$

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (0,550 + 0,005 + 0,101 + 0,169) \text{ m}^3.$$

$$V. \text{ agregado fino} = 0,175 \text{ m}^3.$$

$$\text{Cantidad} = (V. \text{ agregado fino} * \delta \text{ real sss})$$

$$\text{Cantidad} = (0,175 \text{ m}^3 * 2630 \text{ kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad} = 459,465 \text{ kgf.}$$

4.9.7 Valores de dosificación final por m³.

Los resultados de los valores de dosificación por metro cúbico obtenidos en el laboratorio se describen en la siguiente tabla:

Tabla 24. Valores de dosificación por m³ calculados.

Concesiones	Cemento (Kg)	Agua (Kg)	Agregado fino (Kg)	Agregado grueso (Kg)
“Junior” JR_001	302,65	169	459,46	1458,60
“San Juan” SJ_002	302,65	169	599,84	1295
Cantera Sol_003	302,65	169	606,79	1310,40

Elaboración: El autor.

Entonces, se calculan las cantidades por m³. Los agregados se deben pre-humedecerse y secarse hasta alcanzar un estado saturado con superficie seca (SSS) esto con la finalidad de simplificar cálculos y a la vez suprimir posibles errores causados por variaciones en el contenido de humedad de los agregados.

Los agregados se colocan en vasijas cubiertas para lograr mantenerse en el estado (SSS). El tamaño de mezcla depende de los equipos disponibles y de la cantidad y tamaño de las probetas cilíndricas a utilizar. Por defecto entre mayor sean las revolturas mayores serán los datos precisos obtenidos.

Para las muestras de mezclas de concreto es recomendable realizarlo de forma mecánica, pues representa mejor las condiciones de la obra, además que es obligatorio en el caso de concretos con aire incluido. Para este procedimiento se debe considerar los procedimientos de mezclado que se detallan en la norma ASTM C-192, (AASHTO T 126), COVENIN 0340, entre otras. (Kosmatka et al., 2004)

4.9.8 Valores de dosificación corregida por absorción.

Los valores de corrección en la dosificación es de suma importancia para un buen desarrollo y calidad del mismo, estos valores son inversamente proporcional con el asentamiento pero directamente proporcional con la resistencia y calidad del hormigón, es decir; a mayor corrección, menor asentamiento y por ende mayor será su resistencia y calidad, dependiendo para que tipo de obras se la utilice, en el presente trabajo de investigación la elección del asentamiento fue destinado para la construcción de columnas de edificios. Así, los valores de dosificación corregida por absorción obtenidos en el laboratorio se muestran en la tabla N° 26:

Tabla 25. Valores calculados de dosificación corregida por absorción.

Concesiones	Cemento (Kg)	Agua (Kg)	Agregado fino (Kg)	Agregado grueso (Kg)
“Junior” JR_001	302,65	169	459,46	1458,60
“San Juan” SJ_002	302,65	169	599,84	1295
Cantera Sol_003	302,65	169	606,79	1310,40
Corrección por absorción				
“Junior” JR_001	340,48	190,12	459,46	1458,60
“San Juan” SJ_002	354,25	197,82	599,84	1295
Cantera Sol_003	349,21	195	606,79	1310,40

Elaboración: El autor.

La dosificación es un proceso de medida, de masa o volumen, de los componentes del concreto y su entrada a la concreteira o mezcladora. Para obtener como resultado un concreto de buena calidad uniforme, los componentes deben medirse con precisión para cada revoltura (bachada, amasada, pastón). La mayoría de las especificaciones requiere que la dosificación sea por masa y no por volumen. El agua y los aditivos líquidos se pueden medir con precisión tanto por volumen como también por masa.

Las especificaciones normalmente requieren que los materiales se midan para revolturas (bachada, pastón) individuales con la siguiente precisión: material cementante $\pm 1\%$, agregados $\pm 2\%$, agua $\pm 1\%$ y aditivos $\pm 3\%$. Los equipos deben ser capaces de medir las cantidades con estas tolerancias para la menor cantidad de mezcla normalmente usada.

4.9.9 Valores de dosificación para tres cilindros

Los valores para la dosificación de tres cilindros de hormigón obtenidos en el laboratorio se describen a continuación en las tablas N° 27 y 28:

Dimensiones del cilindro: diámetro= 0,17m; Altura= 0,3m; volumen del cilindro= 0,0068 m³.

El volumen total de la muestra resulta del producto entre el volumen del cilindro y el número de cilindros (3), dándonos un volumen total de muestra de 0,20 m³. Así, tenemos:

Tabla 26. Valores de dosificación sin corrección.

Dosificación sin corrección	
Materiales	Masa
Agua	3,45
Cemento	6,18
Agregado Grueso	26,77
Agregado Fino	12,40

Elaboración: El autor.

Tabla 27. Valores de dosificación corregida por absorción.

Dosificación corregida por absorción	
Materiales	Masa
Agua	3,98
Cemento	7,13
Agregado Grueso	26,77
Agregado Fino	12,40

Elaboración: El autor.

Esta es la fórmula para determinar la corrección mediante absorción:

$$C = M. \text{ agua} + (M. \text{ Ag} * (\text{Po. Ag} / 100)) + (M. \text{ Af} * (\text{Po. Af} / 100))$$

Donde:

C= Corrección por absorción.

M. agua= masa de agua sin corrección.

M. Ag= masa de agregado grueso.

Po. Ag= % de absorción de agregado grueso.

M. Af= masa de agregado fino.

Po. Af= % de absorción de agregado fino.

4.10 Hormigón de cemento hidráulico: determinación del asentamiento.

En el presente trabajo de investigación se ha considerado un asentamiento de máximo 100 mm y mínimo 25 mm para construcciones de columnas de edificios. De esta manera se han obtenido los siguientes resultados que se muestran en la tabla N° 29:

Tabla 28. Resultados de asentamientos obtenidos en laboratorio.

Concesiones	Asentamiento (mm)
JR_001	57
SJ_002	65
Sol_003	67

Elaboración: El autor.

4.11 Hormigón de cemento hidráulico.- elaboración y curado de especímenes para ensayo.

Una vez efectuada la mezcla de hormigón, se procedió a colocar en los moldes cilíndricos en tres capas consecutivas, al término de cada capa se aplicó 25 golpes con una varilla de compactación en forma helicoidal. Para cada capa superior, se permitió que la varilla penetre toda la capa que está siendo compactada e ingrese a la capa inferior no más de 25 mm. Luego de haber compactado cada capa se golpeó en el exterior del molde entre 10 a 15 veces con un mazo de goma. Finalmente se realizó el terminado con la mínima manipulación necesaria para para producir una superficie plana que esté nivelada con el borde superior del molde de manera que no tenga proyecciones o depresiones mayores a 3,3 mm.

Luego de elaborados los 9 cilindros de hormigón y pasadas 24 horas se procedió a desencofrarlos para someterlos a curación. Posteriormente se procedió al curado que consistió en sumergir los cilindros durante 7 días en una piscina de agua, como se muestra en la ilustración N° 12



Ilustración 12. Elaboración y curado de cilindros de hormigón.
Elaboración: El autor.

Datos de curado: Piscina: 1,5m largo x 1,50 ancho x 0.40m fondo; Líquido de curación; Agua a temperatura ambiente; Tiempo de curado: 7 días.

El procedimiento de esta norma únicamente se lo puede emplear para hormigones cuyo asentamiento se pueda medir en el cono de Abrams. Si los especímenes elaborados tienen un curado normalizado, como lo establece esta norma, los resultados de los ensayos de resistencia se utilizarán para cualquiera de los siguientes propósitos:

- Aceptar los ensayos para la verificación de la resistencia especificada.
- Verificar si la dosificación de una mezcla es la adecuada para cumplir con la resistencia.
- Control de calidad.

Si los especímenes elaborados tienen un curado de obra, como lo establece esta norma, los resultados de los ensayos de resistencia se utilizarán para cualquiera de los siguientes propósitos:

- Determinar si la estructura es apta para ser puesta en servicio.
- Comparar los resultados de ensayo con curado normalizado u otros resultados de ensayos de diversos métodos de ensayo en campo.
- Verificar el adecuado curado y protección del hormigón de la estructura.
- Determinar el tiempo requerido para la remoción de los puntales y encofrados.

4.12 Hormigón de cemento hidráulico.- determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.

Luego de que los cilindros de hormigón fueron sometidos a la resistencia de compresión se obtuvieron los siguientes resultados detallados en la tabla N° 30.

Tabla 29. Dimensiones de los cilindros de ensayo

Etiqueta	Cilindros					
	Dimensiones (cm)				Peso (Kg)	Área (cm ²)
	Diametro	Promedio	altura	Promedio		
JR_001 a)	14,97	15,01	29,93	29,95	12,655	176,83
	15,04		29,97			
JR_001 b)	14,82	14,91	29,73	29,69	12,38	174,60
	15		29,65			
SJ_002 a)	14,94	14,97	29,59	29,62	12,231	175,89
	14,99		29,65			
SJ_002 b)	15,17	15,15	29,49	29,5	12,369	180,15
	15,12		29,51			
Sol_003 a)	15,03	15,15	30,33	30,35	12,684	180,27
	15,27		30,36			
Sol_003 b)	14,97	14,97	30,24	30,17	12,59	176,01
	14,97		30,09			

Elaboración: El autor.

Tabla 30. Resistencia con carga aplicada a los 7 y 28 días.

Resistencia con carga aplicada					
Carga soportada KN	Resistencia en:		A los 7 días (75%)	A los 28 días (100%)	Promedio
	KN/cm ²	Mpa	Kg/cm ²		
254,2	1,44	14,38	169,65	226,20	227,38
273,5	1,57	15,66	171,41	228,55	
299,8	1,70	17,04	173,81	231,74	229,27
300,5	1,67	16,68	170,10	226,80	
302,3	1,68	16,77	171,00	228,00	230,57
301,8	1,71	17,15	174,85	233,13	

Elaboración: El autor.

(Kosmatka et al., 2004) “La resistencia a compresión especificada $f'c$ a los 28 días, es aquella resistencia que el promedio de cualquier grupo de tres ensayos consecutivos de resistencia debe adquirir o superar. El ACI 318 requiere que el $f'c$ sea, por lo menos, 180 kg/cm² o 17.5 MPa (2500 lb/pulg²). Ninguna prueba individual (promedio de dos cilindros) puede tener resistencia de 36 kg/cm² o 3.5 MPa (500 lb/pulg²) inferior a la resistencia especificada. Los especímenes (probetas) se deben curar bajo las condiciones de laboratorio para una determinada clase de concreto (ACI 318). Algunas especificaciones permiten rangos alternativos”.

4.13 Análisis de roturas de falla.

La NTE INEN 1 573:2010 presenta un esquema práctico sobre los modelos típicos de fractura en los cilindros de hormigón hidráulicos.

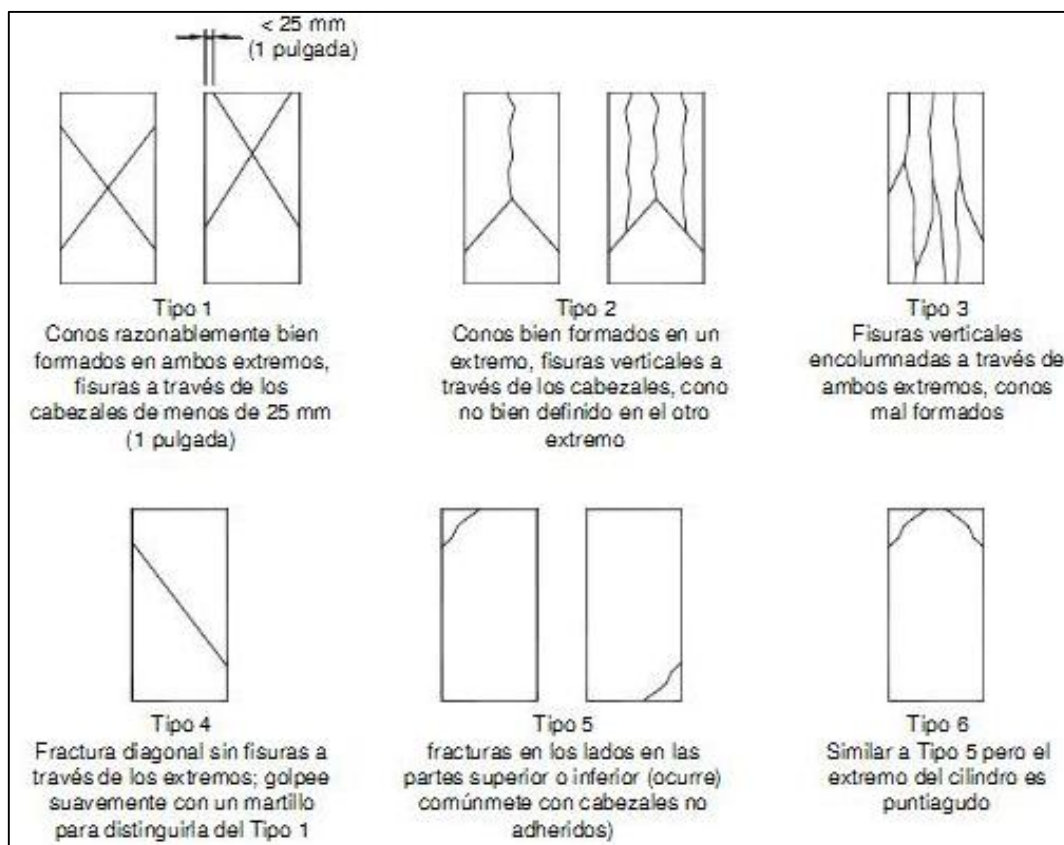


Figura 9. Modelos típicos de fractura.

Fuente: NTE INEN 1 573:2010.

A partir del análisis del ensayo de resistencia a la compresión, luego de haber sido sometidos a una carga portante, se pudo llevar a cabo el análisis petrográfico de las partículas contenidas dentro de cada uno de los cilindros rotos. Así, tenemos:

“Junior” JR_001

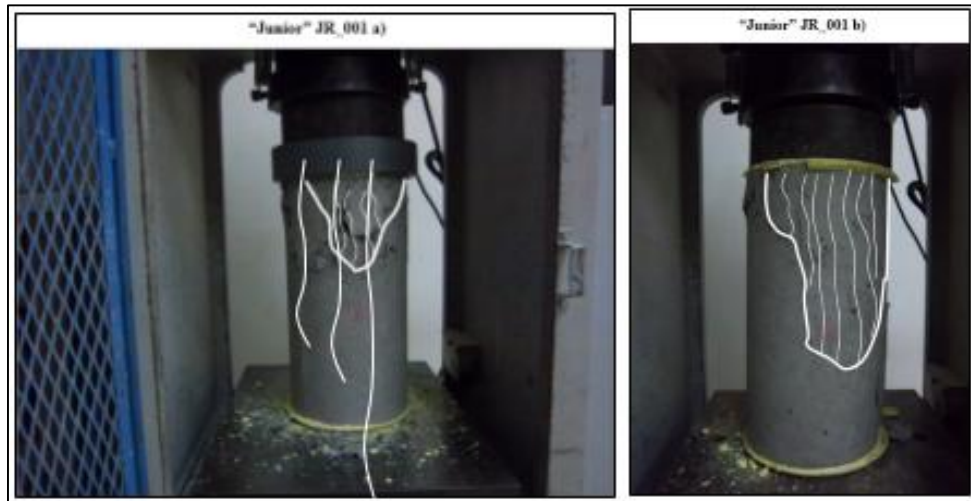


Ilustración 13. Rotura de fallas. a) tipo2 y b) tipo4.

Fuente: NTE INEN 1 573:2010.

Elaboración: El autor.

“San Juan” SJ_002

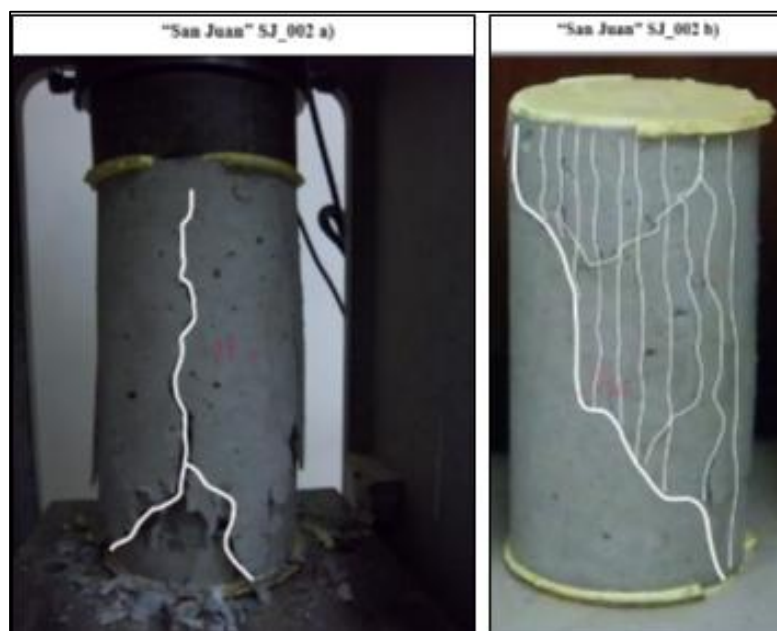


Ilustración 14. Rotura de fallas. a) tipo 2 y b) tipo4.

Fuente: NTE INEN 1 573:2010.

Elaboración: El autor.

“Solamar” Sol_003

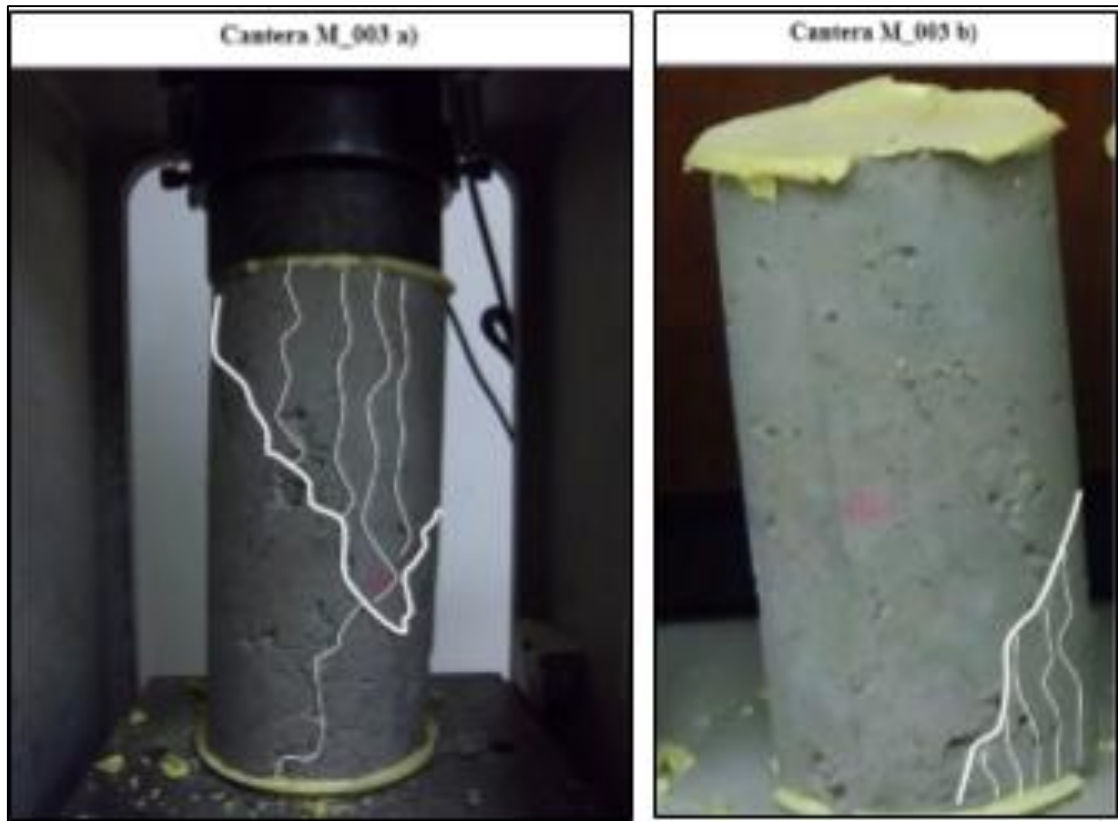


Ilustración 15. Rotura de fallas. a) tipo 4 y b) tipo 5.

Fuente: NTE INEN 1 573:2010.

Elaboración: El autor.

CONCLUSIONES

Una vez finalizado el trabajo de experimentación en laboratorio y haciendo uso de materiales de tres zonas consideradas como estratégicas dentro del cantón Loja, se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

De acuerdo a las características geotécnicas y propiedades físico-mecánicas de los materiales estudiados y evaluados en el laboratorio se pudo determinar que el tipo de áridos tanto fino como grueso, provenientes de estas tres concesiones mineras, cumple con las especificaciones y recomendaciones dadas por las normas ASTM, ASSHTO, NTE INEN con relación a las siguientes propiedades: granulometría, resistencia al desgaste por abrasión, densidad relativa y capacidad de absorción del árido fino y grueso, determinación de masa unitaria del árido fino y grueso, absorciones del agregado fino y grueso; lo cual garantiza los parámetros necesarios que deben cumplir los áridos para la fabricación de hormigones.

Las concesiones mineras “Junior”, “San Juan” y “Solamar” cumplen con los requisitos de calidad que se especifican en la norma ASTM C 33, INEN 872 EHE y NCh para hormigones en relación a las propiedades antes mencionadas de acuerdo a la dosificación para 210 Kg/cm^2 .

Además se da cumplimiento del artículo 39 sobre la calidad de los materiales del capítulo II de Regulaciones Técnicas de la Ordenanza Municipal de Loja para Regular, Autorizar y Controlar la Explotación y Transporte de Materiales Áridos y Pétreos en el Cantón Loja.

En el análisis petrográfico de la concesión minera “Junior” se determinó el contenido de: cuarcita (50%), cuarcita de moscovita y biotita (25%), cuarzo-mineral (10%), filita (10), cuarzo lechoso (5%) y otros minerales (biotita, plagioclasa, cuarzo, estaurolita, piroxenos). Se trata de un agregado de partículas redondeadas a sub-redondeadas, con los cuales se obtuvo una resistencia a la compresión de $227,38 \text{ Kg/cm}^2$.

Con base a las características geológicas y geográficas de cada una de las concesiones mineras, éstas quedan como áreas idóneas y competentes del uso y ocupación del suelo para la explotación, procesamiento, transporte y almacenamiento de materiales de construcción de acuerdo al artículo N°1 de la Ordenanza Municipal de Loja.

La petrografía de la concesión minera “San Juan” describe el contenido de: cuarcita (40%), filita (25%), cuarzo mineral (20%), caliza (10%) y esquisto (5%) estos materiales presentan la característica de cantos angulosos a sub-redondeados lo que es favorable en cuanto a la resistencia debido a la adherencia de los materiales en la preparación de cilindros de hormigón, dando así una resistencia a la compresión de $229,27 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.

La concesión minera “Solamar” considerada como tercer punto estratégico para la caracterización de materiales pétreos en obras de infraestructura del cantón Loja contiene: esquisto (30%), cuarcita (30%), roca metamórfica de la unidad Chiguinda (20%), cuarzo mineral (10%) y cuarcita (10%). Los clastos angulosos a sub-angulosos son característicos de esta zona de estudio obteniendo un resultado de resistencia a la compresión de $230,57 \text{ Kg/cm}^2$.

De los resultados obtenidos de encuestas aplicadas a propietarios de viviendas en construcción de la ciudad de Loja se dedujo que los materiales pétreos cercanos al área urbana (lugar donde se encuentra ubicada la concesión minera “San Juan”) son de baja consistencia y calidad debido a la presencia de impurezas y contaminantes. Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas en el laboratorio, estos materiales se consideran como aptos para ser empleados en obras civiles al obtener como producto una resistencia superior a 210 Kg/cm^2 . (Véase tabla 31).

En cuanto al análisis petrográfico se determinó que la concesión minera “San Juan” presenta mayor cantidad de contaminantes que las concesiones mineras “Junior” y “Solamar”. No obstante, es necesario aclarar que estos contaminantes presentes en los agregados de la concesión minera “San Juan” no representan un porcentaje elevado que disminuya la calidad de los materiales e impida su uso en obras de construcción.

RECOMENDACIONES

Es recomendable que el muestreo de áreas de suelo para futuras investigaciones sea siempre representativas tomando en cuenta la función de la investigación a seguir para un correcto análisis en el laboratorio.

Las concesiones mineras Junior, San Juan y Solamar deben garantizar la calidad del material pétreo que expenden a la ciudadanía, mediante registros que sean expuestos, cumplan y a la vez sean validados por la Ordenanza Municipal encargada de autorizar y controlar la explotación de áridos en el cantón de Loja, de esta manera se comprueba que el material cumple con los requisitos de normas nacionales e internacionales y su uso sería una garantía al momento de construir obras civiles evitando posibles problemas durante la vida útil de la obra.

Para posibles estudios a mayor detalle y con fines de evaluación de las propiedades del material pétreo es recomendable la determinación de parámetros adicionales a los del presente trabajo de investigación como: contenido de terrones de arcilla, densidad en seco y húmedo, partículas livianas, impurezas orgánicas en arenas, desgaste a los sulfatos e impurezas orgánicas, entre otras más que requiere la norma INEN 872, ASTM C 33, NCh 163, MTOP para hormigón.

BIBLIOGRAFÍA

- Aduvire, O., Álvarez, R., Aznar, J., Barrionuevo, R., Benito, A., Cancela, D., . . . Zuazo, P. (2003). *Manual de Prospección, Explotación y Aplicaciones*. Madrid: Gráficas Arias Montano S.
- Alejandro, R. A. (2010). *"Diseño de hormigones de alta resistencia con el uso de agregados especiales y su aplicación en edificaciones "*. Loja.
- Anuario N° 29. (2006). Concesiones Mineras y Proceso Industrial Minero. "Determinación de Concesiones Mineras en Venezuela." Recuperado de monografias.com/trabajos90/concesiones-mineras-y-proceso-industrial-minero/concesiones-mineras-y-proceso-industrial-minero.shtml
- Blázquez, Luis. B. (2002). "Manual de proyectos de carreteras".
- Chillogallo, C. & Jiménez J. (2005). *"Evaluación del hormigón y de los procesos de control de calidad utilizados en la ciudad de Loja"*. Trabajo de fin de titulación Ingeniería Civil. UTPL.
- Chinchón Yepes, S., & Sanjuán Barbudo, M. (2008). *"El cemento de aluminato de calcio y sus prefabricados"*. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- COGUANOR. Comisión Guatemalteca de Normas (2010). Ministerio de Economía. Calzada Atanasio Azul 27-32 zona 12. Referencia ICS. <http://www.mineco.gob.gt> Guatemala.
- Comisión Nacional Áridos Chile. (2001). "Industria del Árido en Chile - Sistematización de Antecedentes Técnicos y Ambientales".
- Dirección General del Desarrollo Industrial España. (2005). *"Instrucción sobre el control de los áridos utilizados por las empresas"*.
- Edward, J. T. (2005). *"Ciencias de la Tierra Una introducción a la Geología Física"*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- INEN. (2010). Áridos. determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Quito.
- INEN, N. (2010). 856:2010. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Quito.
- INEN, NTE. (2010). Áridos. Detereminación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Quito
- INEN:578, N. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento* . Quito.
- IGM. (1975). Mapa Geológico del Ecuador 1: 100.000. Hoja geológica. J. B. Kennerley. Servicio Nacional de geología y Minería. Quito.
- Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile. (1998). *Medios filtrantes granulares utilizados en el tratamiento de agua*.
- Lambe, T. W & Whitman, R. V. (1997). *Mecánica de suelos*. México. ISBN 968-18-1894-6

- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. México.
- Melchor, J. (2003). Especificaciones Técnicas Generales Sec. Perú.
- Municipio de Loja. (s.f.). *Jimbilla*. Recuperado el 2016, de <http://www.loja.gob.ec/contenido/jimbilla>
- Ordenanza Municipal de Loja. N° 017-2014. (2014). Ordenanza Municipal para Regular, autorizar y controlar la Explotación y Transporte de Materiales Áridos y Pétreos en el Cantón Loja.
- Paladines, A., & Soto, J. (2010). "*Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador*". Loja: UTPL.
- Sánchez, J., & Gutiérrez, A. (s.f.). "*Aspectos químicos del árido reciclado relacionados con la durabilidad del hormigón*".
- Santos, M., Moss, R., & Noboa, G. (2002). *Reglamento general a la ley orgánica del consumidor publicada en el suplemento del registro oficial N° 116 del 10/07/2002*.
- Sanz, C. M. (2003) "Áridos <<Panorama Minero edición>>". Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España
- Tarbutk, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Ed.8. Madrid: Pearson Educación S. A.
- Valencia, F. (2004). Lección3. "*Materiales Petreos*". *Áridos Naturales. Introducción*.

ANEXOS

1. Resultado de encuestas.

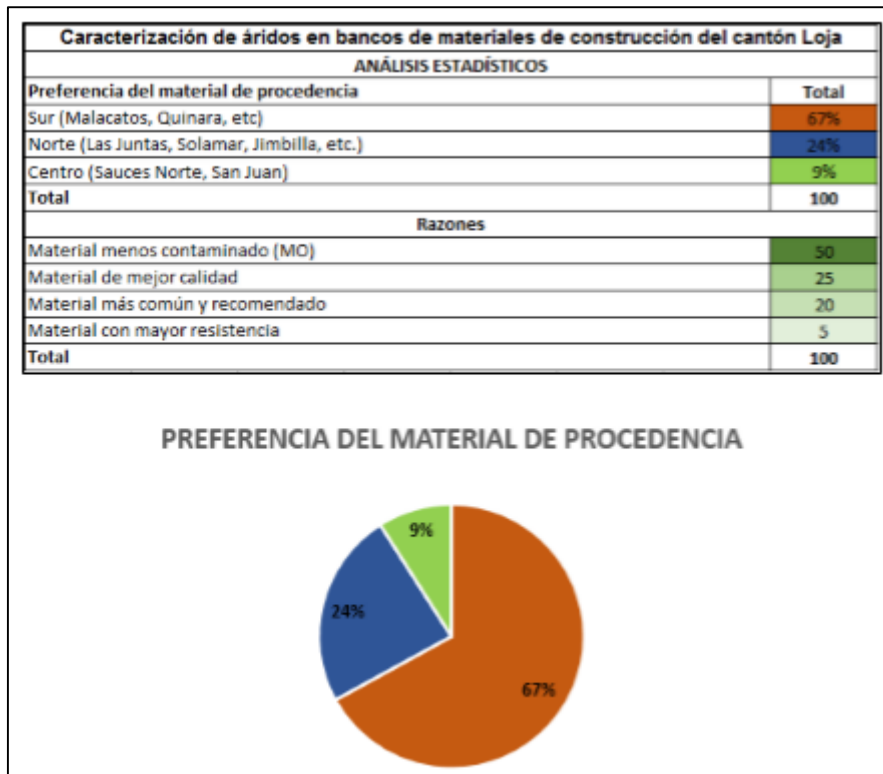



Figura 10. Sondeo de preferencia del material de procedencia..

Fuente: Datos recogidos de encuestas.

Elaboración: El autor.



CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS EN BANCOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL CANTÓN LOJA

*Required

1. ¿Cree ud que es verdaderamente importante la calidad de los materiales pétreos empleados en obras de construcción? *

- Si
- No

2. ¿Considera ud que la calidad del árido depende también de la procedencia de su extracción (canteras, ríos, playas, etc.)? *

- Si
- No

3. ¿Qué tipo de árido considera ud que posee las mejores características y rendimiento en la construcción? *

- Árido redondeado
- Árido sub-redondeado
- Árido anguloso

4. ¿Tiene ud conocimiento técnico de la calidad del material pétreo empleado en su obra? *

- No, el arquitect@ / ingenier@ me lo recomendó
- Si, mediante parámetros de calidad
- Me han recomendado que el material de cierto sector es el mejor

5. ¿De qué sector prefiere el material solicitado para su obra de construcción?

- Minas o canteras (aristas angulosas)
- De río (redondeados, pocas impurezas)
- Triturado (minerales en exposición)
- Una mezcla (triturado - de río)

6. Al cursar el río por la ciudad de Loja, ¿cree ud que lleva consigo impurezas que pueden alterar la calidad de los áridos destinados a la construcción?

- Si
- No

7. De acuerdo a su experiencia ¿Cuáles son los elementos que ud considera como contaminantes y que reducen la calidad de los áridos?

Your answer

8. ¿Tiene ud conocimiento acerca de las normas ASTM?

- Si
- No

9. ¿Cree ud que el material solicitado para su obra de construcción pasó por un control bajo ciertas normas como la ASTM?

- Si
- No

10. En los lugares de expendio de materiales pétreos, ¿existe una lista de calidad y especificación del material? como:

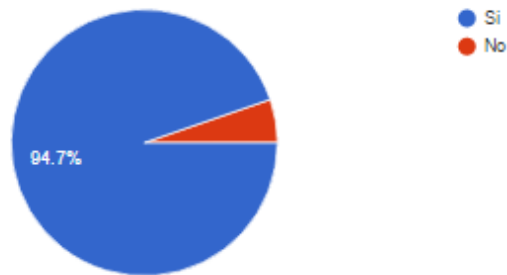
- Granulometría
- Abrasión
- Densidad
- Peso específico
- Impurezas
- Contenido de terrones
- Resistencia a la compresión simple
- Abrasión
- Ninguno de los anteriores
- otros

11. ¿Considera ud que debería colocarse especificaciones de las normas y calidad de materiales para la construcción, en los lugares de expendio? *

- Si
- No

Figura 11. Modelo de encuesta aplicada.
Elaboración: El autor.

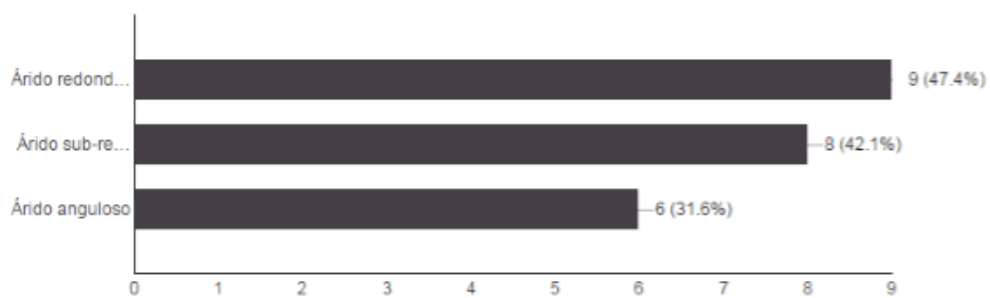
1. ¿Cree ud que es verdaderamente importante la calidad de los materiales pétreos empleados en obras de construcción?



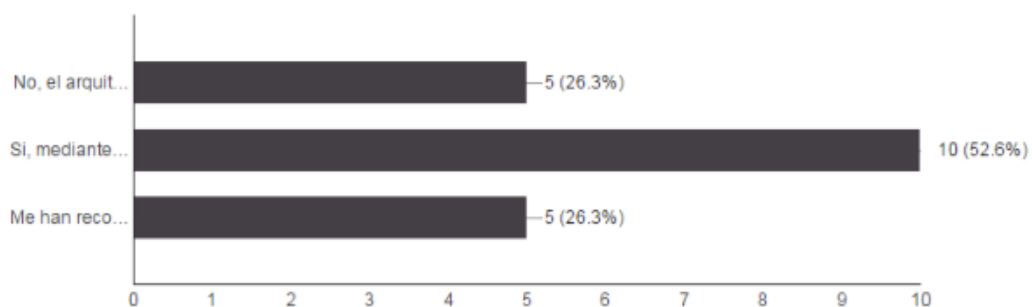
2. ¿Considera ud que la calidad del árido depende también de la procedencia de su extracción (canteras, ríos, playas, etc.)?



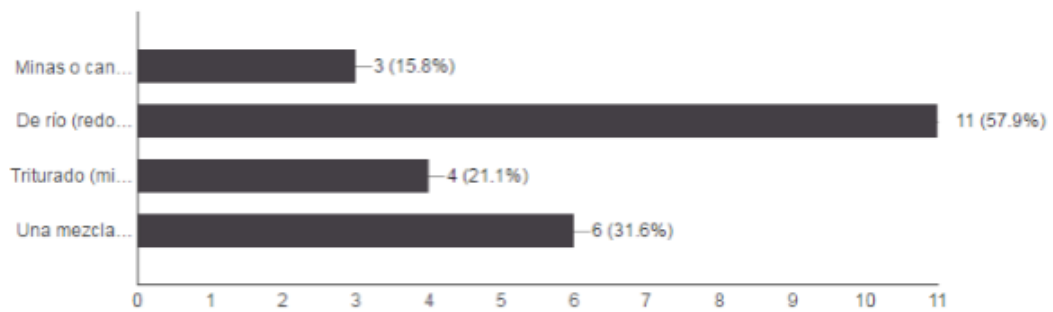
3. ¿Qué tipo de árido considera ud que posee las mejores características y rendimiento en la construcción?



4. ¿Tiene ud conocimiento técnico de la calidad del material pétreo empleado en su obra?



5. ¿De qué sector prefiere el material solicitado para su obra de construcción?



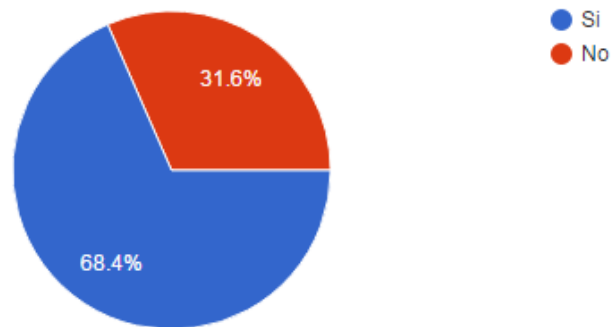
6. Al cursar el río por la ciudad de Loja, ¿cree ud que lleva consigo impurezas que pueden alterar la calidad de los áridos destinados a la construcción?



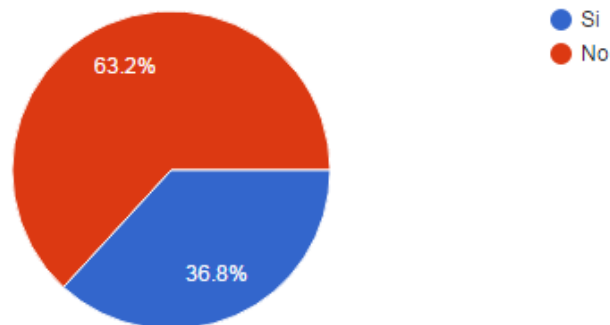
7. De acuerdo a su experiencia ¿Cuáles son los elementos que ud considera como contaminantes y que reducen la calidad de los áridos?

El vidrio, aguas servidas
Materia organica
materia orgánica
Los desecho o basura
Residuos orgánicos, aceites y grasas, mezcla de áridos con residuos como plásticos y de material considerado como escombros
basura como platicos
El tipo de suelo y sus usos anteriores, tratamiento que se de al material, exposición a agua salada, etc.
No he tenido experiencia en este campo
Materia orgánica, compuestos de hierro (Py) que puede estar asociado en algunos cantos.
terrones
Materiales que aceleran la oxidación de los áridos
Todo tipo de material químico, y desechos.
Arcilla

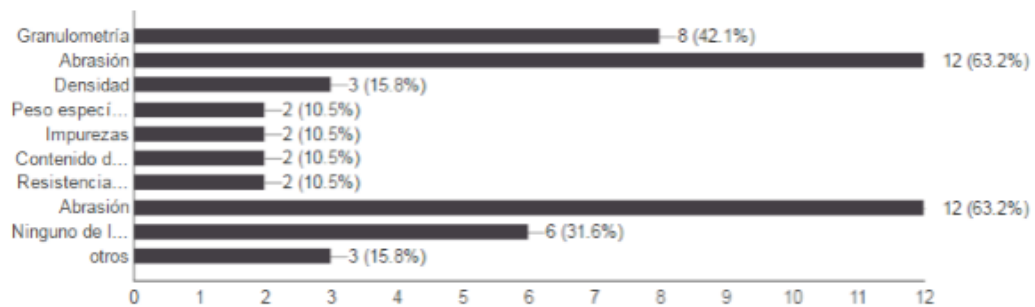
8. ¿Tiene ud conocimiento acerca de las normas ASTM?



9. ¿Cree ud que el material solicitado para su obra de construcción pasó por un control bajo ciertas normas como la ASTM?



10. En los lugares de expendio de materiales pétreos, ¿existe una lista de calidad y especificación del material? como:



11. ¿Considera ud que debería colocarse especificaciones de las normas y calidad de materiales para la construcción, en los lugares de expendio?



Figura 12. Resultados de encuesta aplicada.

Fuente: Datos recogidos de encuestas.

Elaboración: El autor.

2. Impurezas del árido.



Ilustración 16. Contenido de impurezas.

Fuente: El autor.

3. Cálculos del volumen del agregado grueso.

Volumen del agregado grueso

“Junior” JR_001

$$V. A. Grueso = ((\text{Factor de volumen} \times \delta \text{ aparente compacta}) / \delta. \text{ relativa (sss)})$$

$$V. A. Grueso = ((0,78 \text{ m}^3 \times 1870 \text{ kg/m}^3) / (2650 \text{ kg/m}^3))$$

$$V. A. grueso = 0,550 \text{ m}^3.$$

$$\text{Cantidad} = (\text{Factor de volumen} \times \delta \text{ aparente compacta}) /$$

$$\text{Cantidad} = (0,78 \text{ m}^3 \times 1870 \text{ kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad} = 1458,60 \text{ kgf.}$$

“San Juan” SJ_002

$$V. A. Grueso = ((\text{Factor de volumen} \times \delta \text{ aparente compacta}) / \delta. \text{ relativa (sss)})$$

$$V. A. Grueso = ((0,74 \text{ m}^3 \times 1750 \text{ kg/m}^3) / (2610 \text{ kg/m}^3))$$

$$V. A. grueso = 0,496 \text{ m}^3.$$

$$\text{Cantidad} = (\text{Factor de volumen} \times \delta \text{ aparente compacta})$$

$$\text{Cantidad} = (0,74 \text{ m}^3 \times 1750 \text{ kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad} = 1295 \text{ kgf.}$$

“Solamar” Sol_003

$$V. A. Grueso = ((\text{Factor de volumen} \times \delta \text{ aparente compacta}) / \delta. \text{ relativa (sss)})$$

$$V. A. Grueso = ((0,72 \text{ m}^3 \times 1820 \text{ kg/m}^3) / (2660 \text{ kg/m}^3))$$

$$V. A. Grueso = 0,493 \text{ m}^3.$$

$$\text{Cantidad} = (\text{Factor de volumen} \times \delta \text{ aparente compacta})$$

$$\text{Cantidad} = (0,72 \text{ m}^3 \times 1820 \text{ kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad} = 1310,40 \text{ kgf.}$$

4. Cálculos del volumen del agregado fino.

Volumen de agregado fino

“Junior” JR_001

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (V. \text{ Agregado grueso} + V. \text{ aire} + V. \text{ cemento} + V. \text{ agua})$$

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (0,550 + 0,005 + 0,101 + 0,189) \text{ m}^3.$$

$$V. \text{ agregado fino} = 0,175 \text{ m}^3.$$

$$\text{Cantidad} = (V. \text{ agregado fino} * \delta \text{ real sss})$$

$$\text{Cantidad} = (0,175 \text{ m}^3 * 2630 \text{ kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad} = 459,465 \text{ kgf.}$$

“San Juan” SJ_002

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (V. \text{ Agregado grueso} + V. \text{ aire} + V. \text{ cemento} + V. \text{ agua})$$

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (0,498 + 0,005 + 0,101 + 0,189) \text{ m}^3.$$

$$V. \text{ agregado fino} = 0,229 \text{ m}^3.$$

$$\text{Cantidad} = (V. \text{ agregado fino} * \delta \text{ real sss})$$

$$\text{Cantidad} = (0,229 \text{ m}^3 * 2620 \text{ kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad} = 599,84 \text{ kgf.}$$

“Solamar” Sol_003

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (V. \text{ Agregado grueso} + V. \text{ aire} + V. \text{ cemento} + V. \text{ agua})$$

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (0,493 + 0,005 + 0,101 + 0,189) \text{ m}^3.$$

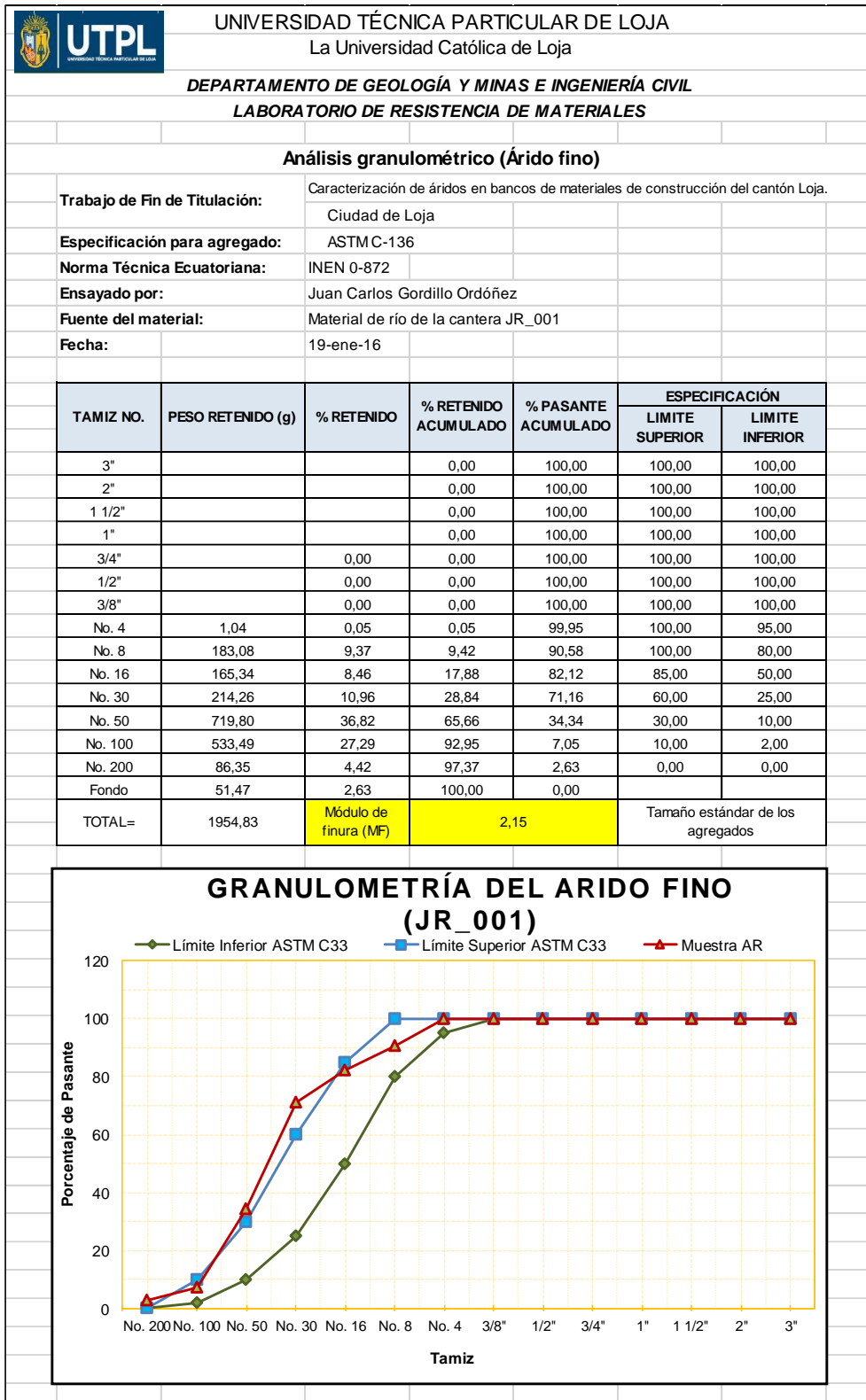
$$V. \text{ agregado fino} = 0,232 \text{ m}^3.$$

$$\text{Cantidad} = (V. \text{ agregado fino} * \delta \text{ real sss})$$

$$\text{Cantidad} = (0,232 \text{ m}^3 * 2610 \text{ kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad} = 605,52 \text{ kgf.}$$

5. Granulometría

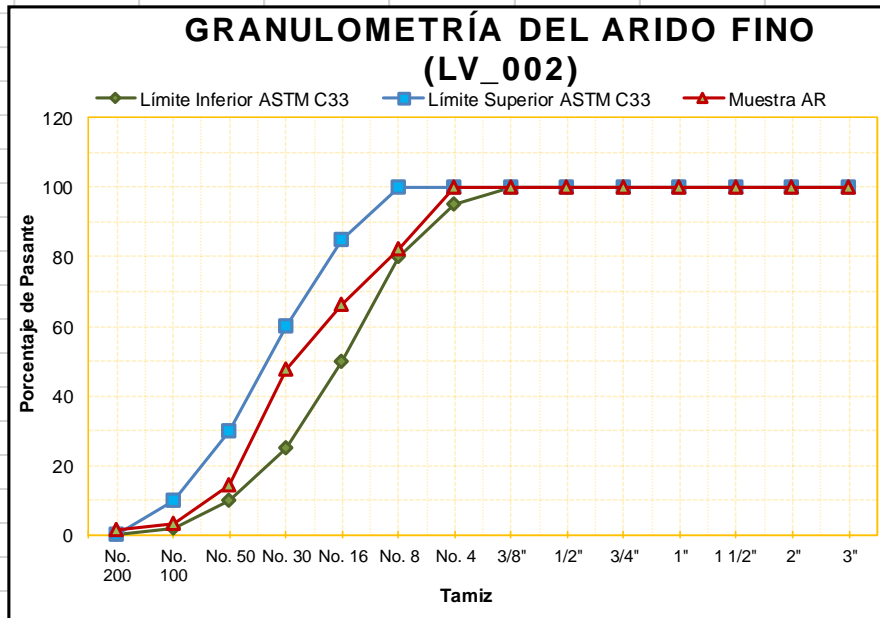




Análisis granulométrico (Árido fino)

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja.
	Ciudad de Loja
Especificación para agregac	ASTM C-136
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 0-872
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez
Fuente del material:	Material de río de la cantera "San Juan" (SJ_002)
Fecha:	19-ene-16

TAMIZ NO.	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	ESPECIFICACIÓN	
					LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
3"			0,00	100,00	100,00	100,00
2"			0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"			0,00	100,00	100,00	100,00
1"			0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"		0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2"		0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/8"		0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No. 4	3,74	0,18	0,18	99,82	100,00	95,00
No. 8	369,49	17,78	17,96	82,04	100,00	80,00
No. 16	327,71	15,77	33,74	66,26	85,00	50,00
No. 30	390,10	18,78	52,52	47,48	60,00	25,00
No. 50	688,73	33,15	85,67	14,33	30,00	10,00
No. 100	232,75	11,20	96,87	3,13	10,00	2,00
No. 200	37,07	1,78	98,65	1,35	0,00	0,00
Fondo	27,97	1,35	100,00	0,00		
TOTAL=	2077,56	Módulo de finura (MF)	2,87		Tamaño estándar de los agregados	

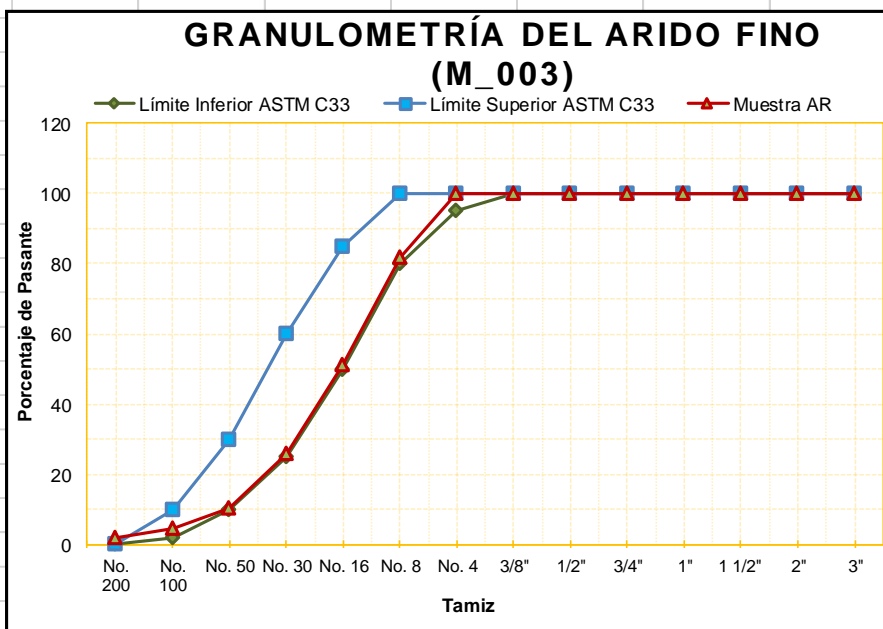





Análisis granulométrico (Árido fino)

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja.
	Ciudad de Loja
Especificación para agregac	ASTM C-136
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 0-872
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez
Fuente del material:	Material de río de la cantera "Solamar" (Sol_003)
Fecha:	19-ene-16

TAMIZ NO.	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	ESPECIFICACIÓN	
					LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
3"			0,00	100,00	100,00	100,00
2"			0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"			0,00	100,00	100,00	100,00
1"			0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"		0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2"		0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No. 4	3,45	0,17	0,17	99,83	100,00	95,00
No. 8	366,34	18,24	18,41	81,59	100,00	80,00
No. 16	614,54	30,59	49,00	51,00	85,00	50,00
No. 30	502,22	25,00	74,00	26,00	60,00	25,00
No. 50	315,44	15,70	89,71	10,29	30,00	10,00
No. 100	117,43	5,85	95,55	4,45	10,00	2,00
No. 200	51,01	2,54	98,09	1,91	0,00	0,00
Fondo	38,33	1,91	100,00	0,00		
TOTAL=	2008,76	Módulo de finura (MF)	3,27		Tamaño estándar de los agregados	



6. Resistencia al desgaste (abrasión).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja			
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL			
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES			
Resistencia al desgaste del agregado grueso			
Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja. Ciudad de Loja		
Norma Técnica Ecuatoriana:	MTC E-207		
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez		
Fuente del material:	Material de río de la cantera JR_001		
Fecha:	02/03/2016		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	MUESTRA
PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO		g	5000,00
PESO MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO RETENIDO #12		g	3389,81
PESO MUESTRA PASANTE #12		g	1610,19
% RESISTENCIA AL DESGASTE		%	32,20



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Resistencia al desgaste del agregado grueso

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja. Ciudad de Loja
Norma Técnica Ecuatoriana:	MTC E-207
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez
Fuente del material:	Material de río de la cantera "San Juan" (SJ_002)
Fecha:	02/03/2016

DESCRIPCIÓN	UNDAD	MUESTRA
PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	g	5000,00
PESO MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO RETENIDO #12	g	3040,00
PESO MUESTRA PASANTE #12	g	1960,00
% RESISTENCIA AL DESGASTE	%	39,20



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Resistencia al desgaste del agregado grueso

Trabajo de Fin de Titulación: Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja.
Ciudad de Loja

Norma Técnica Ecuatoriana: MTC E-207


Ensayado por: Juan Carlos Gordillo Ordóñez

Fuente del material: Material de río de la cantera "Solamar" (Sol_003)

Fecha: 02/03/2016

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	g	5000,00
PESO MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO RETENIDO #12	g	3539,70
PESO MUESTRA PASANTE #12	g	1460,30
% RESISTENCIA AL DESGASTE	%	29,21

7. Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado fino.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja	
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES			
Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado fino			
Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja.		
	Ciudad de Loja		
Especificación para agregado:	ASTM C 128 MTC E 205-2000		
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 0-872		
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez		
Fuente del material:	Material de río de la cantera JR_001		
Fecha:	10-abr-16		
DATOS:			
a=	495,85 g		
b=	667,23 g		
c=	979,83 g		
s=	500,09 g		
DENSIDAD Y ABSORCIÓN:			
ds=	2,64 g/cm ³		
dsss=	2,67 g/cm ³		
d=	2,71 g/cm ³		
po=	0,86 %		
Nomenclatura y Fórmula			
a.- Masa en el aire de la muestra secada al horno			
b.- Peso del picnómetro lleno con agua			
c.- Peso del picnómetro con muestra y agua hasta la marca de calibración			
s.- Peso en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco			
ds.- Densidad del volumen de masa			
dsss.- Densidad del volumen saturado superficialmente seco			
d.- Densidad del volumen aparente del árido			
po.- Porcentaje de absorción del agua en el árido			



Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado fino

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja.
	Ciudad de Loja
Especificación para agregad	ASTMC 128 MTC E 205-2000
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 0-872
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez
Fuente del material:	Material de río de la cantera "San Juan" (SJ_002)
Fecha:	10-abr-16

DATOS:

a=	493,99 g
b=	667,62 g
c=	976,64 g
s=	500,04 g

DENSIDAD Y ABSORCIÓN:

ds=	2,59 g/cm ³
ds_{ss}=	2,62 g/cm ³
d=	2,67 g/cm ³
po=	1,22 %

Nomenclatura y Fórmula

- a.- Masa en el aire de la muestra secada al horno
- b.- Peso del picnómetro lleno con agua
- c.- Peso del picnómetro con muestra y agua hasta la marca de calibración
- s.- Peso en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco
- ds.- Densidad del volumen de masa
- ds_{ss}.- Densidad del volumen saturado superficialmente seco
- d.- Densidad del volumen aparente del árido
- po.- Porcentaje de absorción del agua en el árido



Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado fino

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja. Ciudad de Loja
Especificación para agregado:	ASTM C 128 MTC E 205-2000
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 0-872
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez
Fuente del material:	Material de río de la cantera "Solamar" (Sol_003)
Fecha:	10-abr-16

DATOS:

a=	494,61 g
b=	667,52 g
c=	975,75 g
s=	500,08 g


DENSIDAD Y ABSORCIÓN:

ds=	2,58 g/cm ³
ds_{ss}=	2,61 g/cm ³
d=	2,65 g/cm ³
po=	1,11 %

Nomenclatura y Fórmula

- a.-** Masa en el aire de la muestra secada al horno
- b.-** Peso del picnómetro lleno con agua
- c.-** Peso del picnómetro con muestra y agua hasta la marca de calibración
- s.-** Peso en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco
- ds.-** Densidad del volumen de masa
- ds_{ss}-** Densidad del volumen saturado superficialmente seco
- d.-** Densidad del volumen aparente del árido
- po.-** Porcentaje de absorción del agua en el árido

8. Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado grueso.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA	
		La Universidad Católica de Loja	
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL			
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES			
Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado grueso			
Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja.		
	Ciudad de Loja		
Especificación para agregado:	ASTM C 127 MTC E 206-2000		
Norma Técnica Ecuatoriana:			
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez		
Fuente del material:	Material de río de la cantera JR_001		
Fecha:	11-may-16		
DATOS:			
a=	10558,87 g		
b=	10678,53 g		
c=	6738,00 g		
DENSIDAD Y ABSORCIÓN:			
ds=	2,68 g/cm ³		
dsss=	2,71 g/cm ³		
d=	2,76 g/cm ³		
po=	1,13 %		
Nomenclatura y Fórmula			
a.- Masa en el aire de la muestra secada al horno			
b.- Masa en el aire del árido en estado saturado superficialmente seco			
c.- Masa en el agua del árido en estado saturado superficialmente seco			
ds.- Densidad del volumen de masa			
dsss.- Densidad del volumen saturado superficialmente seco			
d.- Densidad del volumen aparente del árido			
po.- Porcentaje de absorción del agua en el árido			



Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado grueso

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja. Ciudad de Loja
Especificación para agregado:	ASTM C 127 MTC E 206-2000
Norma Técnica Ecuatoriana:	
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez
Fuente del material:	Material de río de la cantera "San Juan" (SJ_002)
Fecha:	11-may-16

DATOS:

a=	9712,83 g
b=	9874,17 g
c=	6097,01 g

DENSIDAD Y ABSORCIÓN:

ds=	2,57 g/cm ³
dsss=	2,61 g/cm ³
d=	2,69 g/cm ³
po=	1,66 %

Nomenclatura y Fórmula

- a.- Masa en el aire de la muestra secada al horno
- b.- Masa en el aire del árido en estado saturado superficialmente seco
- c.- Masa en el agua del árido en estado saturado superficialmente seco
- ds.- Densidad del volumen de masa
- dsss.- Densidad del volumen saturado superficialmente seco
- d.- Densidad del volumen aparente del árido
- po.- Porcentaje de absorción del agua en el árido



Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado grueso

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja. Ciudad de Loja
Especificación para agregado:	ASTM C 127 MTC E 206-2000
Norma Técnica Ecuatoriana:	
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez
Fuente del material:	Material de río de la cantera "Solamar" (Sol_003)
Fecha:	11-may-16

DATOS:

a=	8726,85 g
b=	8854,97 g
c=	5521,01 g


DENSIDAD Y ABSORCIÓN:

ds=	2,62 g/cm ³
dsss=	2,66 g/cm ³
d=	2,72 g/cm ³
po=	1,47 %

Nomenclatura y Fórmula

- a.-** Masa en el aire de la muestra secada al horno
- b.-** Masa en el aire del árido en estado saturado superficialmente seco
- c.-** Masa en el agua del árido en estado saturado superficialmente seco
- ds.-** Densidad del volumen de masa
- dsss.-** Densidad del volumen saturado superficialmente seco
- d.-** Densidad del volumen aparente del árido
- po.-** Porcentaje de absorción del agua en el árido

9. Masa unitaria del agregado fino.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja	
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES			
Masas unitarias de áridos finos (densidad aparente)			
Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja.		
	Ciudad de Loja		
Especificación para agregado:	ASTM C 29 MTC E 203-2000		
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 858		
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez		
Fuente del material:	Material de río de la cantera JR_001		
Fecha:	30-may-16		
V = Volumen del Recipiente cm³ =	998,49		
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
P1=	1519,15	g	P1= 1639,72 g
P2=	1612,06	g	P2= 1656,74 g
P3=	1585,11	g	P3= 1726,24 g
PROMEDIO=	1572,106667	g	PROMEDIO= 1674,23 g
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
	1,57	g/cm³	1,68 g/cm³



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Masas unitarias de áridos finos (densidad aparente)

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja. Ciudad de Loja
Especificación para agregado:	ASTMC 29 MTC E 203-2000
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 858
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez
Fuente del material:	Material de río de la cantera "San Juan" (SJ_002)
Fecha:	30-may-16

V = Volumen del Recipiente cm³ =	998,49	g
--	--------	----------

MASA UNITARIA SUELTA

P1=	1565,96	g
P2=	1590,78	g
P3=	1582,97	g

PROMEDIO=	1579,90	g
------------------	---------	---

MASA UNITARIA COMPACTADA

P1=	1702,84	g
P2=	1646,1	g
P3=	1725,53	g

PROMEDIO=	1691,49	g
------------------	---------	---

MASA UNITARIA SUELTA

1,58	g/cm³
-------------	-------------------------

MASA UNITARIA COMPACTADA

1,69	g/cm³
-------------	-------------------------




DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Masas unitarias de áridos finos (densidad aparente)

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja. Ciudad de Loja		
Especificación para agregado:	ASTM C 29 MTC E 203-2000		
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 858		
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez		
Fuente del material:	Material de río de la cantera "Solamar" (Sol_003)		
Fecha:	30-may-16		
V = Volumen del Recipiente cm³ =	998,49		
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
P1=	1497,87	g	P1= 1645,39 g
P2=	1510,64	g	P2= 1670,92 g
P3=	1517,73	g	P3= 1678,01 g
PROMEDIO=	1508,75	g	PROMEDIO= 1664,77 g
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
	1,51	g/cm ³	1,67 g/cm ³

10. Masa unitaria del agregado grueso.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA			
		La Universidad Católica de Loja			
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL					
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES					
Masas unitarias de áridos gruesos (densidad aparente)					
Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja.				
	Ciudad de Loja				
Especificación para agregado:	ASTM C 29 MTC E 203-2000				
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 858				
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez				
Fuente del material:	Material de río de la cantera JR_001				
Fecha:	22-jun-16				
V = Volumen del Recipiente cm³ =	998,49				
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA			
P1=	1730,5	g	P1=	1870,92	g
P2=	1748,94	g	P2=	1869,5	g
P3=	1721,99	g	P3=	1870,92	g
PROMEDIO=	1733,81	g	PROMEDIO=	1870,447	g
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA			
	1,74	g/cm³		1,87	g/cm³



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Masas unitarias de áridos gruesos (densidad aparente)

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja. Ciudad de Loja				
Especificación para agregado:	ASTM C 29 MTC E 203-2000				
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 858				
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez				
Fuente del material:	Material de río de la cantera "San Juan" (SJ_002)				
Fecha:	22-jun-16				
V = Volumen del Recipiente cm³ =	998,49		g		
MASA UNITARIA SUELTA			MASA UNITARIA COMPACTADA		
P1=	1670,92	g	P1=	1744,68	g
P2=	1672,34	g	P2=	1743,26	g
P3=	1685,11	g	P3=	1761,7	g
PROMEDIO=	1676,12	g	PROMEDIO=	1749,88	g
MASA UNITARIA SUELTA			MASA UNITARIA COMPACTADA		
	1,68	g/cm³		1,75	g/cm³



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Masas unitarias de áridos gruesos (densidad aparente)

Trabajo de Fin de Titulación:	Caracterización de áridos en bancos de materiales de construcción del cantón Loja. Ciudad de Loja		
Especificación para agregado:	ASTM C 29 MTC E 203-2000		
Norma Técnica Ecuatoriana:	INEN 858		
Ensayado por:	Juan Carlos Gordillo Ordóñez		
Fuente del material:	Material de río de la cantera "Solamar" (Sol_003)		
Fecha:	22-jun-16		
V = Volumen del Recipiente cm³ =	998,49		
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
P1=	1707,8	g	P1= 1821,28 g
P2=	1686,52	g	P2= 1812,77 g
P3=	1720,57	g	P3= 1804,26 g
PROMEDIO=	1704,96	g	PROMEDIO= 1812,77 g
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
	1,71	g/cm³	1,82 g/cm³

11. Revenimiento o asentamiento.



Ilustración 17. Revenimiento o asentamiento (anexo).

Fuente: El autor.

12. Elaboración y curado de especímenes de hormigón.



Ilustración 18. Material empleado para la elaboración de especímenes de cilindro.

Fuente: El autor.



Ilustración 19. Mezcla de material luego de concretera.

Fuente: El autor.



Ilustración 20. Elaboración de cilindros de hormigón.

Fuente: El autor.



Ilustración 21. Desencofrado de cilindros de hormigón.

Fuente: El autor.



Ilustración 22. Cilindros de hormigón puestos a curación en piscina de agua.

Fuente: El autor.

13. Determinación de la resistencia a la compresión simple.

Etiqueta	Cilindros				Resistencia a la Compresión Simple						
	Dimensiones (cm)		Peso (Kg)	Área (cm ²)	Carga soportada KN	Resistencia con carga aplicada			Kg/cm ²	Kg/cm ²	
	Promedio	altura				Promedio	Resistencia en:	Mpa			A los 7 días (75%)
JR_001 a)	14,97	15,01	29,93	29,95	12,655	176,83	254,2	1,44	14,38	146,59	195,45
	15,04		29,97								
JR_001 b)	14,82	14,91	29,73	29,69	12,38	174,60	273,5	1,57	15,66	159,73	212,98
	15		29,65								
SI_002 a)	14,94	14,97	29,59	29,62	12,231	175,89	299,8	1,70	17,04	173,81	231,74
	14,99		29,65								
SI_002 b)	15,17	15,15	29,49	29,5	12,369	180,15	300,5	1,67	16,68	170,10	226,80
	15,12		29,51								
M_003 a)	15,03	15,15	30,33	30,35	12,684	180,27	302,3	1,68	16,77	171,00	228,00
	15,27		30,36								
M_003 b)	14,97	14,97	30,24	30,17	12,59	176,01	301,8	1,71	17,15	174,85	233,13
	14,97		30,09								
Resistencia a la Compresión Simple (RCS)											
1KN=	10 Mpa										
1 Mpa=	10,1972 kg/cm ²										

Figura 13. Resultados de los cilindros de hormigón sometidos a resistencia.

Fuente: El autor.

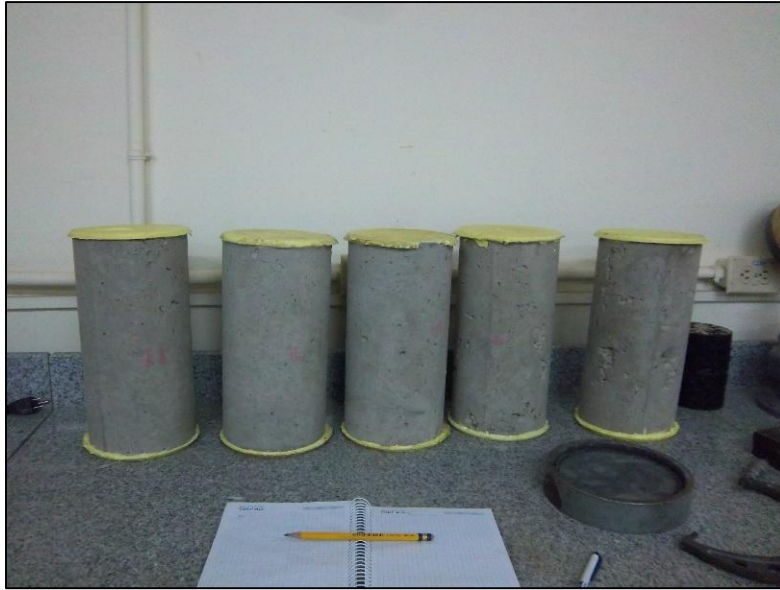


Ilustración 23. Recubrimiento de azufre.

Fuente: El autor.



Ilustración 24. Cilindros de hormigón sometidos a resistencia.

Fuente: El autor.