

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Agregados Utilizados en Obras Civiles extraídos de la Cantera
San Luis”

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Paola Fernanda Valle Flores

Acosta Vera Andrés Antonio

Carlos Luis Salvatierra Ron

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2011

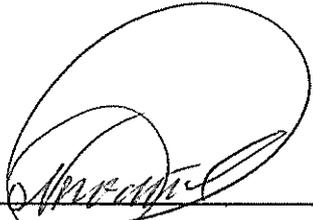
AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres, profesores, compañeros y amigos que de una u otra forma colaboraron en el proceso de elaboración de este trabajo, especialmente al PhD. Bolívar Arreaga Gerente de Operaciones de la Cantera San Luis

DEDICATORIA

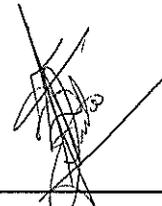
Dedicamos este trabajo a
nuestros padres por la ayuda
incondicional que recibimos a
lo largo de nuestra carrera.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Gastón Proaño C.

DIRECTOR DEL SEMINARIO



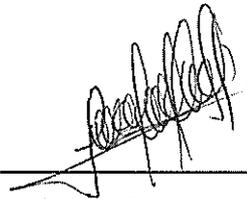
Ing. Eduardo Santos

PROFESOR DEL SEMINARIO
DIRECTOR DE TESIS

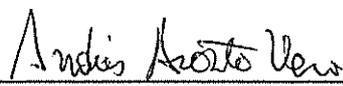
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Grado, nos corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

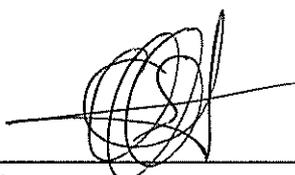
(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Paola Fernanda Valle Flores



Andrés Antonio Acosta Vera



Carlos Luis Salvatierra Ron

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	i
OBJETIVOS	ii
Objetivo General	ii
Objetivos Específicos	ii
CAPÍTULO 1	1
1 INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1 Cantera	1
1.1.1 Definición de Cantera	1
1.1.2 Implantación de la Cantera	3
1.1.3 Normativa que rige las canteras de Guayaquil.....	4
1.1.4 Canteras en el área y alrededores de la ciudad de Guayaquil..	14
1.2 Agregados	17
1.2.1 Definición de Agregados	17
1.2.2 Función de los Agregados.....	17
1.2.3 Historia de los Agregados	18
1.2.4 Clasificación de los Agregados	20
1.2.5 Cascajo	27
1.2.6 Usos de los Agregados en la Ingeniería Civil.....	28
CAPÍTULO 2	31
2 ASPECTOS GENERALES DE LA CANTERA SAN LUIS	31
2.1 Ubicación Geográfica.....	31
2.2 Historia.....	32

2.3	Características del Macizo Rocoso.....	33
2.3.1	Geología y Geomorfología	33
2.3.2	Geotecnia.....	34
2.3.3	Área de extracción	36
2.4	Tipos de materiales extraídos del cerro	38
2.4.1	Materiales No Triturados	39
2.4.2	Materiales Triturados.....	40
2.4.3	Mezclas	42
2.5	Tasa de Producción de agregados	42
2.6	Costo de los Agregados de la Cantera San Luis	43
CAPÍTULO 3		45
3 PROCESO DE EXTRACCIÓN (BARRENADO Y VOLADURA)		45
3.1	Introducción del proceso de extracción.....	45
3.1.1	Métodos de extracción de los agregados de la Cantera San Luis	46
3.1.2	Descripción de la extracción de los agregados de la Cantera San Luis	47
3.2	Barrenado	51
3.2.1	Definición de Barrenado	51
3.2.2	Equipo de Barrenado	52
3.2.3	Criterio en la Selección del Equipo de Barrenado	53
3.2.4	Equipo de Barrenado Empleado en la Cantera San Luis	53
3.2.5	Detallamiento del Barrenado de la cantera San Luis	54

3.3	Voladura	55
3.3.1	Descripción General de la Voladura.....	55
3.3.2	Definición de Explosivos	57
3.3.3	Parámetros de la Roca a Fragmentar	57
3.3.4	Proceso de Fracturamiento de la Roca	60
3.3.5	Proceso de Voladura en la Cantera San Luis	61
3.4	Carga	65
3.4.1	Equipos de Carga de Agregados	65
3.5	Acarreo	67
3.5.1	Equipos de Acarreo de los Agregados	67
3.6	Diagrama de proceso de extracción de agregados en la cantera San Luis	68
CAPÍTULO 4		70
4PROCESO DE TRITURACIÓN Y TAMIZADO.....		70
4.1	Proceso de Trituración.....	70
4.1.1	Descripción de la Trituración de la cantera San Luis	71
4.1.2	Trituración Primaria	72
4.1.3	Trituración Secundaria	73
4.2	Maquinaria de Trituración	74
4.2.1	Maquinaria de Trituración Primaria	74
4.2.2	Maquinaria de Trituración Secundaria.....	77
4.3	Proceso de Tamizado	81
4.3.1	Clasificación del Material Triturado	81

4.3.2	Clasificación de agregados por tamaño y lugar de acopio	83
Figura 4-9.-	Proceso de mezclado de agregados	85
4.4	Diagrama de proceso de Trituración y Tamizado en la cantera San Luis	85
CAPÍTULO 5	87
5	ENSAYOS PARA ESTABLECER LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	87
5.1	Propiedades Físicas	89
5.1.1	Granulometría	89
5.1.2	Densidad y Absorción	93
5.1.3	Relación de Vacíos	99
5.1.4	Peso Unitario.....	101
5.2	Propiedades de Resistencia	102
5.2.1	Límites de Atterberg	102
5.2.2	Proctor.....	105
5.2.3	C.B.R.....	110
5.2.4	Abrasión de los Ángeles.....	116
5.3	Resistencia de la Roca Madre	118
CAPÍTULO 6	120
6	PRINCIPALES USOS DE LOS MATERIALES DE LA CANTERA.....	120
6.1	Construcción.....	122
6.1.1	Hormigón.....	122
6.2	Carreteras.....	127

6.2.1	Capa Base	129
6.2.2	Capa Sub-base	129
6.2.3	Hormigón Asfáltico	131
6.2.4	Hormigón Hidráulico	134
6.3	Rellenos	136
6.4	Muros de Escollera	138
CONCLUSIONES		140
BIBLIOGRAFÍA		145
ANEXOS		146

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.- Canteras ubicadas en el sector Vía a la Costa.....	15
Figura 1-2.- Empleo de materiales pétreos (Pirámide Keops)	19
Figura 1-3.- Agregado Rodado	21
Figura 1-4.- Agregado Triturado.....	22
Figura 1-5.- Agregado Artificial	22
Figura 1-6.- Agregado Reciclado	23
Figura 1-7.- Agregados Gruesos (Grava)	26
Figura 1-8.- Agregados Fino (Arena)	26
Figura 1-9.- Cascajo	28
Figura 2-1.- Ubicación de la Cantera San Luis	32
Figura 2-2.- Ubicación de la Cantera San Luis	37
Figura 3-1.- Bancos para la circulación de maquinarias de extracción de agregados.....	48
Figura 3-2.- Bulldozer realizando la extracción por arranque mecánico	49
Figura 3-3.- Maquinarias de arranque mecánico	50
Figura 3-4.- Proceso de perforación de ejes de acero en macizo rocoso	54
Figura 3-5.- Esquema en planta de configuración de barrenos	55
Figura 3-6.- Radio de alcance de demolición de roca.....	63
Figura 3-7.- Configuración de explosivos para la voladura	64
Figura 3-8.- Excavadora de Oruga DAEWOO 330 SL-%.....	66
Figura 3-9.- Excavadora CATERPILLAR 320 C sobre oruga para carga de agregados a volquetas para la posterior trituración	67

Figura 3-10.- Diagrama de proceso de extracción de agregados en la cantera San Luis	69
Figura 4-1.- Partes de conforman una trituradora de mandíbula	76
Figura 4-2.- Trituradora de Cono de la cantera San Luis	78
Figura 4-3.- Esquema de trituración en trituradora de cono.....	79
Figura 4-4 Reducción de agregados según su fase.....	80
Figura 4-5.- Zaranda Vibratoria de la cantera San Luis	82
Figura 4-6.- Proceso de Tamizado.....	83
Figura 4-7.- Almacenamiento de la Piedra #57	84
Figura 4-8.- Almacenamiento de la piedra #8 y piedra #10	84
Figura 4-9.- Proceso de mezclado de agregados	85
Figura 4-10.- Esquema de proceso de trituración de agregados de la Cantera San Luis	86
Figura 5-1.- Curva granulométrica Piedra #57	91
Figura 5-2.- Curva granulométrica Piedra #8	91
Figura 5-3.- Curva granulométrica Piedra #10	92
Figura 5-4.- Curva granulométrica Sub-Base Clase 1.	92
Figura 5-5.- Curva granulométrica Base Clase 1 Tipo A.....	92
Figura 5-6.- Curva granulométrica Cascajo	93
Figura 5-7.- Esquema muestra de suelo separada en sus tres fases	100
Figura 5-8.- Diferentes estados del suelo	102
Figura 5-9.- Principio de compactación de suelos	106
Figura 5-10.- Penetración de la muestra de sueño compactado.....	114

Figura 6-1.- Ilustración de tamaño de agregados	121
Figura 6-2.- Mezcla de las componentes del hormigón, entre ellos los agregados.....	123
Figura 6-3.- Hormigón Armado como elemento estructural en construcciones	125
Figura 6-4.- Diferentes aplicaciones de agregados en una carretera	128
Figura 6-5.- Colocación de hormigón asfáltico como capa de rodadura	132
Figura 6-6.- Configuración de elementos en el hormigón asfáltico. Los elementos más grandes son los agregados, los círculos son aire y el fondo gris es el cemento asfáltico.....	133
Figura 6-7.- Colocación de Hormigón Hidráulico	135
Figura 6-8.- Pavimento Hidráulico.....	135
Figura 6-9.- Terreno rellenado con material de común	137
Figura 6-10.- Material de cantera para relleno.....	138
Figura 6-11.- Piedra Bola y Piedra Base para Escolleras.....	139

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.- Canteras registradas en la DMA.....	16
Tabla 1-2.- Abertura de los Tamices.....	27
Tabla 2-1.- Vértices del área de explotación de la cantera San Luis	37
Tabla 2-2.- Clasificación del macizo rocoso.....	38
Tabla 2-3.- Producción mensual de la cantera San Luis.....	43
Tabla 2-4.- Costo de Materiales No Triturados	44
Tabla 2-5.- Costo de Materiales Triturados.....	44
Tabla 2-6.- Costo de Mezclas	44
Tabla 5-1.- Ensayos realizados a los agregados de la cantera San Luis.....	88
Tabla 5-2.- Resultados: Densidad y Absorción.....	99
Tabla 5-3.- Resultados: Relación de Vacíos.....	101
Tabla 5-4.- Resultados: Peso Unitario	102
Tabla 5-5.- Resultados: Índice Plástico.....	105
Tabla 5-6.- Especificaciones Proctor Modificado	108
Tabla 5-7.- Resultados: Proctor	110
Tabla 5-8.- Valores de Carga Unitaria	112
Tabla 5-9.- Energías de Compactación	113
Tabla 5-10.- Clasificación de suelos para Infraestructura de Pavimentos ..	113
Tabla 5-11.- Resultados: C.B.R.	115
Tabla 5-12.- Resultados: C.B.R. (%).....	115
Tabla 5-13.- Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas (para granos de tamaño pequeño).....	117

Tabla 5-14.- Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas (para granos de gran tamaño).....	117
Tabla 5-15.- Resultados: Abrasión de los Andeles (% de desgaste)	118
Tabla 6-1.- Porcentaje de elementos que conforman el hormigón asfáltico	132

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Guayaquil existen alrededor de 34 canteras asentadas, registradas al año 2004 en el Gobierno Autónomo Descentralizado de Guayaquil, de las cuales hemos escogido a la cantera San Luis para describir los procesos relacionados a la extracción, trituración y clasificación de los agregados y demás, como tema de tesina de grado, dado su prestigio e historia dentro de la comunidad de la Ingeniería Civil de la ciudad.

Se detallan todos los procesos a los que debe de someterse el macizo rocoso para obtener un producto final, se describe desde la selección de la cantera hasta el proceso de cribado y carga para ser llevado a obra para su uso final. Se muestran las maquinarias empleadas en la cantera San Luis y sus características. Adicionalmente, se presentan los resultados de producción de los últimos 5 meses de los agregados que comercializa la cantera San Luis.

Se realizaron ensayos de laboratorio a los agregados para determinar las propiedades físicas y de resistencia, que permitieron analizar la calidad que estos poseen y que la cantera ofrece para la venta. Finalmente se explican los diferentes usos de los agregados de la cantera San Luis en la Ingeniería Civil, dentro del área de la de la ciudad de Guayaquil.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Describir los procesos de extracción del macizo rocoso y las propiedades de físicas y de resistencia de los agregados de la cantera San Luis.

Objetivos Específicos

- Presentar los conceptos básicos de una cantera: Selección e Implantación.
- Describir de características del macizo rocoso de la cantera San Luis.
- Detallar los agregados y mezclas que se producen en la cantera San Luis y sus respectivos costos.
- Describir todos los procesos de explotación de la roca, para obtener el agregado final a comercializar.
- Realizar ensayos de laboratorio para presentar las propiedades físicas y de resistencia de los agregados.
- Exponer los usos de los agregados explotados en la cantera San Luis en la ingeniería civil dentro de la ciudad de Guayaquil.

CAPÍTULO 1

1 INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Cantera

1.1.1 Definición de Cantera

Se define como cantera al lugar donde se extraen rocas o minerales procedentes de un macizo rocoso. Los materiales pétreos extraídos son generalmente para la industria de la construcción u obras civiles. Las canteras se pueden clasificar según su tipo de explotación en:

Canteras a cielo abierto.- Su proceso de extracción (explotación) de minerales se ejecuta en la superficie del terreno con maquinarias de gran tamaño.

Canteras Subterráneas.- Su actividad por debajo de la superficie a través de labores subterráneas. En términos comparativos, la maquinaria que se usa en la minería subterránea es mucho más pequeña que la que se utiliza a cielo abierto, debido a las limitaciones que impone el tamaño de las galerías y labores.

Previa a la explotación de una cantera se realiza sondeos y análisis que permitan conocer las propiedades del macizo rocoso hallando de esta forma, un adecuado y eficiente proceso de extracción del material pétreo. El sondeo comprende en sí de dos fases que son la prospección y la exploración. La prospección determina la existencia y ubicación de zonas donde la presencia del material pétreo es más probable. La exploración determina la ubicación, leyes y tonelaje del yacimiento, calculando sus reservas y estableciendo el método más adecuado para su explotación.

Los agregados que generalmente se extraen de las canteras son:

- Rocas calcáreas sedimentarias, metamórficas e ígneas.
- Arenas.

1.1.2 Implantación de la Cantera

La implantación de una cantera inicia con la disponibilidad del yacimiento pétreo del sitio en la que se estudia el mapa geológico de la región. En el caso de que estos mapas no pudieran proporcionar información del lugar deseado también se puede acudir (en el caso de que existan) a los mapas litológicos del país.

Los parámetros que se consideran para la selección de un macizo rocoso son:

- **Parámetros Geométricos.-** Forma, volumen, variaciones de espesor del material, recubrimiento, etc.
- **Parámetros Hidrogeológicos.-** Nivel freático, acumulaciones de agua, eutrofización, etc.
- **Parámetros del yacimiento.-** Granulometría, posición topográfica, estabilidad química y mineralógica, densidad, resistencia mecánica, materia orgánica, estado tensional, distribución de diaclasas, etc.
- **Parámetros extrínsecos.-** Hay que considerar también el rendimiento, consumo, tipo de instalaciones,

características climáticas de la zona, el impacto ambiental, urbanizaciones cercanas, etc.

Una vez estudiados estos parámetros y seleccionado el lugar, se debe conseguir, luego, una autorización de la Administración Pública, para el caso de Guayaquil, este permiso lo emite el Concejo Cantonal del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Municipalidad de Guayaquil, para ello se debe elaborar un proyecto de explotación, donde se indique el proceso de extracción que se va a llevar a cabo, los planes de seguridad industrial, ocupacional, plan de contingencia, etc., y especialmente uno de restauración, en el que garantice la sostenibilidad del área explotada indicando cómo se llevará a cabo la recuperación de los terrenos utilizados reduciendo la incidencia en el entorno. Aprobados estos proyectos, finalmente se puede proceder a la ejecución de la implantación de la cantera.

1.1.3 Normativa que rige las canteras de Guayaquil

Dentro de la legislación ambiental vigente, el Ecuador cuenta con un ordenamiento jurídico que regula de manera general las actividades mineras en sus distintas modalidades y fases,

entre ellas las que son aplicables para la extracción de agregados y material pétreo en canteras.

Siguiendo el orden jerárquico de aplicación de las normas en el caso que nos ocupa, la Constitución de la república del Ecuador contempla leyes que el presidente de la república del Ecuador toma como base del decreto 119 que expide el Reglamento General de la Ley de Minería ha tomado como considerandos, los siguientes artículos:

Art.408.- Son de propiedad in alienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables, y en general los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico. Estos bienes solo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la constitución.

El estado participará de los beneficios del aprovechamiento de estos recursos en un monto que no será inferior a los de la empresa que los explota.

El Estado garantizará que los mecanismos de producción, consumo y uso de los recursos y de la energía preserven y recuperen los ciclos naturales y permitan condiciones de vida con dignidad.

Art. 313.- El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia;

Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social.

Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la

biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.

Art. 316.- El Estado podrá delegar la participación en los sectores estratégicos y servicios públicos a empresas mixtas, en las cuales tenga mayoría accionaria, para la participación en la gestión de los sectores estratégicos y la prestación de los servicios públicos.

El Estado podrá, de forma excepcional, delegar a la iniciativa privada y a la economía popular y solidaria, el ejercicio de estas actividades, en los casos que establezca la ley.

Art. 319.- Se reconocen diversas formas de organización de la producción en la economía, entre otras las comunitarias, cooperativas, empresariales públicas o privadas, asociativas, familiares, domésticas, autónomas y mixtas.

El Estado promoverá las formas de producción que aseguren el buen vivir de la población y desincentivará aquellas que atenten contra sus derechos o los de la naturaleza; alentará la producción que satisfaga la demanda interna y garantice una activa participación del Ecuador en el contexto internacional.

Art. 2.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

Numeral 12.- 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.

Entiéndase que los gobiernos municipales requerirán de la aprobación de ordenanzas, acuerdos y resoluciones para aplicar las competencias que le asigna la constitución.

De manera general la constitución contempla y reconoce derechos para desarrollarnos en un Ambiente sano.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumakkawsay.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales, nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

Siguiendo con el orden jerárquico de aplicación sobre la legislación ambiental a continuación analizaremos la normativa establecida en la ley de minería recientemente promulgada por el presidente Correa y su correspondiente reglamento.

Art. 1.- Del objeto de la Ley.- La presente Ley de Minería norma el ejercicio de los derechos soberanos del Estado Ecuatoriano, para administrar, regular, controlar y gestionar el sector estratégico minero, de conformidad con los principios de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia. Se exceptúan de esta Ley, el petróleo y demás hidrocarburos.

El Estado podrá delegar su participación en el sector minero, a empresas mixtas mineras en las cuales tenga mayoría accionaria, o a la iniciativa privada y a la economía popular y solidaria, para la prospección, exploración y explotación, o el beneficio, fundición y refinación, si fuere el caso, además de la comercialización interna o externa de sustancias minerales.

Art. 2.- Ámbito de aplicación.- A fin de normar la delegación prevista en el artículo anterior, la presente Ley de Minería, regula las relaciones del Estado con las empresas mixtas mineras; con las personas naturales o jurídicas nacionales o extranjeras, públicas, mixtas, privadas y las de éstas entre sí, respecto de la obtención, conservación y extinción de derechos mineros y de la ejecución de actividades mineras.

Art. 3.- Normas supletorias.- Son aplicables en materia minera, en la relación Estado - Particulares, y de éstos entre sí, la normativa: Administrativa, Contencioso - Administrativa; de soberanía alimentaria; tributaria; penal; procesal penal; de empresas públicas; societaria; civil; procesal civil; de gobiernos autónomos descentralizados; de patrimonio cultural y más normativa de la legislación positiva ecuatoriana aplicable al sector geológico minero, en todo lo que corresponda y no esté expresamente regulado en la presente ley.

Art. 5.- Estructura Institucional.- El sector minero estará estructurado de la siguiente manera:

- a) El Ministerio Sectorial;
- b) La Agencia de Regulación y Control Minero;
- c) El Instituto Nacional de Investigación Geológico, Minero, Metalúrgico;
- d) La Empresa Nacional Minera; y,
- e) Las municipalidades en las competencias que les correspondan.

Tómese en cuenta que la legislación ambiental vigente en el país y la ciudad, contempla conjunto de leyes, normas, reglamentos, ordenanzas y convenios, que regulan las actividades de extracción de agregados en canteras y sus respectivas obligaciones de contar con un estudio de impacto ambiental, así como de un plan de manejo ambiental adecuado para la actividad referida y acorde al sector donde se asienten las canteras

La “Ordenanza que regula la explotación de canteras en el cantón Guayaquil”, entró en vigencia el 16 de noviembre de 2001, según el Registro Oficial 455, emitido por la Dirección de Medio Ambiente del Municipio de Guayaquil.

Esta ordenanza ha venido regulando el funcionamiento de las actividades extractivas que operan dentro del cantón, relacionado al control de las condiciones técnicas de sus operaciones y manejo ambiental, en las áreas de explotación realizadas a cielo abierto (canteras, graveras o areneras).

La ordenanza establece que para la explotación se requerirá de la autorización otorgada por el Concejo Cantonal de Guayaquil, sin perjuicio del cumplimiento de las normas

establecidas en la Ley de Minería y el Reglamento de Seguridad Minera. Para efecto de tramitar la correspondiente concesión minera ante las instituciones correspondientes, procederán previamente a solicitar a la Dirección de Plan de Desarrollo Urbano Cantonal y a la Dirección de Urbanismo, Avalúos y Registros (DUAR) la factibilidad del uso del suelo para ejercer dicha actividad.

Dentro de esta ordenanza se encuentran aspectos importantes tanto para la preservación de la naturaleza como la comodidad de los ciudadanos que se encuentran dentro de áreas urbanas, expansión urbana y dentro de los límites del cantón Guayaquil, encontrándonos con incisos como:

3.2.- “La explotación de la cantera no deberá sobrepasar, la curva de nivel establecida por el Instituto Geográfico Militar y correspondiente a la cota cien (+ 100) metros sobre el nivel del mar.”

3.3.- “La explotación de las canteras no podrá efectuarse en áreas de bosques y vegetación protegidas, ni de preservación por vulnerabilidad, declaradas como tales por Leyes, Ordenanzas Municipales o Acuerdos Ministeriales.”

10.1.- “En materia de emisión de ruidos, se atenderá a lo dispuesto en el Reglamento de la calidad del aire y en las demás normas aplicables.”

14.1.- “La vibración producida por las voladuras, no deben exceder del punto de recepción, los valores que figuran en las normas nacionales y/o internacionales de última fecha, referidas al Control de vibraciones producidas por las voladuras.”

Los parámetros dentro de la ordenanza que regula la explotación de canteras en el cantón Guayaquil deben de ser cumplidos en su totalidad, caso contrario la autoridad correspondiente emitirá sanciones.

1.1.4 Canteras en el área y alrededores de la ciudad de Guayaquil

En el cantón Guayaquil existen aproximadamente 34 canteras asentadas, registradas en la Dirección de Medio Ambiente (DMA) en el 2004, de las cuales el 77,41%, se encuentran localizadas en el sector vía a la costa (Ver tabla 1-1).

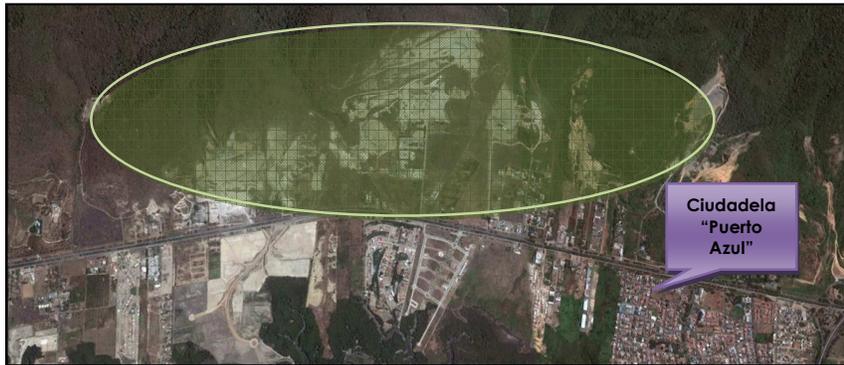


Figura 1-1.- Canteras ubicadas en el sector Vía a la Costa

A continuación se presenta un listado de las canteras registradas en la DMA del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Municipalidad de Guayaquil.

N°	Nombre de la Cantera	Dirección
1	ALFADOMUS	Km. 27 de la Vía a Daule
2	AMPEPU	Km. 16 de la Vía a Daule
3	CANTEBARSA	Km. 12 de la Vía a la Costa
4	CANVER	Km. 13 de la Vía a la Costa
5	CASAS VIEJAS	A la altura del Km. 22 de la Vía a la Costa
6	CENACA - ROCAFORT	Km. 18 Vía a la Costa
7	CHARLES FREIRE M.	Km. 10.5 de la Vía a la Costa
8	COLISA	Vía a Daule
9	COMANDANTE DURO	Km. 33 Vía Perimetral
10	CONMADASA	Km. 14.5 de la Vía a la Costa
11	DECAL	Km. 14 de la Vía a la Costa
12	ESPAÑA	A la altura del Km. 22 de la Vía a la Costa

N°	Nombre de la Cantera	Dirección
13	EVADRIANA	Km. 11.5 de la Vía a la Costa
14	EXPLOSA	Km. 14 de la Vía a la Costa
15	FIALSA	Km. 14.5 de la Vía la Costa
16	FRAGA	Km. 13.5 de la Vía a la Costa
17	GRACIA FREIRE MONTJOY (ANTES CONSORSAN)	Km. 11 Vía a la Costa
18	LA CÓNDOORA	Km. 22 de la Vía a la Costa unos 8 Km. al Norte de dicha vía.
19	LA LECHUZA	A la altura del Km. 22 de la Vía a la Costa
20	LÉRIDA	Km. 14 de la Vía a la Costa
21	MANCHENO	Km. 33 de la Vía Perimetral
22	MANUEL FREIRE M.(ÁREA LA LORENA)	Km. 10.5 de la Vía a la Costa
23	MINAGROSA - ÁREAG-92	A la altura del Km. 22 de la Vía a la Costa
24	MINAGROSA - ÁREA NIGÜITO	A la altura del Km. 22 de la Vía a la Costa
25	MISANSA	Km. 13.5 Vía a la Costa
26	PODERCORP S.A. (ANTES HORMIGONERA GUAYAQUIL)	Km. 15 de la Vía a la Costa
27	PORTETE (AGRECALI)	Km. 33 de la Vía Perimetral
28	PRECON Y AMPLIACIÓN PRECON - HORMIFORT	Km. 14 de la Vía a la Costa
29	PROGRANSA TERRAPLEIN	Km. 13.5 de la Vía a la Costa
30	SAN JORGE	Km. 33 Vía Perimetral
31	SAN LUIS	Km. 10 de la Vía a la Costa

Tabla 1-1.- Canteras registradas en la DMA

1.2 Agregados

1.2.1 Definición de Agregados

Los agregados (también llamados áridos) son materias primas minerales, inertes, que se extraen en canteras, graveras o en los meandros de los ríos.

Son arenas, gravas rodadas o trituradas u otros materiales compuestos de partículas de origen pétreo, pueden ser de diferente forma o tamaño, que son aprovechados como materiales para la construcción.

Su valor depende del proceso de extracción y del transporte, por lo que generalmente se busca la cantera más cercana a la obra.

1.2.2 Función de los Agregados

La función principal de los agregados, cualquiera que sea su aplicación, es la de servir como esqueleto debido a que son estabilizadores de volumen, a mayor cantidad de agregados mayor será la estabilidad.

1.2.3 Historia de los Agregados

Aunque no existen registros de las primeras canteras explotadas o de los primeros estudios para la realización del proceso de extracción de los agregados, es fácil notar que ya hace muchos siglos se ha venido empleando el uso de los agregados, los cuales se puede observar en los vestigios que nos han dejado nuestros antepasados y que hasta la actualidad podemos admirar. Por ejemplo; tenemos las pirámides que fueron construidas por los egipcios con piedras de grandes dimensiones; en la edad media encontramos un sinnúmero de edificios, puentes, casas, caminos, catedrales, etc. El proceso de extracción de agregados que se llevaba en esos tiempos era a base de pico y pala, luego los artesanos tallaban y moldeaba la roca para su aplicación en las diferentes construcciones.



Figura 1-2.- Empleo de materiales pétreos (Pirámide Keops)

Profundizando más, la extracción de los agregados empezó desde la edad de piedra, época en la que tomaban piedras de los ríos cercanos y luego las convertían en herramientas o armas después de haber pasado por un proceso de tallado.

Los agregados han sido uno de los materiales más utilizados en nuestra sociedad, siendo un aporte importante para la humanidad y aunque han pasado siglos desde que se los emplean, la extracción de los agregados ha ido en crecimiento junto al desarrollo tecnológico de un país, esto es, cuanto más desarrollado está un país, mayor cantidad de

agregados consume, convirtiéndose así en el segundo¹ material más consumido por la humanidad, después del agua.

1.2.4 Clasificación de los Agregados

Existen diferentes formas para la clasificación de los agregados, esta clasificación puede estar dada por el tamaño del grano, por el sistema de obtención, por su procedencia, por su naturaleza química, según su empleo, etc. pero nos enfocaremos en tres de ellas, según el sistema de obtención, según su procedencia y según su tamaño.

1.2.4.1 Según su sistema de obtención

Natural.- Es aquel que es procedente de un yacimiento mineral, en la orilla de un río o playa, y que son obtenidos solo por procesos mecánicos o de voladura. De este grupo existen dos tipos: agregado granular y agregado triturado.

- Agregado Rodado: También conocido como Canto Rodado, se caracterizan por tener aristas

¹ Fuente: Asociación Nacional de Empresarios fabricantes de áridos (ANEFA), 2008

redondas, superficies lisas lo cual les permite que se adapten con facilidad al recipiente que los contiene, de tal manera que son más trabajables y fáciles de colocar en obra.



Figura 1-3.- Agregado Rodado

- Agregado Triturado: Se obtienen en canteras y tras su extracción del macizo rocoso éstos son triturados, se caracterizan por tener aristas angulosas que les permiten tener mayor rozamiento entre sí obteniendo compuestos con mayor resistencia a la compresión.



Figura 1-4.- Agregado Triturado

Artificial.- Son aquellos que han sufrido una modificación físico-química, son sub-productos, pueden proceder de suelos arcillosos y arenosos, residuos de incineración de residuos urbanos, escorias de procesos siderúrgicos o metalúrgicos, pero reúnen las condiciones para su utilización como agregados.



Figura 1-5.- Agregado Artificial

Reciclado.- Es una forma de aprovechar los materiales que previamente fueron usados en una construcción, ya que los agregados reciclados son aquellos que resultan del reutilizamiento de los residuos de las construcciones o escombros de las demoliciones u otras estructuras. Pero para que estos materiales puedan ser empleados como agregados deben pasar por un proceso de selección, tamizado y lavado. Estos agregados son recomendables en la elaboración de productos prefabricados, para realizar pavimentos o cimientos.



Figura 1-6.- Agregado Reciclado

1.2.4.2 Según su estructura pétrea mineral

Agregados Sedimentarios.- Son aquellas procedentes de rocas sedimentarias.

Las rocas sedimentarias son las que por consecuencia de fenómenos de alteración, transporte y sedimentación han formado una nueva roca que puede tener las mismas propiedades de la roca madre o haber cambiado su propiedades físico-químicas debido a los fenómenos sufridos, estas se pueden hallar en las orillas de los ríos, en mares, lagos, valles y fondos de barrancos.

Agregados Metamórficos.- Son aquellos procedentes de rocas metamórficas.

Las rocas metamórficas son aquellas que su composición y textura han sido alteradas por intensas presiones y temperaturas, este proceso ocurre en el estado sólido es decir que las alteraciones que sufre se llevan a cabo sin que la roca llegue a fundirse.

Agregados Ígneos.- Son aquellos procedentes de rocas ígneas.

Las rocas ígneas son aquellas que se forman por el enfriamiento y solidificación del magma (roca fundida), son las más empleadas en la construcción ya que poseen mayor resistencia y peso específico que las metamórficas y sedimentarias.

1.2.4.3 Según su tamaño

Para la clasificación de los agregados según su tamaño se necesita emplear tamices, los cuales poseen nombres y aberturas estandarizadas (ver tabla 1-2) y según el agregado retenido o pasante se clasifican en:

Agregados Gruesos (gravas).-Son aquellos que se quedan retenidos en el tamiz N°4 (4.75mm), estos pueden ser agregados rodados o triturados.



Figura 1-7.- Agregados Gruesos (Grava)

Agregados Finos (arenas).-Son aquellos pasantes del Tamiz N°4 y a su vez retenidos en el Tamiz N°200 (0.075mm), tiene las siguientes subdivisiones:

- **Arena gruesa:** pasa la malla No.4 (4.75mm) pero se retiene en la malla No.10 (2mm).
- **Arena media:** pasa la malla No.10 (2mm) pero es retenida en la malla No.40 (425 mm).
- **Arena fina:** pasa la malla No.40 (425 mm) pero es retenida por la malla No.200 (75 mm).



Figura 1-8.- Agregados Fino (Arena)

ASTM (Designación)	INEN (Abertura Indicada)
3 pulg	75 mm
2 pulg	50.8 mm
1 pulg	25.4 mm
3/4 pulg	19.0 mm
1/2 pulg	12.7 mm
3/8 pulg	9.5 mm
No 4	4.75 mm
No 8	2.36 mm
No 10	2.0 mm
No 16	1.18 mm
No 40	425 μ m
No 60	250 μ m
No 100	150 μ m
No 140	106 μ m
No 200	75 μ m
No 400	38 μ m

Tabla 1-2.- Abertura de los Tamices

1.2.5 Cascajo

El cascajo (piedra partida) se presenta algunas veces de color café amarillento, no tienen una granulometría establecida acumulándose con finos, medianos y gruesos, y

no se lo emplea en la elaboración del hormigón por su graduación (contenido de limos y arcilla).

Es conveniente siempre rechazar aquel cascajo que sea muy laminado o astillado y aceptando aquellos granos que posean forma de pirámides irregulares o ligeramente cúbicas.

Las aplicaciones principales que tienen los cascajos son en los rellenos y escolleras.



Figura 1-9.- Cascajo

1.2.6 Usos de los Agregados en la Ingeniería Civil

La aplicación que tenga el agregado depende mucho de sus propiedades físico-químicas, sus características geológicas, litológicas, su resistencia frente a cargas y vibraciones, por lo cual el agregado debe ser un material barato y abundante, y

que su lugar de extracción se encuentre cercano a los centros de consumo.

A continuación se presenta un listado de las principales aplicaciones de los agregados en las obras civiles:

- **Construcción.-** Construcción de puentes, carreteras, autopistas y calles. Con agregados se construye, desde las capas de base y de sub-base, hasta lo que se conoce como asfalto, que es en realidad una mezcla de áridos y derivados del petróleo.
- **Construcción de Paredes.-** Las paredes de ladrillos o de bloques prefabricados se construyen uniendo estos elementos con mortero: Un metro cúbico de mortero contiene 1,3 toneladas de áridos. También se emplea el mortero para revestimientos o revocos.
- **Hormigón.-** Es una mezcla de agregados, cemento y agua, además de algún aditivo. Para la fabricación de 1 metro cúbico de hormigón son necesarias entre 1,8 y 1,9 toneladas de agregados. Se emplea en elementos estructurales como cimientos, pilares y vigas de los edificios, para elementos prefabricados, como bordillos, adoquines, tuberías y bloques, o como pavimento.

- **Balasto.-** Formado por agregados de alta resistencia sobre los que se apoyan las traviesas de las vías de ferrocarril. Por otra parte, las propias traviesas son, a menudo, de hormigón prefabricado.
- **Escollera.-** Es un agregado de grandes dimensiones, incluso de más de un metro y varias toneladas de peso, que se emplea en los puertos en márgenes de los ríos e incluso en carreteras y otras infraestructuras, como elemento de protección y de contención (de las aguas o del terreno).
- **Rellenos.-** Los agregados pueden utilizarse como material de relleno en obras de construcción, en los rellenos se emplea más el cascajo.

CAPÍTULO 2

2 ASPECTOS GENERALES DE LA CANTERA SAN LUIS

2.1 Ubicación Geográfica

La cantera San Luis se encuentra ubicada en la provincia del Guayas, cantón Guayaquil, parroquia urbana Tarqui, en el Km 10.5 Vía a la Costa, frente a la ciudadela “Puerto Azul”.



Figura 2-1.- Ubicación de la Cantera San Luis

Fuente: Google Earth, 2011

2.2 Historia

La cantera San Luis, es una compañía minera fundada aproximadamente hace 45 años por el Dr. Luis Freire y actualmente es administrada por sus hijos, siendo su hija, la Ing. Mónica Freire, la Gerente General actual de la cantera.

La cantera San Luis está especializada en la producción y comercialización de agregados para la industria de la construcción en la ciudad de Guayaquil.

El yacimiento pétreo que explotan en la cantera es de tipo sedimentario y el Miembro geológico es el Miembro Guayaquil de la Formación Cayo.

El tipo de roca que extraen son Arenisca y Lutita Silificada.

2.3 Características del Macizo Rocosó

2.3.1 Geología y Geomorfología

La costa ecuatoriana se ubica al Oeste de la Cordillera de los Andes, sobre la cual se han depositado materiales detríticos, que constituyen las formaciones geológicas de origen marino del litoral ecuatoriano y posteriormente formaciones de origen sublitorales-continental de la cuenca del Río Guayas. Dentro de los cerros de la cordillera de Chongón-Colonche se encuentran las formaciones Ancón, Las Masas, San Eduardo, Guayaquil, Cayo y Piñón.

La ciudad de Guayaquil se asienta mayoritariamente sobre depósitos aluviales. Esto es particular en los sectores céntrico, sur y suroeste de la urbe. Los depósitos aluviales consisten de materiales arrastrados por los cursos de agua, tales como areniscas, o son provenientes de otras

formaciones. Los depósitos aluviales corresponden al período Cuaternario.

Hacia el Norte y Noroeste de la ciudad se presenta la formación geológica Cayo, del período Cretácico superior, constituida por areniscas, grauvacas, lutitas y argilitas, de color gris, verde o habano. Todos los cerros que afloran en la ciudad de Guayaquil presentan rocas pertenecientes a esta formación.

Hacia el Oeste de la ciudad se ubica la formación San Eduardo, período Eoceno, conformada por calizas estratificadas. Esta formación se encuentra en un contacto discordante con la formación Cayo, subyacente a la misma. La importancia económica de la formación San Eduardo reside en que es fuente de materia prima para la elaboración de productos minerales no metálicos, caso de cemento y agregados.

2.3.2 Geotecnia

De las características geológicas descritas, en la ciudad de Guayaquil predominan suelos compuestos por depósitos aluviales, por lo que a fin de establecer edificaciones se ha

requerido históricamente el uso de material de relleno. Este es el denominado cascajo que consiste de grava arenosa y proviene de las canteras de los cerros de la ciudad.

A continuación se describe la litología de las Formaciones Geológicas que influyen en el área de la cantera.

- **Formación Cayo.**- En las proximidades al Estero Salado, específicamente en los cerros ubicados tras la Ciudadela Ferroviaria y Cerro Azul afloran rocas que pertenecen a la Formación Cayo. En estos cerros la Formación Cayo está representada por unidades de arenisca, lutita bien estratificada y en ciertos niveles hay brechas de tamaño fino. Estas rocas tienen colores variables según el grado de alteración y oxidación.

Otra propiedad importante de señalar es que las rocas de esta formación han sufrido un enriquecimiento secundario de sílice que afectó a las lutitas y a veces a las areniscas. Esta propiedad ha tenido influencia estructural ya que la masa rocosa en muchos afloramientos tiene elevado grado de fracturamiento.

- **Formación Guayaquil.-** constituida principalmente por lutitas silíceas cherts. Las colinas son de una altura (80-100 m), de vertientes cóncavo-convexas y de cimas redondeadas. Hacia el NO, en este mismo nivel estratigráfico se presentan colinas más altas (100-200m).

Por lo tanto se tiene que el área de explotación de la cantera San Luis va ser correspondiente a las lutitas silificadas con alto contenido de minerales arcillosos y arenisca bien compactada de la Formación Cayo. Fuera del área de la cantera (suroeste) se encuentra yacimientos de rocas calizas conocidas como la Formación San Eduardo.

El rumbo del macizo rocoso explotado va en dirección al Sur-Oeste con variaciones de 15 a 30 grados. El espesor de los estratos varía entre diez a veinte centímetros.

2.3.3 Área de extracción

Los vértices del área que actualmente ha explotado esta cantera se detallan a continuación:

Punto	X(m)	Y(m)
P1	615048	9760003
P2	615192	9759719
P3	615076	9759451
P4	615410	9759450
P5	615026	9758820
P6	614696	9758927
P7	614645	9759197
P8	614774	9759371
P9	614626	9759518

Tabla 2-1.- Vértices del área de explotación de la cantera
San Luis



Figura 2-2.- Ubicación de la Cantera San Luis

Fuente: Google Earth, 2011

2.4 Tipos de materiales extraídos del cerro

La cantera San Luis para sus procesos de extracción de los agregados ha clasificado el macizo rocoso en 4 diferentes tipos de estratos según su litología y estructura (Ver tabla 2-2).

TIPO	DESCRIPCIÓN	HORIZONTALES DEL SUELO
A	Corresponde a la sobrecarga o suelo en general, presenta una coloración rojiza a marrón provista de un alto contenido arcilloso y materia orgánica.	
B	Está formada por material consolidado, la roca es una lutita pero relativamente suave debido al nivel de meteorización que esta tiene, de coloración amarillo con tonos que varían del blanco, crema y marrón, a esta unidad se la denomina comúnmente cascajo; para su explotación se utiliza tractor y solo en condiciones especiales se utiliza explosivos.	
C	Esta corresponde a una lutita altamente silicificadas de color gris azulada apta para trituración, los estratos son más potentes pero casi nunca exceden de los 0.50 m. en esta unidad se observa un alto grado de fracturamiento, para su explotación se requiere de perforación y el uso de explosivos.	
D	Se encuentra debajo del primer estrato de arenisca que se localiza en la zona y prácticamente corresponde a la transición entre el miembro Guayaquil y el miembro Cayo, al igual que la unidad C se la explota mediante perforación y voladura.	

Tabla 2-2.- Clasificación del macizo rocoso

Los materiales que extraen de la cantera se emplean especialmente en la construcción, también producen agregados para rellenos, terraplenes, muros, industrias bloqueras, fábricas de tubos, postes, etc.

La cantera San Luis clasifica en tres grupos sus productos: materiales no triturados, mezclas y material triturado.

2.4.1 Materiales No Triturados

Los materiales no triturados son aquellos que no necesitan pasar por un proceso de trituración para ser comercializados, solo se emplean retroexcavadoras para su extracción, generalmente son aquellos materiales pertenecientes a la clasificación del macizo rocoso del tipo B (Ver Tabla 2-2).

Los materiales no triturados son:

- **Cascajo en banco:** Es aquel producto que se encuentra In Situ y el comprador paga por el producto mas no por el transporte.
- **Cascajo fino:** Es aquel que posee granos de tamaño menores a 5cm.

- **Cascajo mediano:** Es aquel que posee granos entre 12cm y cascajo fino pero en menor porcentaje.
- **Cascajo grueso:** Es aquel que posee granos desde 23cm hasta 12cm.
- **Cascajo Mejorado (Sub-Base GW):** Es cascajo que ha pasado por un proceso de mejoramiento para que su índice de plasticidad sea menor a 9.
- **Piedra Base:** Son piedras que poseen granos máximos desde 35cm pero no contienen finos.
- **Piedra Bola:** Son las conocidas Piedras de escollera, aquellas que su tamaño va de 40cm en adelante.

2.4.2 Materiales Triturados

El material triturado es aquel que pasa por un proceso de trituración para proceder a su venta, generalmente son aquellos materiales pertenecientes a la clasificación del macizo rocoso tipo C o D (Ver Tabla 2-2). Los materiales triturados son:

- **Piedra #57 NORMA ASTM C-33²:** También conocida como “Piedra ¾”, su granulometría va desde el retenido de la malla 1” hasta la N°4 (25.4 a 4.75 mm), debiendo tener retenidos en la mallas 1”, ¾” ½”, 3/8” y N°4. El agregado de mayor porcentaje que se presenta es el de ¾” y el de menor porcentaje es la N°4.
- **Piedra#8 NORMA ASTM C-33:** También conocida como “Piedra Chispa”, los tamaños de agregados que poseen son según la NORMA ASTM van desde la 3/8” hasta la N°8 (9.5 a 2.36 mm), debiendo tener retenidos en las mallas 3/8”, N°4, N°10 y N°8, teniendo como mayor porcentaje la piedra 3/8”.
- **Piedra #10:** También conocida como “Cisco”, no se encuentra regulada dentro de la norma ASTM pero su granulometría es: N°4, N°10, N°40 y la N°100. El agregado de mayor porcentaje que se presenta es el N°10.
- Existe un agregado que aunque no lo comercializa la cantera San Luis es importante mencionarlo, debido a su

²Esta especificación define los requisitos para granulometría y calidad de los agregados finos y gruesos (distinto de los agregados liviano o pesado) para utilizar en concreto, también para ser utilizada por un contratista, proveedor de concreto, u otro comprador como parte de un documento de compra que describe el material a proveer.

gran aplicación en las obras civiles, su granulometría según la norma ASTM va desde la 1 ½" hasta la 3/8".

2.4.3 Mezclas

Las mezclas son el resultado de combinar los diferentes tipos de materiales triturados para obtener un nuevo producto. Las mezclas son:

- **Base Clase 1 Tipo A:** La granulometría es la siguiente 1 ½", 1", ¾", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°200; se encuentra dentro de las especificaciones del MTOP 404-1.1³.
- **Sub-Base Clase 1 Tipo A:** La granulometría es la siguiente: N°4, N°40, N°200; se encuentra dentro de las especificaciones del MTOP 403-1.1⁴.

2.5 Tasa de Producción de agregados

La cantera San Luis lleva un control mensual de su producción. A continuación se presentan los registros de los últimos cinco meses de la producción de lutita en la cantera:

³Esta especificación define los requisitos de calidad y clasifica las bases de agregados según su granulometría.

⁴Esta especificación define los requisitos de calidad y clasifica las sub-bases de agregados según su granulometría.

Mes	Producción (Ton/mes)
Mayo	26,830.54
Junio	36,636.05
Julio	36,316.39
Agosto	41,596.03
Septiembre	30,000.00
TOTAL	171,379.01

Tabla 2-3.- Producción mensual de la cantera San Luis

Considerando que la cantera en promedio de un mes trabaja 22 días y de los cuales 6 horas reales de trabajo realizan las trituradoras, se tiene un promedio de:

Producción lutita = 259.66 Ton/horas

Al igual que la Lutita triturada, la cantera San Luis lleva un registro del cascajo que explotado y comercializado, en los últimos cinco meses han tenido un registro total de 608,58 Ton/horas

2.6 Costo de los Agregados de la Cantera San Luis

Actualmente la Cantera San Luis comercializa sus productos con los siguientes precios, estos productos son vendidos por tonelada.

En las siguientes tablas se presentan los costos en dólares de dichos productos, en los materiales no triturados se presenta el costo con el costo del transporte (20 km aproximadamente) incluido:

➤ Materiales No Triturados

DESCRIPCIÓN	VALOR (\$/Ton)	IVA (\$/Ton)	P. DE VENTA (\$/Ton)
Cascajo en Banco	0,80	0,10	0,90
Cascajo Fino	2,40	0,29	2,69
Cascajo Grueso	2,60	0,31	2,91
Cascajo Mediano	2,40	0,29	2,69
Material Sub-base GW	2,80	0,34	3,14
Piedra Base	2,80	0,34	3,14
Piedra Bola	2,90	0,35	3,25

Tabla 2-4.- Costo de Materiales No Triturados

➤ Materiales Triturado

DESCRIPCIÓN	VALOR (\$/Ton)	IVA (\$/Ton)	P. DE VENTA (\$/Ton)
Piedra #57	5,97	0,72	6,69
Piedra #10	5,70	0,68	6,32
Piedra #8	7,52	0,90	8,42

Tabla 2-5.- Costo de Materiales Triturados

➤ Mezclas

DESCRIPCIÓN	VALOR (\$/Ton)	IVA (\$/Ton)	P. DE VENTA (\$/Ton)
Base Clase 1 Tipo A	5,19	0,62	5,81
Sub-Base Clase 1 Tipo A	5,05	0,61	5,66

Tabla 2-6.- Costo de Mezclas

CAPÍTULO 3

3 PROCESO DE EXTRACCIÓN (BARRENADO Y VOLADURA)

3.1 Introducción del proceso de extracción

El método para el proceso de extracción de la materia prima en una cantera se lo determina dependiendo del material en el lugar, es decir, del tipo de roca. Para esto, se debe de realizar un estudio previo, en el que se planifica la técnica de extracción, ya que ciertas rocas requieren para su explotación de métodos más complejos y costosos que otros.

3.1.1 Métodos de extracción de los agregados de la Cantera San Luis

En la cantera San Luis se emplean dos tipos de arranque (extracción) de la roca, adaptados a los dos diferentes tipos de yacimientos.

Las dos maneras de extracción de agregados que se consideran en la cantera San Luis son:

- Método de Arranque Mecánico o Directo.
- Método por Barrenado y Voladura.

Para el macizo rocoso que presenta mayor fisuramiento o no tan consolidado, se emplea el método de extracción denominado arranque mecánico.

Para el macizo rocoso que presenta menor fisuramiento y muestra mayor resistencia a los efectos mecánicos y que por su dureza no puede ser extraído por métodos directos. Se debe de hacer uso de explosivos para extraer el material, aquí es cuando viene el método de barrenado y voladura.

3.1.2 Descripción de la extracción de los agregados de la Cantera San Luis

Antes de la extracción de la materia prima que va a ser comercializada, los terrenos de los que se extrae los agregados en la cantera San Luis (y generalmente en todas las canteras) están cubiertos de una capa vegetal, siendo necesario un proceso previo en el que se pone al descubierto el yacimiento explotable, retirando selectivamente la cubierta vegetal, los estériles y las rocas alteradas. Estos materiales no aptos como áridos, son, sin embargo, de un gran valor para la restauración de las áreas ya explotadas.

Dentro de la cantera existen 2 lugares que podrían almacenar material estéril. En la actualidad se utiliza uno de estos lugares para realizar el respectivo desalojo.

La zona donde se obtiene la roca se denomina frente de extracción. Cuando la potencia del yacimiento, es decir el espesor del material, es grande, se forman bancos o escalones de altura limitada, diseñados de tal manera que permitan un acceso fácil a los equipos de carga y de transporte.



Figura 3-1.- Bancos para la circulación de maquinarias de extracción de agregados

Los dos métodos de arranque, dependiendo de la roca de la Cantera San Luis se los describe a continuación:

- Extracción de Cascajo: Siendo este un material un poco suelto, se emplean equipos de arranque mecánico como excavadoras, palas cargadoras, y tractores sobre orugas (bulldozer), que extraen directamente la roca. Este tipo de agregado se lo encuentra generalmente como segunda capa de suelo después de la capa vegetal. Conforme se va profundizando, este estrato se vuelve más resistente, hasta un punto en que sus propiedades físico-químicas cambian de tal forma que los métodos de arranque

mecánico resultan ineficientes siendo necesario el barrenado y voladura.

El Bulldozer permite realizar trabajos en el terreno de roturación, empuje de materiales sueltos para formar pilas, para esto se emplea el ripper que es una reja fijada fuertemente en la parte posterior que ejerce una acción de labrado para disgregar terrenos compactos y rocas semiduras y el Stumper para romper capas aisladas de roca.



Figura 3-2.- Bulldozer realizando la extracción por arranque mecánico

La excavadora mediante el movimiento del brazo móvil, que a su extremo produce el impacto de la cuchara con la

roca, haciendo que esta última se desprenda del macizo rocoso.



Figura 3-3.- Maquinarias de arranque mecánico

- Extracción de Lutita: Siendo la Lutita un material considerablemente consolidado, se hace poco conveniente el uso de medios mecánicos para la extracción de esta roca. La extracción de materiales consolidados se efectúa mediante voladura con explosivos, adoptando grandes medidas de seguridad.

Para la fragmentación controlada de la roca y la obtención de la materia prima, se sigue en este caso un procedimiento de Barrenado y Voladura, que consiste en determinar una cota para la profundidad que se va a barrenar y posteriormente introducir los explosivos para la fragmentación de la roca.

El barrenado y voladura en la cantera San Luis es considerado como método de extracción o explotación de agregados en los lugares donde se ha llegado a un estrato tan resistente que se hace poco eficiente usar medios mecánicos, en este caso donde se encuentra Lutita como agregado de extracción.

3.2 Barrenado

3.2.1 Definición de Barrenado

El proceso de Barrenado consiste en realizar perforaciones en el macizo rocoso que se desea demoler. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o *blast holes*.

En perforación tienen gran importancia la resistencia al corte o dureza de la roca (que influye en la facilidad y velocidad de penetración) y la abrasividad. Esta última influye en el desgaste de la broca y por ende en el diámetro final de los taladros cuando ésta se adelgaza (brocas chupadas).

3.2.2 Equipo de Barrenado

El equipo perforador se basa en principios mecánicos de percusión⁵ y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo.

Un equipo normal de perforación está compuesto por:

- Perforadora o martillo: Son las máquinas que accionan la barra o barreno de perforación.
- Soporte y carro portador: son patas que soportan el peso de la máquina y de la barra.
- Compresora y bombas hidráulicas: son las que impulsan a las barras o barrenos.
- Brocas y barrenos: Las brocas son las herramientas cortantes, generalmente de acero altamente resistente al impacto, reforzadas en sus filos con insertos o botones de material muy duro resistente a la abrasión (carburo de

⁵Golpe dado por un cuerpo que choca contra otro

tungsteno). Las Barras o barrenos son varillas o tubos de acero acoplables que transmiten el impacto del martillo a la broca, ubicada en uno de sus extremos.

- Accesorios (mangueras, aceitadoras, etc.).

3.2.3 Criterio en la Selección del Equipo de Barrenado

Existen diversos tipos y marcas de equipos de perforación para diferentes condiciones de trabajo. Su selección se basa en criterios económicos. De diseño mecánico, mantenimiento y servicio, capacidad operativa, adaptabilidad a los demás equipos de la mina, y de condiciones generales del lugar de trabajo (acceso, roca, topografía, fuentes de energía, etc.).

Uno de los criterios más importantes en perforación es la velocidad de penetración.

3.2.4 Equipo de Barrenado Empleado en la Cantera San Luis

En la cantera San Luis para el proceso de barrenado emplea la perforadora TrackDrill⁶ Marca CAT Modelo 320 C John Henry, éste es de tipo oruga, trabaja en los procesos de

⁶ Las perforadoras TrackDrillson las que tienen su sistema de tracción propio, es decir las que se desplazan por sus propios medios (orugas o cadenas), generalmente hidráulicas y con mayor potencia y para perforaciones masivas.

martillado y rotación del cilindro que introduce los ejes de acero que penetran la roca hasta la profundidad del barreno deseado y a su vez se encarga también de extraer la roca demolida del agujero. El TrackDrill puede realizar huecos hasta 150mm (6" de diámetro) y 20m profundidad.



Figura 3-4.- Proceso de perforación de ejes de acero en macizo rocoso

3.2.5 Detallamiento del Barrenado de la cantera San Luis

En la cantera San Luis, cuando se realiza el barrenado se considera los siguientes parámetros:

- Diámetro de Perforación: 3 pulgadas (76mm)
- Malla de Perforación: 3.0m x 3.0m

- Borde y Espaciamiento: 1.5m y 3m
- Altura media de diseño de los bancos: 10.00m

A continuación se presenta una figura esquemática de la separación de barrenos en el macizo rocoso:

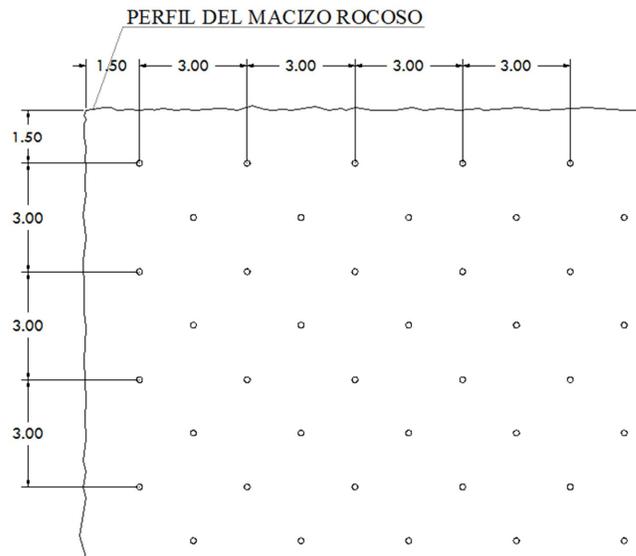


Figura 3-5.- Esquema en planta de configuración de barrenos

3.3 Voladura

3.3.1 Descripción General de la Voladura

Después de realizar las perforaciones debidamente planeadas en el Barrenado, el siguiente proceso es el de Voladura.

La Voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de los barrenos en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.

El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada.

Una buena fragmentación permite tener áridos más trabajables para el transporte y la trituración.

Así, en la explotación de rocas se busca preferentemente fragmentos de rocas pequeños, que facilita los procesos posteriores, aunque algunas veces se requiere que estos fragmentos sean grandes bloques, como los que se emplean para la construcción de rompeolas o escolleras.

El desplazamiento y forma de acumulación del material volado se proyecta de la manera más conveniente para el acarreo, de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles.

3.3.2 Definición de Explosivos

Los explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de óxido-reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve, del orden de una fracción de microsegundo, en productos gaseoso y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega a alcanzar muy altas temperaturas y en consecuencia muy elevadas presiones. Estos fenómenos son aprovechados para realizar trabajo mecánico aplicado para el rompimiento de materiales pétreos, en lo que constituye la técnica de voladuras de rocas”

3.3.3 Parámetros de la Roca a Fragmentar

Previo a la aplicación de los explosivos en un yacimiento se debe considerar las propiedades y condiciones de la roca, entre las cuales tenemos:

3.3.3.1 Propiedades Físicas

- **Dureza.**-Indica aproximadamente la dificultad de perforarla.
- **Tenacidad.**- Indica la facilidad o dificultad de romperse bajo el efecto de fuerzas de compresión, tensión e impacto.
- **Densidad.**- Indica aproximadamente entre la dificultad para volarla y varía entre 1.0 a 4.5gr/cm^3 en promedio. Rocas densas requieren también explosivos densos y rápidos para romperse.
- **Textura.**- Trama o forma de amarre de los cristales o granos y su grado de cementación o cohesión, también relacionada con su facilidad de rotura.
- **Porosidad.**- Proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.
- **Grado de Alteración.**- Deterioro producido por el efecto del intemperismo y agua freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman.

3.3.3.2 Propiedades Elásticas o de Resistencia Dinámica

de las Rocas

- **Resistencia Mecánica.**-Resistencia a las fuerzas de compresión y tensión.
- **Fricción Interna.**- Habilidad de las superficies internas para deslizarse bajo esfuerzos (rocas estratificadas)
- **Módulo de Young.**- Resistencia elástica a la deformación.
- **Relación de Poisson.**- Relación de contracción transversal o extensión longitudinal del material bajo tensión.
- **Frecuencia Sísmica.**- Velocidad con la que estas ondas atraviesan las rocas.
- **Impedancia.**- Relación de la velocidad sísmica y densidad de la roca versus la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Usualmente las rocas con alta frecuencia sísmica requieren explosivos de alta velocidad de detonación.

3.3.3.3 Propiedades Geológicas de la Roca

- **Estructura.-** Es la forma de presentación de las rocas y está en relación con su origen o formación (macizos, estratos, etc.).
- **Grado de Fisuramiento.-**Indica la intensidad y amplitud del fracturamiento natural de las rocas.
- **Presencia de Agua.-**Define el tipo de explosivo a usar.

Es importante la orientación (rumbo y buzamiento) de los sistemas de fisuras y espaciamientos entre ellos, así como la apertura y los tipos de relleno en las discontinuidades.

3.3.4 Proceso de Fracturamiento de la Roca

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de explosivo y a la consecuente respuesta de la masa de la roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía, termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros.

Se estima que el proceso de fragmentación de la roca ocurre en varias etapas o fases que se desarrollan casi simultáneamente en un tiempo extremadamente corto, de pocos milisegundos, durante el cual ocurre la completa detonación de una carga confinada, comprendiendo desde el inicio de la fragmentación hasta el total desplazamiento del material volado.

Estas etapas son:

- Detonación del explosivo y generación de la onda de choque.
- Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca iniciando su agrietamiento.
- Generación y expansión de gases a alta presión y temperatura que provoca el fracturamiento y movimiento de la roca.
- Desplazamiento de la masa de roca triturada para formar la pila de escombros o detritos.

3.3.5 Proceso de Voladura en la Cantera San Luis

En la cantera San Luis se lleva a cabo el proceso de voladura con explosivos ya que es el método más habitual,

dado que no existe ningún sistema mecánico que pueda igualar la capacidad de fragmentación de la roca con la energía de una carga explosiva.

Se debe de introducir en los barrenos, explosivos con una carga explosiva lo suficientemente fuerte como para que el resultado de la roca resultante se adapte a las maquinas trituradoras. Se prefiere que los agregados resultantes tengan como tamaño máximo un diámetro de 60 cm.

Antes de la voladura se realiza un estudio de la dureza y resistencia de la roca para determinar la carga explosiva que ingresara en los barrenos, así como el diámetro de los mismos. Se requiere un proceso de selección de explosivos para saber la separación que existirán entre los barrenos perforados. Para la cantera San Luis, se tiene que la energía de demolición de la roca en el macizo de Lutita alcanza un diámetro de 1.5m. En la siguiente figura se explica lo anterior:

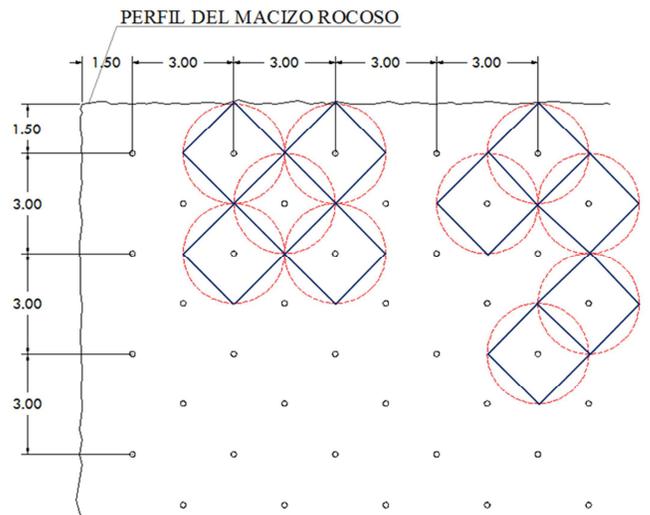


Figura 3-6.- Radio de alcance de demolición de roca

Los explosivos en este caso se emplean colocando la carga en un espacio perfectamente cerrado; al provocarse la explosión, la fuerza expansiva del gas origina una fuerte presión que, venciendo la elasticidad, cohesión y peso de la roca, la quebranta y separa del resto.

En la cantera San Luis se utilizan para la voladura la mezcla de 3 tipos de explosivos que son:

- Pentolita 450 APD
- Nitrato de Amonio
- Dinamita

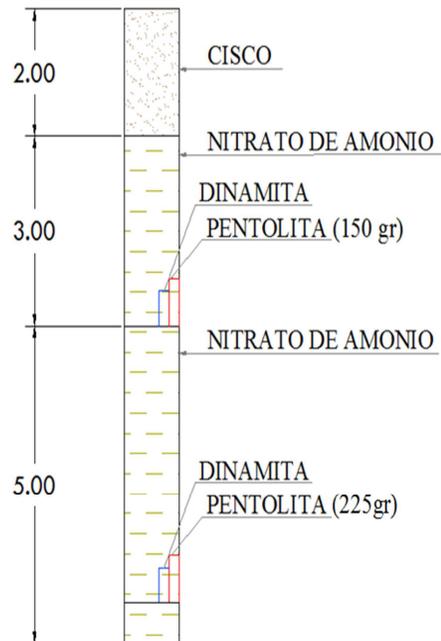


Figura 3-7.- Configuración de explosivos para la voladura

En la figura 3-6 se muestra un esquema de la ubicación y proporción de los explosivos antes de proceder a la detonación: Estos explosivos, son introducidos en los barrenos de 3 pulgadas de diámetro en ciertas proporciones cuya combinación produce la demolición de la roca.

- Carga de fondo: Anfo con pentolita de 225gr con un cartucho de dinamita.
- Carga de columna: Anfo con pentolita de 150gr con un cartucho de dinamita.
- Cordón detonante: de 5gr.

El amarre de superficie se realiza con cordón detonante, se ubican los Retardos intercalados entre filas según diseño, se pone el Fulminante común con la mecha lenta para iniciar la voladura.

A continuación se describen algunos datos importantes:

- Consumo Específico de los explosivos entre sí es de: 0.16 a 0.35 (Kg/m³) dependiendo del tipo de material.
- Volumen de Roca Volada por Barreno (m³): 45 a 54 m³ aproximadamente.

3.4 Carga

3.4.1 Equipos de Carga de Agregados

Después de la voladura el siguiente paso es tomar el agregado y colocarlo en volquetas para que estos áridos sean transportados al lugar de trituración.

En las minas a cielo abierto el equipo de carga se selecciona de forma que las volquetas puedan cargarse en cinco a seis ciclos o pases de la pala; sin embargo, existen otros factores que determinan el tipo de equipo de carga.

Para rocas duras o climas húmedos que es el caso de la cantera San Luis, se usan las siguientes excavadoras sobre oruga:

- CATERPILLAR 320C
- 2 Daewoo 330 SL-5

Las 2 maquinas son alquiladas, con capacidad del cucharon aproximadamente de 2m³. Se escoge excavadora de oruga debido al terreno donde se carga el material, ya que en su superficie existen piedras afiladas o con puntas que podrían dañar los neumáticos en el caso de que el equipo de carga escogido las posea. Para este proceso también se usan bulldozers para formar pilas de escombros, los mismos usados en el arranque mecánico.



Figura 3-8.- Excavadora de Oruga DAEWOO 330 SL-%



Figura 3-9.- Excavadora CATERPILLAR 320 C sobre oruga para carga de agregados a volquetas para la posterior trituración

3.5 Acarreo

3.5.1 Equipos de Acarreo de los Agregados

Para el acarreo de agregados en la Cantera San Luis se utilizan como medios de transporte, que van desde la fuente de explotación hasta las trituradoras, Volquetas con capacidad de hasta 12m³ de volumen, de tal manera que optimice el proceso de producción:

- Volqueta Mercedes Benz de 9 m³ de capacidad.
- Volqueta Kockum de 12 m³ de capacidad.

Cuando el proceso de trituración ha culminado y los agregados han sido tamizados y mezclados, estos áridos son transportados mediante Volquetas, Tráilers o el medio de transporte necesario para movilizar la carga que sea solicitada.

3.6 Diagrama de proceso de extracción de agregados en la cantera San Luis

A continuación un resumen de lo explicado en este capítulo mediante un esquema gráfico del procedimiento de Barrenado y Voladura.

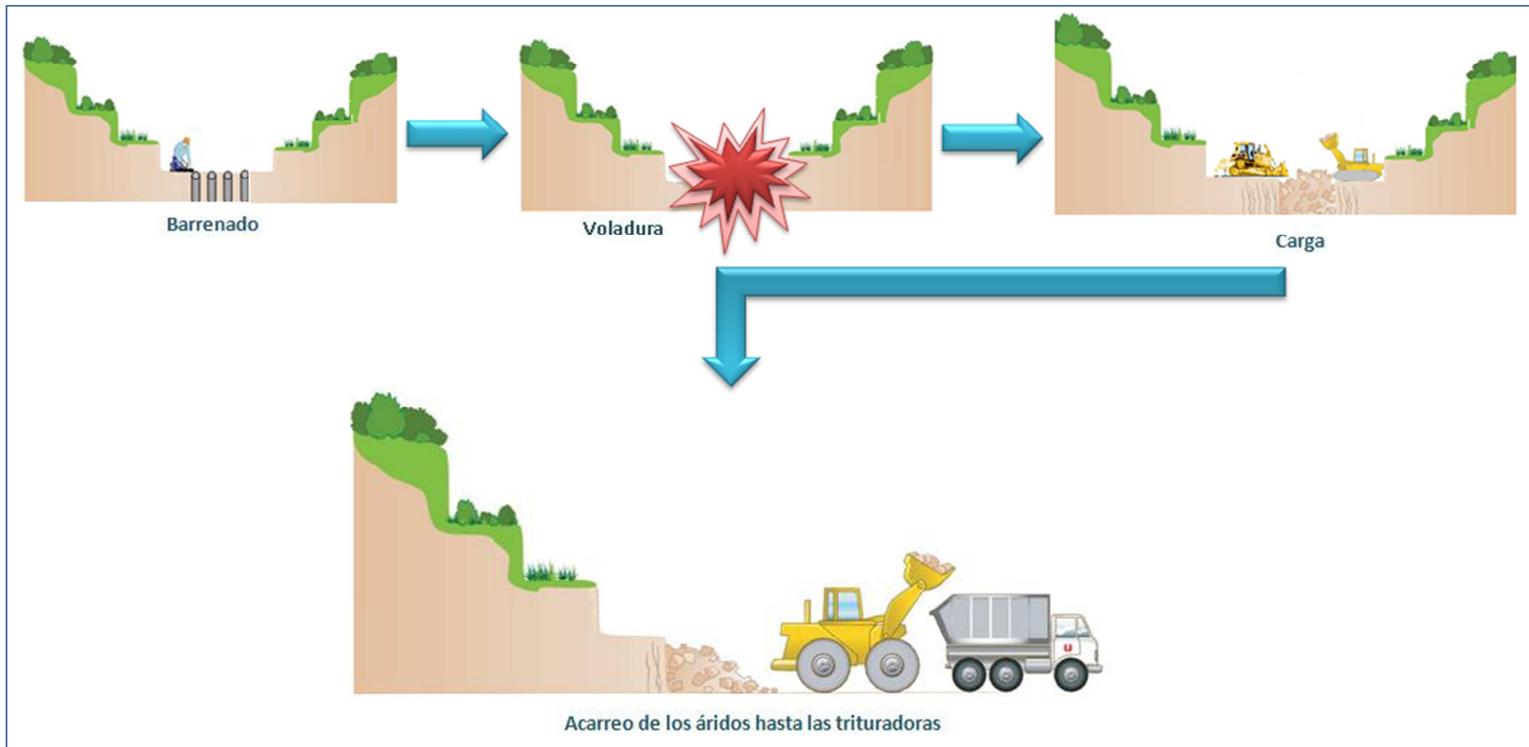


Figura 3-10.- Diagrama de proceso de extracción de agregados en la cantera San Luis

CAPÍTULO 4

4 PROCESO DE TRITURACIÓN Y TAMIZADO

4.1 Proceso de Trituración

La trituración es un proceso de reducción del tamaño de áridos o agregados. Se utilizan fuerzas en la reducción de tamaño tales como compresión, cizallamiento, impacto y abrasión, mediante maquinarias de trituración, que son clasificadas dependiendo del tamaño de agregado que ingresa y sale de esta. No siempre es suficiente una sola trituradora para el resultado final de agregados, se debe de llevar un proceso en serie de dos o más trituradoras para tener una buena eficiencia de producción y el tamaño de agregado deseado.

La granulometría de los agregados es un aspecto fundamental para garantizar el óptimo resultado en la obra que se necesite realizar, es un aspecto que va de la mano con los costos ya que continuamente se buscara un equilibrio entre la parte económica y técnica.

Se debe llevar a cabo un proceso de trituración de los agregados que garantice el tamaño máximo de árido para poder ser clasificado y posteriormente vendido.

4.1.1 Descripción de la Trituración de la cantera San Luis

La trituración consiste en reducir el tamaño de los agregados para posteriormente poder ser clasificados y mezclados; esta clasificación y mezcla depende del uso que se le vaya a dar (obra a realizarse).

La trituración se da en diferentes etapas para reducir el tamaño de las piedras extraídas debido a que estas etapas de reducción están directamente relacionadas con la energía aplicada.

La trituración en la cantera San Luis se divide en 2 etapas, que son:

- Trituración Primaria
- Trituración Secundaria

Dependiendo de la granulometría de agregados que ingresen a las trituradoras y el resultado final que se desee obtener en tamaño de árido, así como por la resistencia de fragmentación de la roca, se pueden tener más etapas de trituración, es decir, podría haber una trituración terciaria.

4.1.2 Trituración Primaria

Las trituración primaria consiste en reducir el tamaño de la roca después de haber sido extraída mediante los métodos Mecánicos o de Barrenado y Voladura, con el fin de obtener un tamaño de grano que permita su transporte en cintas transportadoras.

Para conseguir esta reducción se utilizan trituradoras de agregado tipo mandíbula o molinos cónicos, los cuales por medio de impactos reducen el tamaño de la roca extraída.

En la cantera San Luis se fragmentan los trozos grandes recién extraídos por medio de una trituradora tipo mandíbula,

con la cual se reduce la roca hasta obtener un producto de 4".

4.1.3 Trituración Secundaria

Una vez realizada la operación de trituración primaria, el mineral es conducido por medio de cinta transportadora de banda, a un lugar de almacenamiento.

Desde este lugar de almacenamiento se ingresan los agregados ya reducidos a una segunda trituradora que se encarga de reducir la piedra hasta un tamaño máximo de $1\frac{1}{4}$ ".

Así mismo como en la trituración primaria, la piedra dentro de la trituradora secundaria se reduce mediante impactos, compresión y más fuerzas físicas que garantizan un rango de tamaño de áridos.

Adicional, existe una recirculación de los agregados que permite que los agregados que no son de la medida deseada sean devueltos a un punto anterior del proceso de la trituración secundaria para obtener la granulometría idónea.

4.2 Maquinaria de Trituración

Para decidir qué tipo de trituradora se usará en una cantera, el principal factor es el tamaño máximo del material a triturarse y la capacidad requerida.

Al existir diferentes etapas de trituración, también existen diferentes maquinarias para cada etapa, la etapa de trituración depende del tamaño de la roca que ingresa a la trituradora así mismo depende de la energía aplicada en la trituración. Cuando existe una diferencia grande entre el tamaño del producto triturado al deseado se requiere una cantidad grande de energía.

En la cantera San Luis se usan 2 tipos de trituradoras, una para la trituradora primaria y otra para la secundaria.

4.2.1 Maquinaria de Trituración Primaria

Para la fase primaria de trituración se utiliza una **trituradora tipo mandíbula**, Marca Pioneer Modelo 3042 con las siguientes características:

- Alimentador de 42"x18"
- Trituradora de 30"x42"

- 460 Voltios de motor eléctrico
- 150 HP
- Mandíbula de Manganese entre 14% a 18%
- Lubricación a través de bomba hidráulica
- Controlado por sistema computarizado Marca Siemens Programa Sirius

La trituradora de mandíbula es la que se emplea mayoritariamente en canteras debido a su alta tasa de reducción del producto y diseño para servicio pesado.

La trituradora de mandíbula esencialmente consta de dos placas de hierro instaladas de tal manera que una de ellas se mantiene fija y la otra tiene un movimiento de vaivén de acercamiento y alejamiento a la placa fija, este movimiento es accionado por el movimiento vertical de una biela⁷ la cual está articulada a un eje excéntrico por su parte superior y a dos riostras por la parte inferior, logrando así fragmentar el material que entra al espacio comprendido entre las dos placas.

⁷Elemento mecánico que sometido a esfuerzos de tracción o compresión, transmite el movimiento articulando a otras partes de la máquina

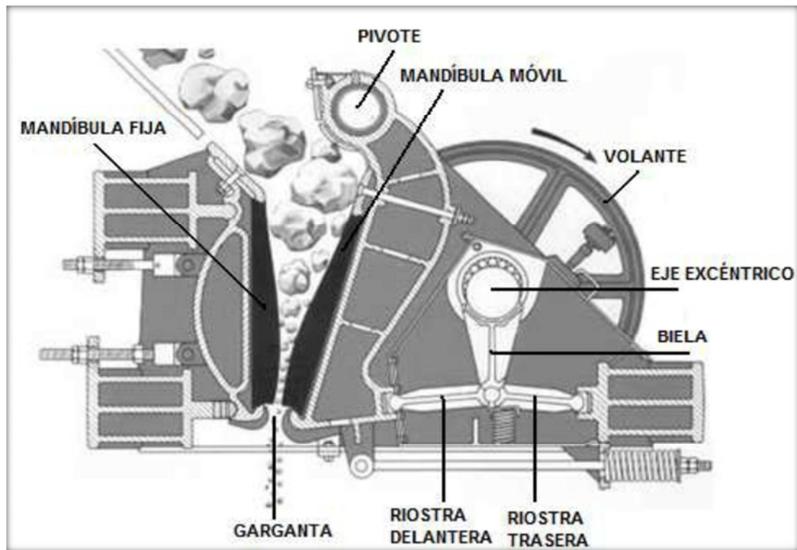


Figura 4-1.- Partes de conforman una trituradora de mandíbula

Estas máquinas trabajan en condiciones extremadamente duras y por lo tanto son de construcción robusta. El marco bastidor principal está hecho de hierro fundido o acero.

El ángulo formado entre las mandíbulas, normalmente es menor a 26° , con el objetivo de aprisionar las partículas y no dejar que estas resbalen a la parte inferior. El tamaño máximo de agregado que puede ingresar a esta trituradora está entre los 60 a 50cm y libera agregados de tamaño máximo de 12cm aproximadamente.

Para garantizar un proceso optimo de trituración de agregados, se trata de extraer agregados de los macizos rocosos de tamaño trabajable, es decir, que no sean de gran tamaño, esto puede ser controlado con los procesos de voladura y barrenado así como con medios mecánicos. Si se ingresa roca de gran tamaño a la trituradora la producción disminuye su eficiencia dado que la energía de trituración se debe de repartir para disminuir el tamaño del agregado convirtiéndolo en la mayor cantidad de piedras.

4.2.2 Maquinaria de Trituración Secundaria

Luego de la trituración primaria, el material es transportado por medio de una banda de 30" de ancho hasta una pila de almacenamiento.

Para la etapa de trituración secundaria en la Cantera San Luis se usa una **trituradora tipo cono**, Marca Pioneer, Modelo 54" con las siguientes características:

- Trituradora de 54"
- 440 Voltios de motor eléctrico
- 250 HP



Figura 4-2.- Trituradora de Cono de la cantera San Luis

Las trituradoras de cono son capaces de producir cantidades grandes de piedra triturada uniformemente fina. Son convenientes en su uso también al ser de bajo costo de ejecución y en mantenimiento.

Son diseñadas o bien a partir del hueco de paso y diámetro de la pieza móvil o a partir del tamaño de la abertura de recepción de muestra. La acción trituradora es causada por el cierre del hueco entre la línea de la pieza móvil montada en el huso⁸ vertical central y las líneas cóncavas fijas del marco principal de la trituradora. El hueco es abierto y

⁸ Instrumento manual de forma cilíndrica, más ancha por el centro, que sirve para hilar y devanar.

cerrado por una excéntrica situada en la parte inferior del huso.

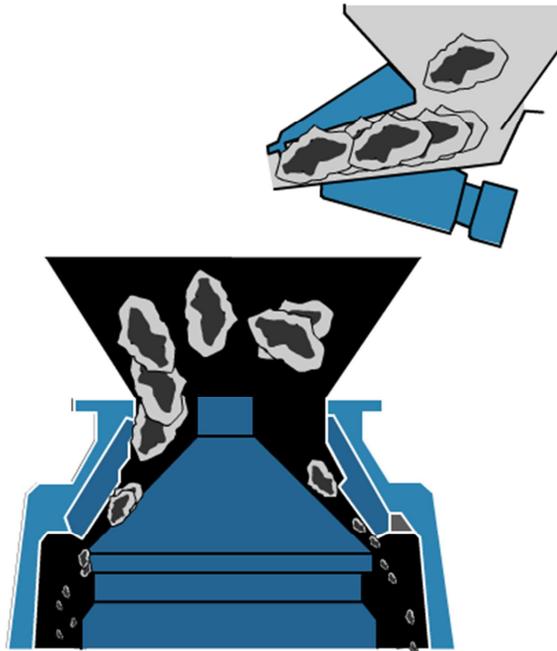


Figura 4-3.- Esquema de trituración en trituradora de cono

La trituración secundaria comienza cuando se descarga el material acumulado en la pila por medio de un alimentador vibratorio Center Feeder.

El tamaño máximo de piedra que ingresa a la trituradora de cono de la cantera San Luis es el de tamaño máximo que libera la trituradora primaria (Mandíbula), de 12cm aproximadamente.

En combinación, estas 2 trituradoras que se usan en la cantera San Luis tienen una producción de 259.66Ton/hora.

Se presenta un grafico ilustrativo de la reducción de agregados dependiendo de la fase de trituración.

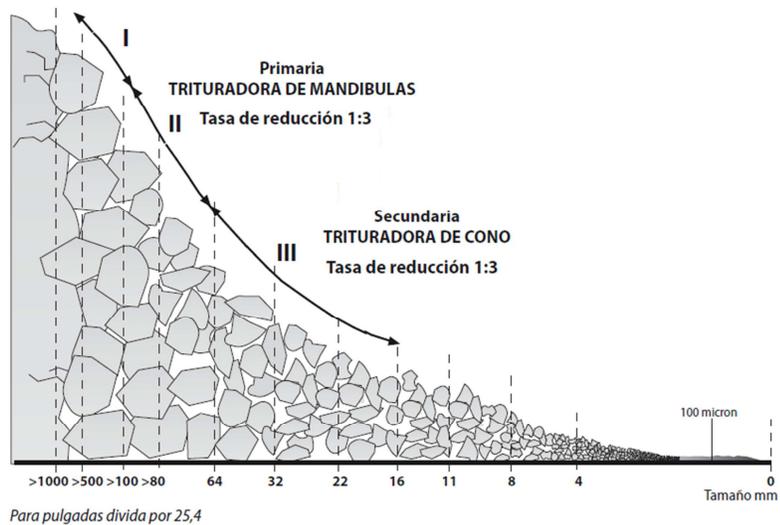


Figura 4-4 Reducción de agregados según su fase

Finalmente se puede resumir el proceso de trituración en 3 fases; La fase 1 consiste en la etapa de voladura, en la cual se extraen agregados del macizo rocoso con el dinamitado de tal manera que puedan ingresar a la trituradora de mandíbula. La fase 2 consiste en la trituración primaria, encargada de reducir los agregados mediante la trituradora de mandíbula. La tercera fase y última es la trituración secundaria, en la cual interviene una trituradora de cono.

4.3 Proceso de Tamizado

El Proceso de Tamizado o Cribado se basa fundamentalmente en que las partículas deben ser de menor tamaño que la abertura de la criba haciendo que pasen por esta y a su vez las partículas de mayor tamaño sean retenidas. Es necesario que los materiales se manejen con cuidado para evitar segregación.

4.3.1 Clasificación del Material Triturado

Luego que el agregado es liberado de la trituradora de cono, este material se aloja sobre una banda de 30" de ancho que posteriormente llegara a una zaranda vibratoria la cual se encarga de filtrar los agregados después de triturar los materiales.

Las zarandas vibratorias siempre tienen cierto grado de inclinación y poseen mallas de cribado para filtrar agregados. Las mallas son de acero, fácilmente intercambiables, con orificios adecuados para el filtrado del material que se desee filtrar en los tamices.

Las zarandas vibratorias presentan características de bajo costo en mantenimiento y bajo consumo de energía para elevada producción.

La zaranda de la cantera San Luis consta de tres tamices ($1\frac{1}{4}$ " , $3/8$ " y $4\times 4\text{mm}$) que ubicados uno bajo otro que permiten separar la piedra por tamaños.



Figura 4-5.- Zaranda Vibratoria de la cantera San Luis

La piedra que se obtiene como retenido de la primera malla ($1\frac{1}{4}$ ") retorna nuevamente a la trituradora secundaria por medio de una banda transportadora formando un circuito cerrado con el objeto de disminuir el tamaño de las piedras

que no pueden ser tamizadas. El pasante de la malla ($1\frac{1}{4}$ ") y retenido de la segunda malla ($3/8$ ") se lo conoce como piedra #57, la cual es transportada por medio de una banda a su pila de almacenamiento. El pasante de este segundo piso y retenido de la malla 4x4mm es transportado por medio de una banda plana de 24" a la pila de almacenamiento, este material procesado se lo conoce con el nombre comercial de piedra Chispa. Finalmente el material pasante de este tercer piso es transportado en una banda para luego será depositado en la pila final se conoce con el nombre de Cisco o piedra #10.

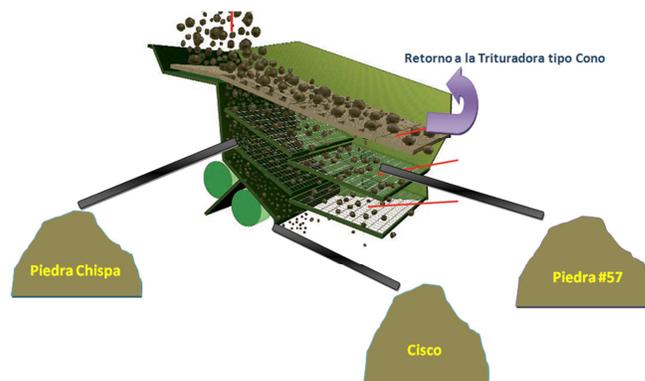


Figura 4-6.- Proceso de Tamizado

4.3.2 Clasificación de agregados por tamaño y lugar de acopio

A continuación los 3 tipos de clasificación:

- Piedra #57.
- Piedra #8 o 3/8", también conocida como "Piedra Chispa".
- Piedra #10, también conocida como "Cisco".



Figura 4-7.- Almacenamiento de la Piedra #57



Figura 4-8.- Almacenamiento de la piedra #8 y piedra #10

Luego de todo este proceso se mezcla el material entre agregados de determinados tamaños mediante cargadora frontal dependiendo del producto que se quiera obtener.



Figura 4-9.- Proceso de mezclado de agregados

4.4 Diagrama de proceso de Trituración y Tamizado en la cantera San Luis

A continuación un resumen de lo explicado en este capítulo mediante dos esquemas gráficos.

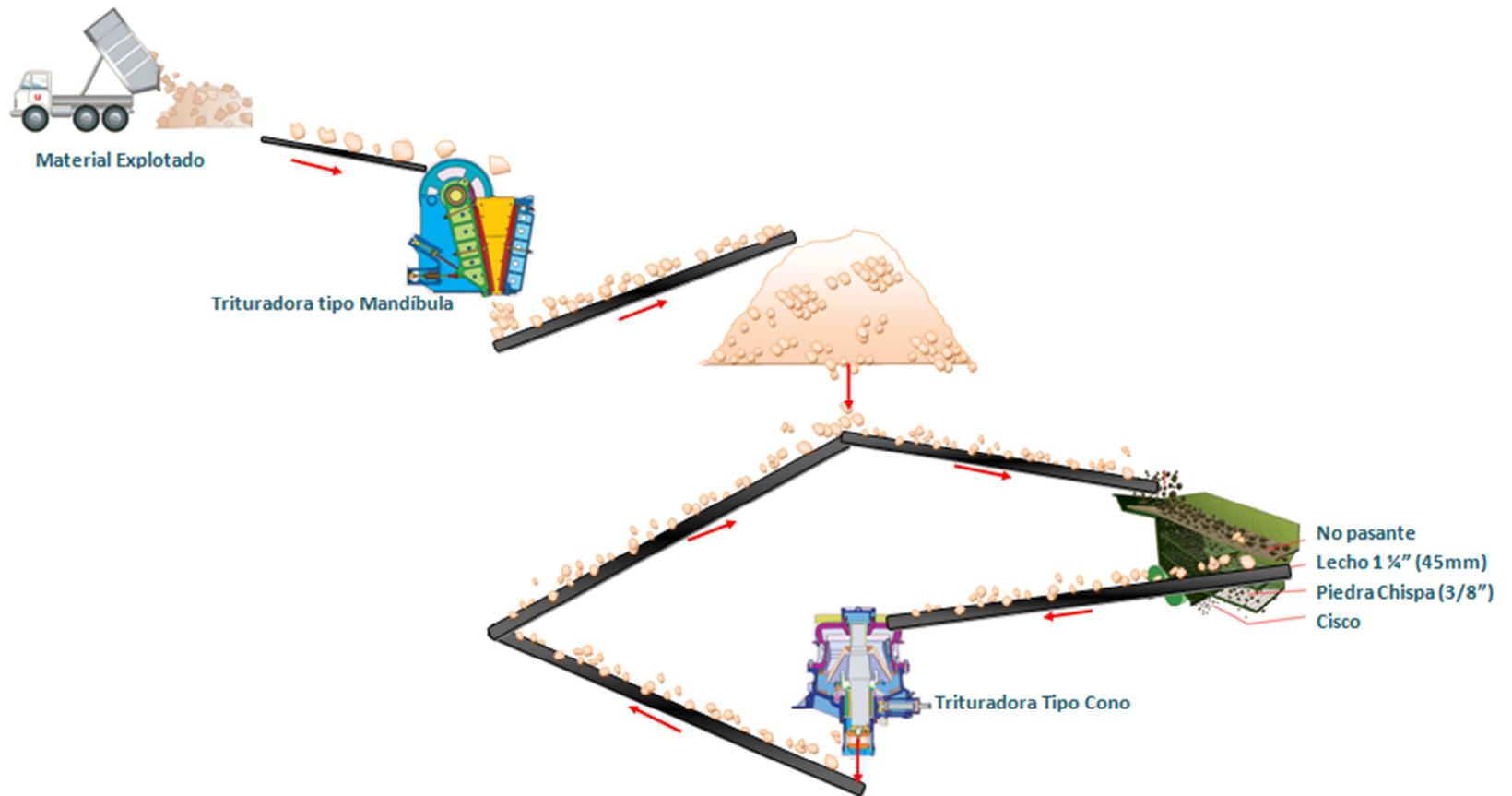


Figura 4-10.- Esquema de proceso de trituración de agregados de la Cantera San Luis

CAPÍTULO 5

5 ENSAYOS PARA ESTABLECER LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

En el presente capítulo se desarrollan y detallan los ensayos realizados sobre los agregados de la cantera San Luis, así como los resultados obtenidos de dichos ensayos.

Se consideraron y analizaron propiedades físicas y de resistencia, para el análisis estas propiedades los ensayos fueron realizados en el laboratorio de suelos de la FICT de la ESPOL.

A continuación se presenta una tabla con los materiales y los respectivos ensayos que se les realizó:

Ensayos	Materiales Triturados			Mezclas		Cascajo
	Piedra #57	Piedra #8	Piedra #10	Base	Sub-base	Mediano
Granulometría	√	√	√	√	√	√
Densidad y Absorción	√	√	√	---	---	---
Relación de Vacíos	√	√	√	---	---	---
Peso Unitario	√	√	√	---	---	---
Límites de Atterberg	---	---	---	√	√	√
Proctor	---	---	---	√	√	√
CBR	---	---	---	√	√	√
Abrasión de los Ángeles	√	√	√	√	√	---

Tabla 5-1.- Ensayos realizados a los agregados de la cantera San Luis

√ = Ensayo Realizado

--- = Ensayo no Realizado

Adicional a los ensayos que se les realizó a los productos triturados y mezclados de la cantera San Luis se realizó el ensayo de compresión simple a una muestra de macizo rocoso de la cantera. Los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio se presentan en el Anexo A.

5.1 Propiedades Físicas

5.1.1 Granulometría

Los agregados son un conjunto de partículas pétreas de diferentes tamaños, por lo tanto es importante conocer la distribución de tamaños de las partículas (granulometría) que componen a los agregados ya que esta propiedad de conjunto influye de forma decisiva en la resistencia mecánica de estos.

El ensayo granulométrico consiste en el empleo de una serie normalizada de tamices⁹ ordenados de mayor luz¹⁰ a menor, luego los resultados obtenidos son representados gráficamente (% de agregado que pasa vs el diámetro de abertura del tamiz), en esta gráfica es conocida como curva granulométrica.

Existen dos tipos de curvas granulométricas que se puede distinguir dependiendo de la variedad de tamaños que posea el agregado.

⁹ El tamiz es una malla metálica constituida por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar el material triturado.

¹⁰ Luz de malla es la separación libre entre los alambres de la malla.

- a) Granulometría Continua: Cuando en los diferentes tamices se retiene en cada uno de ellos un porcentaje de agregados, lo cual implica que existe una variación escalonada de tamaños de granos, haciendo que la curva adopte una disposición suave y continua.
- b) Granulometría Discontinua: Cuando en tamices sucesivos no retienen material, la gráfica granulométrica muestra picos y tramos planos, lo cual indica que la variación de tamaños es escasa.

Cuando se analiza la aplicación de los áridos se fijan límites inferiores y superiores que dan un entorno indicando que los tamaños que están comprendidos dentro del él son útiles para dicha aplicación, estos límites son conocidos como “Husos Granulométricos”.

En los ensayos realizados a los agregados de la cantera San Luis se evaluó la curva granulométrica con la norma ASTM C-33 a los materiales triturados y a las mezclas la norma MTOP 404-01 para la base y MTOP 403-01 para la sub-base, en el caso del cascajo debido a que no existe norma para regularizar el tamaño del cascajo en rellenos solo se realizó

el análisis granulométrico. A continuación se presentan las graficas de las granulometrías obtenidas:

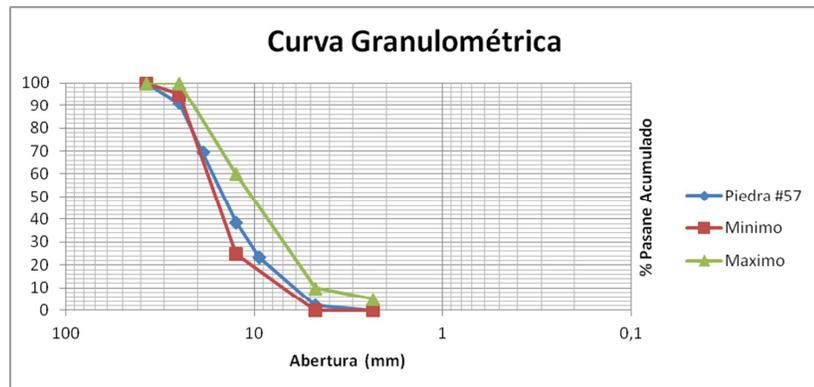


Figura 5-1.- Curva granulométrica Piedra #57

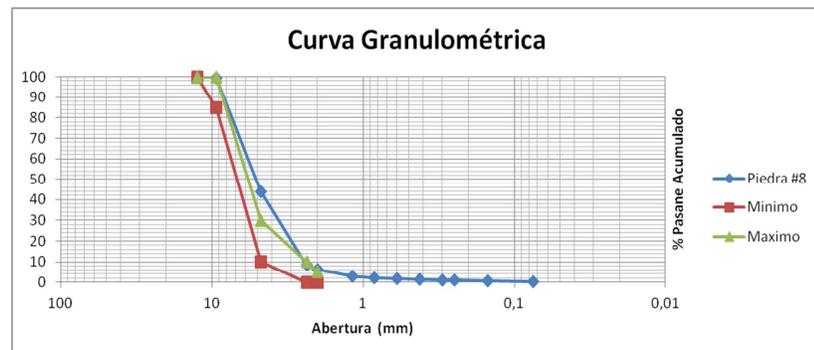


Figura 5-2.- Curva granulométrica Piedra #8

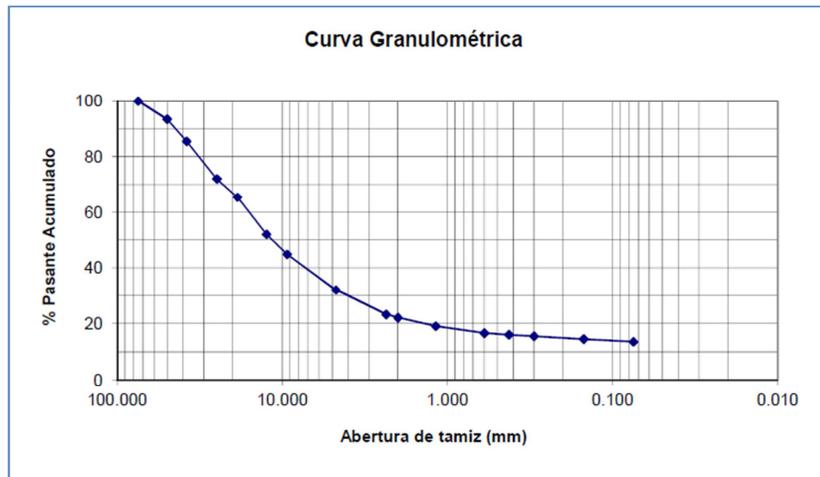


Figura 5-6.- Curva granulométrica Cascajo

5.1.2 Densidad y Absorción

La densidad y la absorción son propiedades principales a analizar ya que con ellas se puede ver que partículas de los agregados son saturables como no y esto depende de la permeabilidad que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, generando así una serie de estados de humedad y densidad. Entonces se podría identificar así, que una baja densidad indica también que el material es poroso, débil y de alta absorción.

Los agregados triturados de la cantera San Luis principalmente son empleados para la realización de concretos, por lo cual en este ensayo nos interesará la

densidad aparente de los agregados (Saturada con Superficie Seca), con esta propiedad se puede determinar la cantidad de agregados requeridos para un volumen unitario de concreto, consiguiendo con estos ensayos, concretos de bajo o alto peso unitario.

La densidad aparente.- es la característica usada generalmente para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diferentes tipos de mezclas, incluyendo el concreto de cemento Portland, el concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre la base de un volumen absoluto. La densidad aparente se usa si el agregado está húmedo, es decir, si se ha satisfecho su absorción. Inversamente, la densidad nominal (seco al horno) se usa para cálculos cuando el agregado está seco o se asume que está seco. La densidad nominal concierne a la densidad relativa del material sólido sin incluir los poros saturables de las partículas constituyentes.

La absorción.- en los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

El agregado se considera como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

La capacidad de absorción básicamente consiste en sumergir la muestra durante 24 horas luego se saca y se lleva a la condición de densidad aparente; obtenida esta condición, se pesa e inmediatamente se seca en un horno y la diferencia de pesos, expresado como un porcentaje de peso de la muestra seca, es la capacidad de absorción.

Existen procedimientos diferentes para realizar el análisis de densidad aparente, esto depende del agregado, si es fino o si es grueso:

a) Agregado Grueso (norma ASTM C127): Se escogió una muestra representativa del agregado, la cual se redujo desechando el material que pasara por el tamiz # 4, luego se procedió a lavarla y sumergirla en el balde durante 24 horas.

Al día siguiente, se tomó la muestra secándola parcialmente con una toalla hasta eliminar películas

visibles de agua en la superficie. Se tuvo en cuenta que las partículas más grandes se secaron por separado.

Con la balanza debidamente calibrada se pesa la muestra para averiguar su masa en esta condición. Luego se introdujo en la canastilla y se sumergió, y se cuantifico la masa sumergida en agua a una temperatura ambiente. Luego fue llevada al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas, al día siguiente se cuantifico su peso y se tomaron apuntes.

Para el cálculo, tanto las densidades como la absorción para el agregado grueso se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Densidad Aparente: } D_{\text{SSS}} = B / [B - C]$$

$$\text{Absorción: \%} = ([B - A]/A) * 100$$

Dónde:

- **A:** es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).

- **B:** es la masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (g).
- **C:** es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (g).
- **D_{SSS}:** densidad g/cm³

b) Agregado Fino (norma ASTM C128): Se tomó una muestra representativa de agregado fino la cual se sumergió durante 24 horas. Al día siguiente se expandió la muestra sobre la superficie de una bandeja la cual no es absorbente. Con el secador se le inyectó una corriente de aire hasta conseguir un secado uniforme, la operación es terminada cuando los granos del agregado están sueltos. Luego se introdujo la muestra en un molde cónico, se apisonó unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1cm, posteriormente se niveló y si al quitar el molde la muestra se dejó caer es porque no existe humedad libre, si hubiese sido lo contrario se hubiese seguido secando y se repitiendo el proceso hasta que cumpla con la condición. Cuando se cae el agregado al quitar el molde cónico es porque se ha alcanzado una condición saturada con superficie seca.

Se procedió a tomar una muestra de 500gr del agregado para envasarla en el matraz llenándolo con agua a 20°C hasta más o menos 250cm³, luego se hizo girar el matraz para eliminar todas las burbujas de aire posibles. Se procedió a cuantificar el peso del matraz en la balanza anotando su respectivo valor.

Al término de este paso, se embaza la muestra en tazas para ser dejadas en el horno por espacio de 24 horas. Y por último, al día siguiente se llevaron las muestras a la balanza y se cuantifico su valor. Se tomaron apuntes.

Para el agregado fino la densidad se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Densidad Aparente: } D_{\text{sss}} = S / [B + S - C]$$

$$\text{Absorción: (\%)} = ([B - A] / A) * 100$$

Donde:

- **A:** es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).
- **B:** es la masa del matraz lleno con agua.

- **S:** es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca (g).
- **C:** es la masa del matraz con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g), y
- **D_{SSS}:** densidad g/cm³

Nota: Para que la densidad se exprese en unidades de g/cm³, se multiplica su valor por 1g/cm³ que es la densidad del agua a 20°C. En el ensayo no se indica pero se asume esta operación.

Resultados	Materiales Triturados		
	Piedra #8	Piedra #10	Piedra #57
Densidad (g/cm ³)	2.45	2.42	2.50
Absorción (%)	5.05	4.60	3.61

Tabla 5-2.- Resultados: Densidad y Absorción

5.1.3 Relación de Vacíos

La figura 5-1 es un esquema de una muestra de suelo en un recipiente sellado, con el aspecto que presentaría si fuera posible separa las fases sólida, líquida y gaseosa.

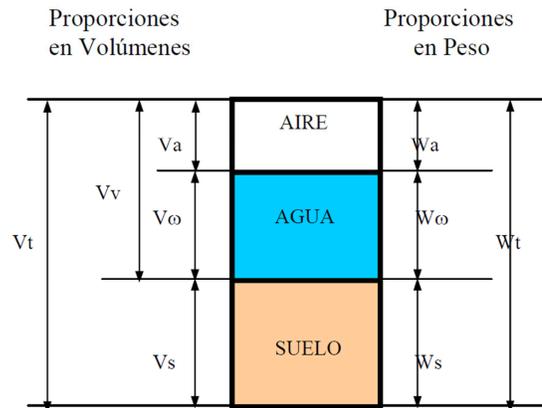


Figura 5-7.- Esquema muestra de suelo separada en sus tres fases

El volumen de sólidos se designa por el símbolo V_s , el volumen de agua por V_w , y el volumen de gas por V_g . Como la relación entre V_g y V_w cambia usualmente con las condiciones del agua en el subsuelo, así como bajo el efecto de las cargas aplicadas, es conveniente designar todo el volumen que no está ocupado por material sólido como volumen de vacíos, V_v .

Cuando un suelo se comprime, cambian los valores de la ecuación anterior tanto del numerador como del denominador, por lo que es conveniente en muchos de los cálculos que es necesario efectuar para determinar los asentamientos, referir el espacio vacío a un denominador

invariable. Por esta razón se usa la cantidad conocida como relación de vacíos. Se define como:

Relación de vacíos: $e = V_v / V_s$

Materiales Triturados		
Piedra #8	Piedra #10	Piedra #57
0.49	0.37	0.46

Tabla 5-3.- Resultados: Relación de Vacíos

5.1.4 Peso Unitario

Es el resultado de dividir el peso de las partículas (w_s) entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. El procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C-29. Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa.

La ecuación para hallar esta propiedad está dada de la siguiente forma:

Peso Unitario, $\gamma = W_s/V$

Peso Unitario (Kg/m ³)	Materiales Triturados		
	Piedra #8	Piedra #10	Piedra #57
Varillado	1255.56	1535.28	1339.15
Sin Varillar	1110.87	1352.01	1202.50

Tabla 5-4.- Resultados: Peso Unitario

5.2 Propiedades de Resistencia

5.2.1 Límites de Atterberg

Los contenidos de humedad del suelo en los puntos de transición de un estado a otro son denominados “Límites de Atterberg”, estos límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad (Líquido, plástico, semi-plástico y sólido).

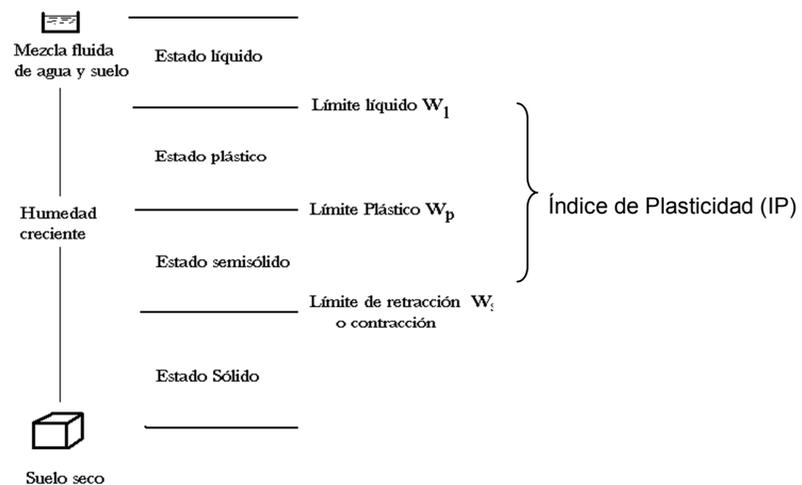


Figura 5-8.- Diferentes estados del suelo

Índice Plástico: $IP = \omega_L - \omega_P$

El índice plástico indica la capacidad que poseen los suelos para ser moldeados mediante la aplicación de fuerzas externas y mantener la forma adquirida aun cuando las fuerzas externas han desaparecido.

Los suelos que poseen un gran porcentaje de humedad adquieren fluidez pierden su capacidad para moldearse. En el otro caso extremo, es decir cuando el porcentaje de humedad es muy baja el suelo tiende a ser quebradizo y no se puede moldear.

Para conocer la plasticidad existente en los agregados se toman los finos que pasan el tamiz N°40 y se les realiza el ensayo conocido como “Límites de Atteberg” o “Límites de consistencia”, del cual se determinan el límite líquido y el límite plástico.

Determinación del Límite Líquido: Para conocer el contenido de humedad se tomó una muestra de 100gr del pasante de la malla N° 40, se le colocó diferentes cantidades de agua la muestra y luego fue colocada en la copa de Casagrande y con un ranurador se separó la muestra en la mitad, dejando

caer a una altura de 1cm y se contaron el número de golpes que fue necesario para que se una nuevamente la muestra, luego se tomó una muestra del punto donde se unió, se pesó y se secó en un horno a 110°C de temperatura.

Determinación del Límite Plástico: En el caso del límite plástico se tomó una muestra del pasante de la malla N° 40 y realizaron cilindros hasta que la muestra se rompa o resquebraje con un diámetro aproximado de 3mm y luego fueron metidas al horno a una temperatura de 110°C.

Generalmente se puede observar que las arenas y los limos tienen una plasticidad baja o muy baja, mientras que suelos con alto contenido de arcillas tienen una plasticidad mayor. Pudiéndose afirmar que terrenos con un contenido de arcilla inferior al 15% no son plásticos¹¹.

A continuación se presentan los IP obtenidos del ensayo:

Resultados	Mezclas		Cascajo
	Base	Sub-base	Mediano
W_L (%)	23.00	24.00	31.50
W_P (%)	19.88	20.51	21.92

¹¹ C. Constantinidis. 1970. Pag 186-187

Resultados	Mezclas		Cascajo
	Base	Sub-base	Mediano
IP	3.12	3.49	9.58

Tabla 5-5.- Resultados: Índice Plástico

5.2.2 Proctor

El ensayo Proctor sirve para determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad.

Se llama compactación al proceso de aumento rápido del peso volumétrico de un suelo, mediante la aplicación de cargas transitorias de corta duración, reduciendo el contenido de vacíos de aire del suelo (Figura 5-3). La compactación permite aumentar la resistencia y reducir la deformabilidad, la permeabilidad y la susceptibilidad a la erosión de los suelos por el efecto del agua. Para una energía de compactación dada, el máximo peso volumétrico seco del suelo compactado se obtiene para cierto contenido de agua, llamado contenido de agua óptimo. Cuando un material es compactado, existe un reacomodo en las partículas del suelo, el cual depende de la fricción entre las mismas, de la humedad que contenga el material y del dispositivo que se utilice para efectuar la reducción del volumen, y el agua

actúa como lubricante entre los granos que permite el reacomodo de los mismos con mayor facilidad; sin embargo, este comportamiento tiene un límite, en el cual al aumentar el contenido de agua se dificulta la compactación por exceso de la misma. Cuando un material está completamente seco existe una mayor resistencia al reacomodo de las partículas y cuando el suelo está totalmente saturado, el agua ocupa espacios que pueden ser ocupados por partículas, lo que impide que se pueda desarrollar la reducción de volumen satisfactoriamente; esto último se cumple sólo para suelos finos.

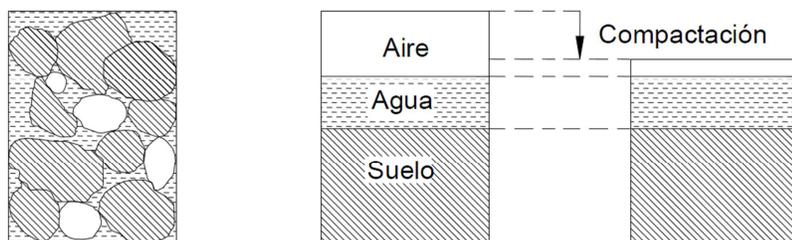


Figura 5-9.- Principio de compactación de suelos

Por lo tanto, se puede definir una humedad óptima, que es el pico en el cual los valores de peso unitario y por ende la compactación son mayores, por lo cual al compactar con dicho contenido de agua se obtienen mejores resultados con la misma energía de compactación.

Existen dos tipos de ensayo de compactación del Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Standard", y el "Ensayo Proctor Modificado", la diferencia entre ambos radica en la distinta energía utilizada, el que mayor peso del pisón y mayor altura de caída emplea es el Proctor modificado. En el standard se hace caer un peso de 2.5kg de una altura de 30cm, compactando la tierra en 3 capas con 25 golpes y, en el Modificado, un peso de 5kg de una altura de 45cm, compactando la tierra en 5 capas con 56 golpes. Esta diferencia se debe a la existencia de modernos equipos de compactación más pesados que permiten densidades más altas en campo.

Ambos ensayos se deben al ingeniero que les da nombre, Ralph R. Proctor (1933), y determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos o agregados, en unas determinadas condiciones de humedad, con la condición de que no tengan excesivo porcentaje de finos, pues la prueba Proctor está limitada a los suelos que pasen totalmente por la malla No 4, o que tengan un retenido máximo del 10% en esta malla, pero que pase (dicho retenido) totalmente por la malla 3/8". Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8"

deberá determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo con la prueba de Proctor standard.

Las principales normativas que definen estos ensayos son las normas americanas ASTM D-698 para el ensayo Proctor standard y la ASTM D-1557 para el ensayo Proctor modificado.

En la prueba Proctor modificada, el procedimiento experimental es el mismo que en la prueba Proctor standard. Sin embargo, la energía de compactación es distinta, ya que la altura y el peso del pisón varían.

Como en el siguiente análisis son para los materiales que sirve para relleno, base y sub-base se les realizará el ensayo de Proctor modificado.

Las especificaciones de la prueba del Proctor modificado son las siguientes:

NORMAS : ASTM D-678 Y AASHTO T-180							
W = 4,536 kg				h = 45,72 cm			
TIPO	MOLDE diámetro		Material menor que el tamiz	N	n	V	E
	cm	pulg		golpe	capas	cm ³	
A	10,16	4	No. 4	25	5	944	27,4
B	15,24	6	No. 4	56	5	2134	
C	10,16	4	3/4 pulg.	25	5	944	
D	15,24	6	3/4 pulg.	56	5	2134	

Tabla 5-6.- Especificaciones Proctor Modificado

El procedimiento que se realizó fue el siguiente: Con el molde ajustado a su base y provisto de su extensión, se le colocó en el la cantidad requerida de suelo para una capa en estado suelto. El total de capas a compactar dentro del molde será 5, luego del ajuste del pisón metálico, repartir uniformemente en toda la superficie de la capa las aplicaciones, venciendo en cada una la resistencia del resorte sobre el embolo, hasta completar las 56 estipuladas para este ensayo. Se le agregó la cantidad de suelo necesaria para la siguiente capa y repetimos la operación mencionada en 2 hasta completar el número indicado de capas, cuidando que la ultima sobresalga del molde 1cm como máximo, entrando en la extensión metálica del mismo, luego retiramos se enrasó el borde superior cuidadosamente usando una regla metálica, se pesó el molde que contiene el suelo compactado, se sacó la muestra del molde y se lo llevó al horno a una temperatura de 105 – 110 °C, con el objeto de determinar su contenido de agua y se realizó esta operación con otra muestra de suelo con diferente tenor de humedad (creciente) siguiendo los pasos anteriores, hasta que el peso húmedo de la muestra vaya decreciendo, lo que indica que se ha sobrepasado el contenido de agua optimo.

A continuación se presentan los resultados de humedad óptima de compactación y con el respectivo peso unitario obtenidos del ensayo:

Resultados	Mezclas		Cascajo
	Base	Sub-base	Medio
Densidad Máxima (Kg/cm ³)	1840.00	1815.00	1585.00
Humedad Óptima (%)	7.60	8.29	13.20

Tabla 5-7.- Resultados: Proctor

5.2.3 C.B.R.

El ensayo C.B.R. (California Bering Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) suele emplearse en carreteras y aeropuertos para la caracterización mecánica del suelo, es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como sub-rasante, sub-base y base la construcción de carreteras. Este ensayo mide la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y se efectúa bajo condiciones de humedad y densidad dada con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

El método CBR comprende los 3 ensayos siguientes:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

La norma que rige el ensayo de CBR es la ASTM D 1883-05

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kg/cm² (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado, en ecuación, esto se expresa:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100$$

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son:

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN		
mm	Pulgada	Mpa	Kg. /cm2	psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN		
mm	Pulgada	Mpa	Kg. /cm ²	psi
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

Tabla 5-8.- Valores de Carga Unitaria

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08mm (0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico determinado utilizando el ensayo de compactación estándar. A continuación, utilizando los métodos 2 o 4 de las normas ASTM D698-70 ó D1557-70 (para el molde de 15.5cm de diámetro), se debe compactar muestras utilizando las siguientes energías de compactación:

	MÉTODO	GOLPES	CAPAS	PESO DEL MARTILLO
D698	2 (suelos de grano fino)	56	3	24,5
	4 (suelos gruesos)	56	3	24,5

MÉTODO		GOLPES	CAPAS	PESO DEL MARTILLO
D1557	2 (suelos de grano fino)	56	5	44,5
	4 (suelos gruesos)	56	5	44,5

Tabla 5-9.- Energías de Compactación

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y sub-rasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla da una clasificación típica:

CBR	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			UNIFICADO	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A5,A6,A7
3 - 7	Pobre a regular	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	Base, sub-base	GM,GC,W,SM	A1b,A2-5,A3
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4,A3

Tabla 5-10.- Clasificación de suelos para Infraestructura de Pavimentos

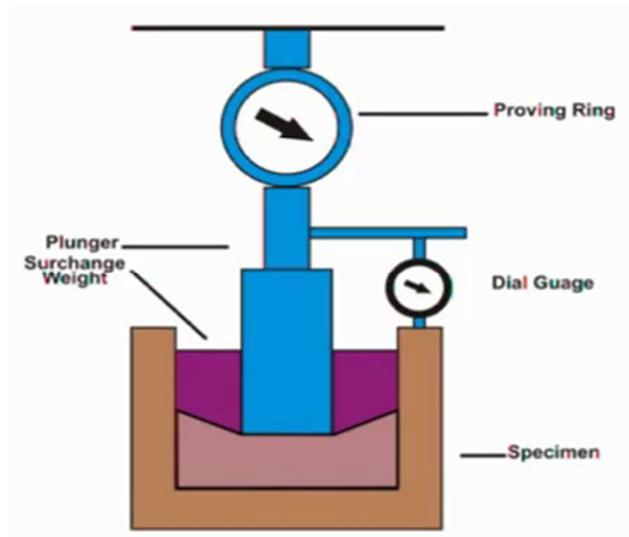


Figura 5-10.- Penetración de la muestra de suelo compactado

Tal como se muestra en la figura anterior el pisto penetra progresivamente en la muestra de suelo compactado y se va haciendo un registro de la deformación de penetración y de la carga con este registro se realiza un gráfico de penetración vs carga, el valor de CBR, según la norma que rige el ensayo los niveles de preestablecidos de penetración son 0,1 y 0,2 centésimos de pulgada, tomándose como CBR el que resulte menor de estos valores, antes de realizar el ensayo se debe conocer las condiciones de hidratación, como el número de sobrecargas a colocar en el espécimen, ambos factores afectan tremendamente el valor de CBR, en el ensayo de

CBR las sobrecargas circulares tratan de simular los espesores de pavimento, mientras mayor sea la carga mayor será el valor de CBR, aunque la norma no establece valor para la sobrecarga se puede escoger como guía los siguientes valores

Capa	Sobrecargas	Kg(lb)
Base	1	4.5 (10)
Sub-Base	2	9.0 (20)
Sub-Rasante	3	13.5 (30)

Tabla 5-11.- Resultados: C.B.R.

Cuando se realiza este ensayo para suelos no cohesivos como la grava, con contenido de agua constante se obtiene una curva de CBR vs densidad el CBR de diseño se estable como el 95% de la densidad máxima seca del ensayo proctor.

Mezclas		Cascajo
Base	Sub-base	Medio
88	65	52

Tabla 5-12.- Resultados: C.B.R. (%)

5.2.4 Abrasión de los Ángeles

El objetivo de esta prueba es medir la degradación del agregado mineral cuando se somete a una serie de combinaciones de acciones como abrasión o trituración, impactos y desintegración, en un cilindro giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero. La prueba consiste en colocar una muestra del material con características granulométricas específicas dentro del cilindro giratorio donde es sometida al impacto de esferas metálicas durante un tiempo determinado (30 a 33 revoluciones).

La carga abrasiva consiste de esferas de acero de un diámetro promedio de $46.8 \text{ mm} \pm 4\text{mm}$ y una masa entre 390 g y 445g. De acuerdo a la graduación que presente el espécimen de prueba, se muestran las Tabla 5-14 y la Tabla 5-15, respectivamente, para la elección de su composición, así como el número de esferas a utilizar, para tamaños de granos menores de 37.5 mm ($1 \frac{1}{2}$ ") y mayores de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ").

Tipo de composición de la muestra de prueba	Rango de tamaño		Masa de la fracción (g)	Carga abrasiva	
	(mm)	Designación		Número de esferas	Masa total (g)
A	37.5 - 25	1½" - 1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25
	25 - 19	1" - ¾"	1250 ± 25		
	19 - 12.5	¾" - ½"	1250 ± 10		
	12.5 - 9.5	½" - 3/8"	1250 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ± 10		
B	19 - 12.5	¾" - ½"	2500 ± 10	11	4584 ± 25
	12.5 - 9.5	½" - 3/8"	2500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ± 10		
C	9.5 - 6.3	3/8" - ¼"	2500 ± 10	8	3330 ± 20
	6.3 - 4.75	¼" - No 4.	2500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ± 10		
D	4.75 - 2	No. 4 - No. 10	5000 ± 10	6	2500 ± 15

Tabla 5-13.- Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas (para granos de tamaño pequeño)

Tipo de composición de la muestra de prueba	Rango de tamaño		Masa de la fracción (g)	Carga abrasiva	
	(mm)	Designación		Número de esferas	Masa total (g)
A	37.5 - 25	1½" - 1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25
	25 - 19	1" - ¾"	1250 ± 25		
	19 - 12.5	¾" - ½"	1250 ± 10		
	12.5 - 9.5	½" - 3/8"	1250 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ± 10		
B	19 - 12.5	¾" - ½"	2500 ± 10	11	4584 ± 25
	12.5 - 9.5	½" - 3/8"	2500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ± 10		
C	9.5 - 6.3	3/8" - ¼"	2500 ± 10	8	3330 ± 20
	6.3 - 4.75	¼" - No 4.	2500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ± 10		
D	4.75 - 2	No. 4 - No. 10	5000 ± 10	6	2500 ± 15

Tabla 5-14.- Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas (para granos de gran tamaño)

La muestra seleccionada se lava y posteriormente se seca en el horno a una temperatura 110°C ± 5°C hasta alcanzar una masa constante, considerando el arreglo de tamices indicado, el material de la muestra se separa y clasifica obteniendo así su granulometría, se elige la composición que

se utilizará para integrar la muestra de prueba. Se procede a integrar la muestra con las porciones correspondientes a cada rango de tamaño. Se obtiene la masa de la muestra de prueba integrada, registrándola como Pi con aproximación de 1g y se introduce al equipo de ensaye.

Materiales Triturados			Mezclas	
Piedra #8	Piedra #10	Piedra #57	Base	Sub-base
23.11	21.12	21.85	20.02	20.48

Tabla 5-15.- Resultados: Abrasión de los Andeles (% de desgaste)

5.3 Resistencia de la Roca Madre

El ensayo de compresión no confinada, también conocido con el nombre de ensayo de compresión simple o ensayo de compresión uniáxica, es muy importante ya que permite obtener un valor de carga última del suelo.

La resistencia de una muestra de roca intacta depende de la resistencia de los minerales que la componen y de la manera en que ellos están unidos ya sea por cristalización o cementación.

El ensayo se realiza con probetas cilíndricas de rocas, con una relación diámetro – altura que cumpla con: $2d \leq h \leq 3d$.

El ensayo se lo realizó sujetando el espécimen a una carga axial que se incrementa en forma controlada hasta llevarlo a la falla, obteniéndose como lectura el desplazamiento sufrido por el espécimen después de cada incremento y la carga aplicada.

Con los datos obtenidos se dibuja la curva esfuerzo-deformación unitaria. El valor máximo del esfuerzo vertical se define como la resistencia a la compresión simple (q_u).

El resultado obtenido en el ensayo de resistencia a la compresión fue de 58,77Mpa.

CAPÍTULO 6

6 PRINCIPALES USOS DE LOS MATERIALES DE LA CANTERA

Los agregados son un componente de los materiales como el hormigón y asfalto, el conjunto sirve como refuerzo para añadir fuerza a los materiales compuestos en general.

Los agregados se utilizan también como material base debajo de los cimientos, las carreteras y ferrocarriles. Para decirlo de otro modo, los agregados se utilizan como una base estable, o por carretera / ferrocarril base uniforme con propiedades predecibles (por ejemplo, para ayudar a prevenir la solución de diferencias en virtud de la carretera o la

construcción), o como un extensor de bajo costo que se une con el cemento más caro o el asfalto a una forma concreta.



Figura 6-1.- Ilustración de tamaño de agregados

En el caso de la cantera San Luis, el uso de los agregados aplica solo para lo siguiente:

- Hormigones y morteros
- Aglomerados asfálticos
- Carreteras (Bases y Sub-bases)
- Rellenos de nivelación y estabilización
- Escollera

6.1 Construcción

6.1.1 Hormigón

La cantera San Luis produce agregados gruesos y agregados finos para hormigones convencionales. Dentro de los triturados gruesos se comercializa la piedra #57 y dentro de los triturados finos el Cisco (arena gruesa).

Para hormigones donde se requieren espesores pequeños, se necesitan agregados de menores tamaños, se comercializa la piedra chispa o #8. Este agregado para hormigones que serán parte de: Postes de alumbrado, tuberías sanitarias, productos ornamentales, bloques, mampostería, etc.

Los agregados de peso normal deben atender a los requisitos de la ASTM C 33 o AASHTO M 6/M80, COVENIN 277, IRAM 1512, IRAM 1531, IRAM 1627, NCh163, NMX-C-111, NTC 174, NTP400.037, UNIT 84 y UNIT 102. Sin embargo, el hecho de que cumpla con las normas antes mencionadas necesariamente no garantiza que el concreto estará libre de defectos.

El concreto hidráulico u hormigón, es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena, grava y en algunos casos se emplea aditivos. Es actualmente el material más empleado en la industria de la construcción por su duración, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción y economía.



Figura 6-2.- Mezcla de las componentes del hormigón, entre ellos los agregados.

El concreto es una roca fabricada por el hombre, diseñada y producida de acuerdo a normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado y con las características de economía, facilidad de colocación,

velocidad de fraguado y apariencia adecuada según su aplicación.

Los áridos tienen las siguientes funciones como parte del hormigón:

- Resistir esfuerzos internos y externos
- Resistir al paso de humedad
- Resistir sollicitaciones químicas
- Proveer relleno de bajo costo a la pasta de cemento
- Disminuir y evitar efectos de cambios de volumen que sufre la pasta de cemento

Para la elección de los áridos que formaran parte del hormigón se debe de asegurar lo siguiente:

- Resistencias mecánicas. Deberán tener una resistencia adecuada a la que va exigirse al hormigón (son el 80%).
- Durabilidad. Ser estables y no ser alterados por el ambiente.
- Buena adherencia a la pasta del cemento.
- Facilidad de puesta en obra del hormigón.
- Que no sea necesario el empleo de una cantidad excesiva de agua para una adecuada consistencia.

- Que al ser colocado en obra no se produzca segregación.
- Máxima compacidad por lo que los áridos deben tener toda la gama de tamaños.
- Disminución de retracciones se consigue con el aporte de áridos y sobre todo con arena.
- Disminución del precio por tratarse de productos baratos.

El concreto presenta como las piedras naturales una alta resistencia a la compresión, pero una baja resistencia a la tracción (generalmente es el 10% de su resistencia a los esfuerzos de compresión) por lo cual se refuerza con varillas de acero, para que sean éstas las que soporten tales esfuerzos (Concreto armado).

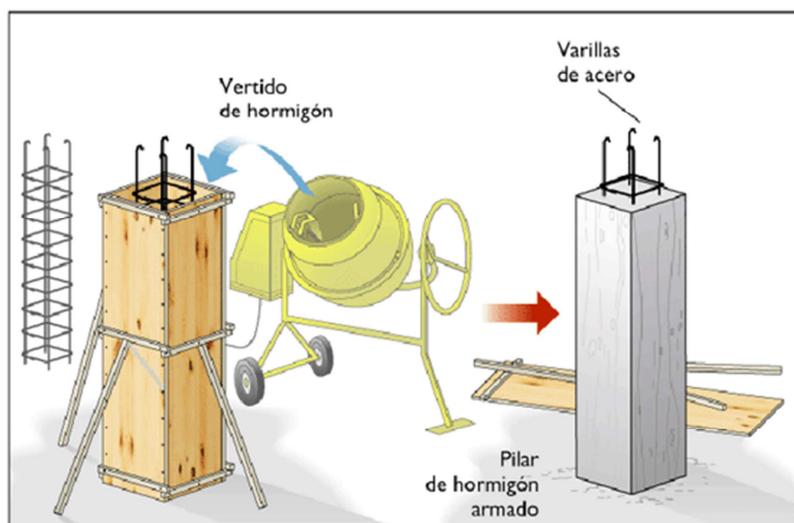


Figura 6-3.- Hormigón Armado como elemento estructural en construcciones

Los áridos pueden ser rodados o machacados. Los primeros proporcionan hormigones más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los segundos. Los machacados confieren al hormigón fresco una cierta acritud que dificulta su puesta en obra. En ambos efectos influye más la arena que la grava. En cambio, los áridos de machaqueo proporcionan una mayor trabazón que se refleja en una mayor resistencia del hormigón, especialmente a tracción y, en general, en una mayor resistencia química. Los agregados que produce la cantera San Luis son triturados, que permiten obtener hormigones de mayor resistencia.

Como los agregados constituyen aproximadamente el 60 a 80% del volumen total del concreto (70% a 85% en peso), su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben de contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

Dentro de la clasificación de los áridos para hormigones y morteros tenemos lo siguiente con respecto a su tamaño:

- Arena (0-5 mm)
- Grava (6-12 y 12-20 mm)

La función de los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable lo que se logra uniéndolos con cemento y agua. La función de la pasta cuando el concreto está fresco es la de lubricar a las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla.

6.2 Carreteras

Cuando hablamos de agregados producidos en la cantera San Luis, usados en carreteras, resulta estrictamente necesario citar al hormigón asfáltico y al hormigón hidráulico. También la cantera San Luis produce áridos que sirven de material estabilizante para la superficie de rodadura.

Los áridos en las carreteras se usan para:

- Material de relleno y plataforma
- Sub-base

- Base, de gravas: 14-16mm y arena: 0-4mm
- Capa de rodadura (Aglomerado Asfáltico): 40% arena/60% grava
- Capa de rodadura (Hormigón Hidráulico)

El siguiente grafico detalla donde están presentes los agregados en proyectos de carreteras.

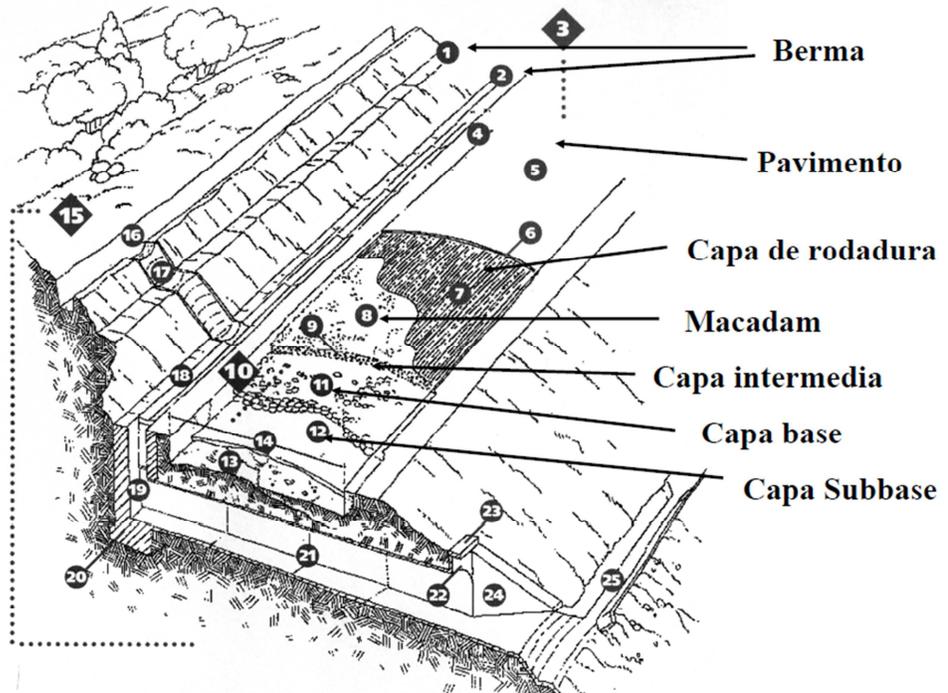


Figura 6-4.- Diferentes aplicaciones de agregados en una carretera

La cantera San Luis produce agregados para ser usados en todo lo antes mencionado.

6.2.1 Capa Base

La cantera San Luis vende Base Clase tipo 1 clase A según norma INEM 696-697 que tiene la siguiente granulometría: 1 ½", 1", ¾", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°200; según las especificaciones del MOP 403-1.1

Situada inmediatamente por debajo de la capa asfáltica. Puede no ser necesaria si el material debajo de esta presenta capacidad portante "elevada".

Sus funciones son:

- Resistir la deformación impuesta por las cargas del tránsito, absorbiendo esfuerzos verticales: se requieren materiales de alta resistencia.
- Facilitar el drenaje de aguas lluvias y evitar el ascenso capilar de aguas subterráneas.
- Ahorrar recursos económicos, ya que su presencia conlleva a la reducción del espesor de la capa asfáltica.

6.2.2 Capa Sub-base

La cantera San Luis vende Sub-base tipo 1 Clase A, que tiene la siguiente granulometría: N°4, N°40, N°200; según las

especificaciones del MOP 403-1.1. También ofrecen material Sub-Base GW, que es un material que ha pasado por un proceso de mejoramiento para que su índice de plasticidad sea menor a 9.

El espesor de la base y sub-base en una carretera depende del volumen de tráfico que vaya a soportar y del sistema de pavimento que se quiera utilizar, esto se refiere a si se trata de Pavimento Rígido o Pavimento Flexible.

Debido a los grandes volúmenes de áridos necesarios para la construcción de capas de rodamiento, en bases y/o sub-bases deben ser realizados ensayos de laboratorio para determinar si cumplen con las especificaciones constructivas (Normas).

Sus funciones son:

- Suministrar a la base o capa de rodadura un cimientto uniforme
- Facilitar el drenaje de aguas lluvia y evitar el ascenso capilar de aguas subterráneas siempre que carezca de materiales finos.
- Evitar que los finos de la Sub-Rasante contaminen la Base o capa de rodadura.

Al estar alejada de la superficie no se requieren materiales tan residentes como los especificados para bases.

6.2.3 Hormigón Asfáltico

El agregado que la cantera San Luis vende para hormigón asfáltico es la Piedra #8 o también conocida como Piedra Chispa.

El hormigón asfáltico es la mezcla de cemento asfáltico caliente con agregados calientes, luego compactada para que se forme una masa densa y uniforme. Se usa en pavimento asfáltico o también llamado pavimento flexible.

La función del cemento asfáltico es mantener los agregados en su lugar. Los agregados se escogen de modo que las

cargas externas se distribuyan por contacto. Este mecanismo se llama “trabazón de contacto”.



Figura 6-5.- Colocación de hormigón asfáltico como capa de rodadura

Los pavimentos asfálticos constan de asfalto, agregados y vacíos (2 a 7% de aire). Una mezcla típica se presenta a continuación

Compuesto Típico Asfalto - Agregado	% en Peso	% en Volumen
Asfalto	6	14.4
Agregado Grueso	53	43.7
Agregado Fino	35	33.4
Polvo Mineral	6	4.9
Aire	...	3.6

Tabla 6-1.- Porcentaje de elementos que conforman el hormigón asfáltico

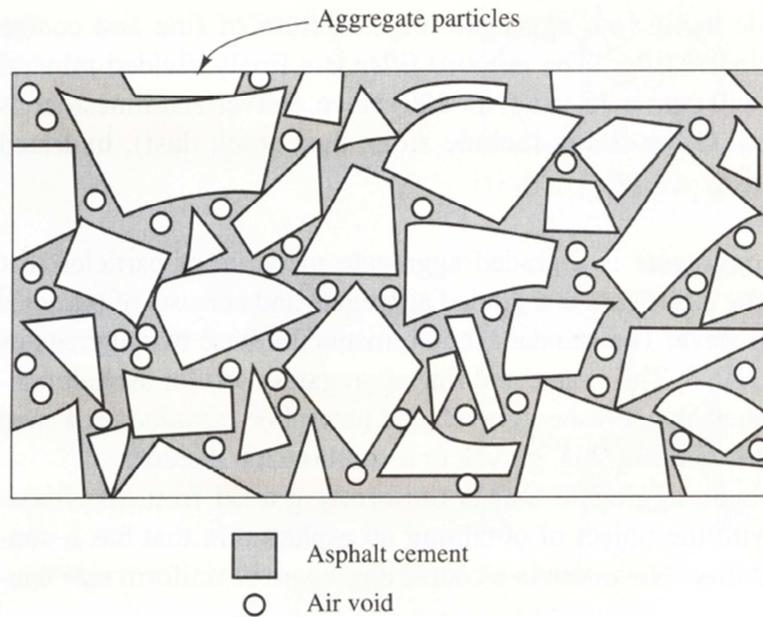


Figura 6-6.- Configuración de elementos en el hormigón asfáltico. Los elementos más grandes son los agregados, los círculos son aire y el fondo gris es el cemento asfáltico

Las mezclas densas se obtienen con el uso de agregados con buena granulometría; el agregado fino llena los huecos que deja la estructura del agregado grueso. El agregado grueso es el que queda retenido en la malla N° 200. El polvo mineral tiende a estabilizar el asfalto. El cemento bituminoso liga entre si las partículas de agregados e impermeabiliza el pavimento. Los espacios de aire permiten la expansión del cemento asfáltico o la compactación del compuesto aportando un espacio hacia el cual se mueve el cemento asfáltico en lugar de empujar a los agregados, separándolos.

El porcentaje de los áridos en las diversas capas que constituyen los firmes de las carreteras supera el 90% del total. Existen fuertes limitaciones económicas, por lo que las distancias de aporte son muy restringidas. Suele haber problemas de homogeneidad, por los elevados volúmenes que se mueven.

6.2.4 Hormigón Hidráulico

La cantera San Luis también produce agregados gruesos, como son las piedras #57 y piedra #8 para hormigones hidráulicos.

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de 38 milímetros, resistencia superior a la resistencia del concreto señalada en el proyecto vial.



Figura 6-7.- Colocación de Hormigón Hidráulico



Figura 6-8.- Pavimento Hidráulico

6.3 Rellenos

En la cantera San Luis se vende cascajo como material de relleno. Dentro de los cascajos que produce la cantera San Luis tenemos: cascajo fino, cascajo mediano y cascajo grueso.

También son usadas las piedras de escollera y piedra base, producidas en la cantera San Luis, para estabilización de terrenos fangosos o lodosos, donde la colocación de agregados de diámetros pequeños no brinda los resultados de relleno esperados.

Uno de los principales usos de los agregados son los rellenos, que dependiendo de donde son construidos existen algunas variantes a considerar, por ejemplo, en los sitios en donde haya necesidad de hacer mejoramiento o subir hasta un nivel preestablecido, deben estar constituidos por materiales provenientes de las excavaciones, o de bancos de préstamo.



Figura 6-9.- Terreno rellenado con material de común

Se debe considerar que el cascajo seleccionado de una cantera tiene que estar constituido por una mezcla densa de grava y arena, con un contenido de material que pase el tamiz No. 200 no menor del 5% ni mayor del 15%.

Adicionalmente en todo material de relleno que se utilicen para la construcción de rellenos deben estar exentos de troncos, ramas, raíces y en general de toda materia orgánica o cualquier otro elemento extraño al material especificado. Para efectos prácticos de construcción los materiales utilizables en la construcción de rellenos en general, se clasifican en comunes y seleccionados, de acuerdo con la definición que para cada uno de ellos se da a continuación.



Figura 6-10.- Material de cantera para relleno

6.4 Muros de Escollera

La cantera San Luis produce Piedra Base de tamaño máximo de 35cm y Piedra Bola, que son piedras cuyo diámetro es mayor a los 40 cm. Estas piedras son empleadas en los muros de escollera.

Los muros de escollera están formados por grandes bloques de roca, obtenidos mediante voladura, de peso superior a 250 kg y de forma más o menos prismática.



Figura 6-11.- Piedra Bola y Piedra Base para Escolleras

Para este tipo de muros es recomendable la utilización de piedra caliza, debiendo cumplir una serie de requisitos en cuanto a peso específico, resistencia a compresión simple, contenido en carbonato cálcico, etc. También sería posible la utilización de otro tipo de rocas pero se debería realizar un estudio más detallado para garantizar que cumplen los requisitos de estabilidad e inalterabilidad. A pesar de que la cantera San Luis no produce piedras calizas, pero las buenas propiedades de los agregados hacen eficiente su utilización para muros de escollera.

CONCLUSIONES

Luego de la descripción de los procesos que se llevan a cabo para la explotación de la roca y obtención de agregados con diferentes granulometrías, y de haber realizado un análisis de resultados para los agregados de laboratorio, concluimos lo siguiente:

- La cantera San Luis produce agregados naturales triturados sedimentarios.
- El macizo rocoso de la cantera San Luis está conformado por Lutita Silicificada y Arenisca.
- Se sigue un proceso de barrenado y voladura para explotar del macizo rocoso aunque para macizo rocoso bien fisurado se extrae la roca mediante procesos de extracción mecánicos.
- Para la trituración del agregado se requieren 2 procesos: Trituración primaria (trituradora de mandíbula) y trituración secundaria (trituradora de cono), luego se continua con el cribado (zaranda).
- Se producen Piedras #8, #10 y #57. Se produce Base clase 1 tipo A, Sub-base clase 1 tipo A: cascajo fino, mediano y grueso, como material de relleno. También se produce Piedra Bola y Piedra Base.
- Para el análisis de las propiedades de conjunto realizados a los agregados, nos basamos en la norma ASTM C-33, debido a que la

mayoría de los agregados de la cantera son empleados para la elaboración de hormigones y para el análisis de las mezclas de la cantera San Luis fueron analizadas según la norma ecuatoriana MTOP, y se concluye lo siguiente:

- **PIEDRA #57:** Este agregado cumple según lo establecido en la Norma ASTM C-33.
- **PIEDRA #10:** Según lo especificado en la tabla 2, requerimientos de calificación para los agregados gruesos, de la norma ASTM C-33 se puede observar que no existe clasificación piedra #10 por lo tanto este agregado no pertenece a la clasificación de agregados gruesos ni tampoco a la graduación de finos que establece el ASTM para uso en hormigones.
- **PIEDRA #8:** El agregado no cumple con lo establecido en la tabla 2 del ASTM C-33, pero su granulometría está cercana a al límite superior de lo que establece la norma.
- **BASE:** La base que comercializa la cantera San Luis está constituida por agregados grueso y finos, triturados en un 100%, por lo tanto según lo que establece el MTOP la base de esta cantera es de Clase1. Del ensayo de granulometría se aprecia que se ajustan los porcentajes de pasantes al Tipo A. Cumpliendo de esta forma con la norma MTOP 404-1.

- **SUB-BASE:** Por estar constituida por agregados obtenidos mediante trituración su clasificación corresponde a la CLASE 1, una vez realizado el ensayo de granulometría se concluye que cumple con la norma MTOP 403-1, en su tabla 403-1.1, ajustándose a los porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada.
 - **CASCAJO:** El porcentaje del pasante de la malla No 200 es del 13,57%, la norma del MTOP en la sección 402-2 indica que para ser considerado como material de mejoramiento de la subrasante no debe pasar más de 20%, por lo tanto cumple con lo establecido en esta norma.
- De los ensayos realizados para caracterizar las propiedades de resistencia a las mezclas se puede concluir lo siguiente:
- **BASE:** Guiados por la normativa ecuatoriana de carreteras MTOP las bases deben cumplir con lo establecido en las especificaciones MTOP 404-1, en estas especificaciones indican que las bases deben poseer un índice plástico menor de 6, el limite liquido será menor de 25, el porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menor del 40% y el CBR deberá ser igual o mayor al 80%. Los resultados de los ensayos realizados se encontró que el índice plástico es de 3.12, el limite liquido es de 23, la abrasión es de 20.02% y el

CBR es de 88%. Concluyendo así, que las características de resistencia de la base de la cantera San Luis cumple con la normativa MTOP 404-1.

- **SUB-BASE:** Según las especificaciones del MTOP 403-1, la sub-base debe tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles, un índice de plasticidad menor que 6, un límite líquido máximo de 25 y el CBR mayor o igual al 30%. En los ensayos se obtuvo un coeficiente de abrasión de 20.48%, un índice de plasticidad de 3.12, un límite líquido de 24 y un CBR de 65%. Por lo tanto las características de resistencia de esta mezcla cumplen con la norma MTOP 403-1.
- **CASCAJO:** Este material es empleado para rellenos y mejoramiento de la subrasante, la norma MTOP en su sección 402-2 indica que el material para mejoramiento de subrasante debe tener un índice de plasticidad no mayor de 9, un límite líquido de hasta 35% siempre que el valor de CBR sea mayor al 20%, en los resultados obtenidos se observa que el índice de plasticidad es de 9.58, el límite líquido es del 31,50% y su valor de CBR es del 52%. Por lo tanto se concluye que a excepción del índice plástico que es mayor establecido con la norma el resto de sus propiedades cumple.

- Del ensayo de compresión simple se puede concluir que el material que la cantera San Luis explota es Lutita debido que los valores de compresión que este mineral posee esta en el rango de resistencia entre 50 y 60 MPa.
- La cantera San Luis ofrece agregados que pueden ser utilizados para todas las diversas aplicaciones en los que se lo requiera en la ciudad de Guayaquil, siendo, estos: Hormigón para construcciones de edificaciones y carreteras, Capas de Pavimento, como material de relleno o mejoramiento, para, escolleras, y aglomerado asfáltico.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANEFA (Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos), *Conoce los áridos* [En Línea], Madrid, 2006. Disponible en Internet: <http://www.conocelosaridos.org/curioso.html>
2. *Pequeña historia de los áridos* [En Línea], Barcelona: Editorial Mediterránea, Febrero 2008. Disponible en Internet: <http://www.conocelosaridos.org/pdfs/historia.pdf>
3. César Lauces. *Los Áridos y el Cemento*. Editado por Doménech e-learnin multimedia, S.A., 1ra Edición. Madrid, 2007. p. 154-165.
4. José-Lis Parra y Alfaro. *Materiales Utilizados como Áridos*. 1ra edición. España: Madrid, 18 de marzo del 2003, Tipos de áridos, p. 15-17.
5. UNAM, *Pruebas de Laboratorio para determinar propiedades de los Suelos*. México, Enero del 2010. p. 2-19, 24-26, 67-75, 107-111.
6. James R. Amstrong y Ragi Menon. *Minas y Canteras*. 21 de Julio del 2000.
7. Damián Alcívar Escobar. *Estudio de Impacto Ambiental de la Cantera San Luis*. Enero 2004.
8. Terreros Carmen, *Mecánica de suelos Laboratorio*, 1995.
9. American Society for Testing and Matirials, Anul bool ASTMSTANDARDS 1994, Sección C 33, Especificaciones Normalizadas para Agregados para Concreto.

ANEXOS

Anexo A

ENSAYO DE ABRASION DE LOS ANGELES

Norma de referencia: ASTM C131-94

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 16-ago-11

Ubicación: Cantera San Luis, Km.10.5 via a la Costa Profundidad: _____

Ensayo No.: 1 Muestra No.: Piedra #10

Gradación	Número de esferas	Peso de la carga (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3320±20
D	6	2500±15

Granulometría de las muestras a ensayarse

Abertura de los Tamices		Peso en gramos			
Pasante tamiz	Retenido tamiz	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				5000±10

Gradación tipo:	C	
Peso inicial	PI =	5005
Peso final	PF =	3948
$\% = \frac{PI - PF}{PI} \times 100$	% =	21.12%

Responsable Técnico:

Paola Valle - Andres Acosta - Carlos Salvatierra

ENSAYO DE ABRASION DE LOS ANGELES

Norma de referencia: ASTM C131-94

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 16-ago-11
Ubicación: Cantera San Luis, Km.10.5 via a la Costa Profundidad: _____
Ensayo No.: 1 Muestra No.: Piedra 57

Gradación	Número de esferas	Peso de la carga (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3320±20
D	6	2500±15

Granulometría de las muestras a ensayarse

Abertura de los Tamices		Peso en gramos			
Pasante tamiz	Retenido tamiz	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				5000±10

Gradación tipo:	A	
Peso inicial	PI =	5003
Peso final	PF =	3910
$\% = \frac{PI - PF}{PI} \times 100$	% =	21.85%

Responsable Técnico:

Paola Valle - Andres Acosta - Carlos Salvatierra

ENSAYO DE ABRASION DE LOS ANGELES

Norma de referencia: ASTM C131-94

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 16-ago-11
Ubicación: Cantera San Luis, Km.10.5 via a la Costa Profundidad: _____
Ensayo No.: 1 Muestra No.: Piedra # 8

Gradación	Número de esferas	Peso de la carga (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3320±20
D	6	2500±15

Granulometría de las muestras a ensayarse

Abertura de los Tamices		Peso en gramos			
Pasante tamiz	Retenido tamiz	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				5000±10

Gradación tipo:	C	
Peso inicial	PI =	5004.3
Peso final	PF =	3848
$\% = \frac{PI - PF}{PI} \times 100$	% =	23.11%

Responsable Técnico:

Paola Valle - Andres Acosta - Carlos Salvatierra

ENSAYO DE ABRASION DE LOS ANGELES

Norma de referencia: ASTM C131-94

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 16-ago-11
Ubicación: Cantera San Luis,Km.10.5 via a la Costa Profundidad: _____
Ensayo No.: 1 Muestra No.: Base Clase 1 Tipo A

Gradación	Número de esferas	Peso de la carga (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3320±20
D	6	2500±15

Granulometría de las muestras a ensayarse

Abertura de los Tamices		Peso en gramos			
Pasante tamiz	Retenido tamiz	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				

Gradación tipo:	A	
Peso inicial	PI =	5004.3
Peso final	PF =	4002.4
$\% = \frac{PI - PF}{PI} \times 100$	% =	20.02%

Responsable Técnico:

Paola Valle - Andres Acosta - Carlos Salvatierra

ENSAYO DE ABRASION DE LOS ANGELES

Norma de referencia: ASTM C131-94

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 16-ago-11
Ubicación: Cantera San Luis,Km.10.5 via a la Costa Profundidad: _____
Ensayo No.: 1 Muestra No.: Sub-base 1

Gradación	Número de esferas	Peso de la carga (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3320±20
D	6	2500±15

Granulometría de las muestras a ensayarse

Abertura de los Tamices		Peso en gramos			
Pasante tamiz	Retenido tamiz	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	Nº4			2500±10	
IS: Paola Valle-Carlos	Nº8				5000±10

Gradación tipo:	A	
Peso inicial	PI =	5004.9
Peso final	PF =	3980
$\% = \frac{PI - PF}{PI} \times 100$	% =	20.48%

Responsable Técnico:

Paola Valle - Andres Acosta - Carlos Salvatierra



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
"ING. RAÚL MARURI DÍAZ"

CBR (California Bearing Ratio)

Proyecto: Tesis: Valle - Acosta - Salvatierra Fecha: 26/08/2011
 Localización: Cantera San Luis Muestra: BASE

Molde No.:		No. golpes/capa:		Peso del martillo:	
Peso del molde:		Vol. del molde:	2.316		

Antes de la inmersión								
Ensayo No.		1	2	3	4	5	6	7
No. de golpes por capa		56	25	12				
Humedad	No. rec.	9	5	4				
	Wh + r (gr)	213.5	213.1	234				
	Ws + r (gr)	200.5	199.7	219.7				
	r (gr)	26.2	21.8	21.7				
	Ww (gr)	13	13.4	14.3				
	Ws (gr)	174.3	177.9	198				
	w%	7.46%	7.53%	7.22%				
Molde + suelo húmedo	P	13972	13864	13460				
Peso del Molde		9363	9411	9197				
Volumen del Molde		2.316	2.316	2.316				
Suelo húmedo	W	4609	4453	4263				
Suelo seco	Ws	4289.1	4141.08	3975.85				
Densidad húmeda	γ_h	1990.07	1922.71	1840.67				
Densidad seca	γ_s	1851.94	1788.03	1716.69				
Después de la inmersión								
Humedad	No. rec.							
	Wh + r (gr)							
	Ws + r (gr)							
	r (gr)							
	Ww (gr)							
	Ws (gr)							
	w%							
Molde + suelo húmedo	P							
Peso del Molde								
Volumen del Molde								
Suelo húmedo	W							
Suelo seco	Ws							
Densidad húmeda	γ_h							
Densidad seca	γ_s							
Hinchamiento								
Lectura inicial		0+000	0+000	0+000				
24 horas		0+000	0+000	0+000				
48 horas								
72 horas								
96 horas								

Operador: Paola Valle
 Calculado por: Andres Acosta - Carlos
 Observaciones: _____



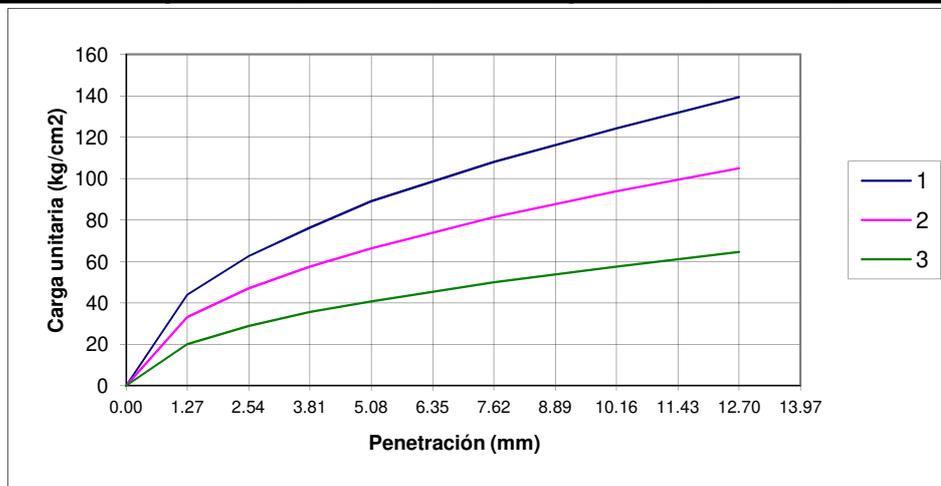
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
"ING. RAÚL MARURI DÍAZ"

CBR (California Bearing Ratio)

Proyecto: Tesis: Valle - Acosta - Salvatierra Fecha: 29/08/2011
 Localización: Cantera San Luis Muestra: Base Clase 1 Tipo A

Molde No.:		Peso del molde:		Peso del martillo:	
No. de capas:		Vol. del molde:			

No. de Ensayo	1	2	3	1	2	3
No. golpes/capa	56	25	12			
	Cargas de penetración en Libras			Cargas de penetración en kgs.		
1,27mm (0,05")	175	132	80	854.39	644.46	390.58
2,54mm (0,10")	249	187	115	1215.68	912.98	561.46
3,81mm (0,15")	304	229	142	1484.20	1118.04	693.28
5,08mm (0,20")	355	264	162	1733.20	1288.91	790.92
7,62mm (0,30")	430	324	199	2099.37	1581.85	971.57
10,16mm(0,40")	495	374	229	2416.71	1825.96	1118.04
12,70mm(0,50")	555	418	257	2709.65	2040.78	1254.74
	Carga de penetración en Lbs/pulg²			Cargas de penetración en kgs/cm²		
1,27mm (0,05")	58.33	44.00	26.67	43.96	33.16	20.09
2,54mm (0,10")	83.00	62.33	38.33	62.54	46.97	28.89
3,81mm (0,15")	101.33	76.33	47.33	76.36	57.52	35.67
5,08mm (0,20")	118.33	88.00	54.00	89.17	66.31	40.69
7,62mm (0,30")	143.33	108.00	66.33	108.01	81.38	49.98
10,16mm(0,40")	165.00	124.67	76.33	124.33	93.94	57.52
12,70mm(0,50")	185.00	139.33	85.67	139.40	104.99	64.55



CBR:	89.35%	67.10%	41.26%
Hinchamiento:			
Para:	2.54 mm de penetración		

CBR: **88%**

Operador: Paola Valle
 Calculado por: Andres Acosta - Carlos Salvatierra



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
"ING. RAÚL MARURI DÍAZ"

CBR (California Bearing Ratio)

Proyecto: Tesis: Valle - Acosta - Salvatierra Fecha: 03/09/2011
 Localización: Cantera San Luis Muestra: Casajo mediano

Molde No.:		No. golpes/capa:		Peso del martillo:	10 lb
Peso del molde:		Vol. del molde:	2316		

Antes de la inmersión								
Ensayo No.		1	2	3	4	5	6	7
No. de golpes por capa		56	25	12				
Humedad	No. rec.	32	52	53				
	Wh + r (gr)	266.4	277.2	283.3				
	Ws + r (gr)	241	251	256.4				
	r (gr)	43.3	40	50.6				
	Ww (gr)	25.4	26.2	26.9				
	Ws (gr)	197.7	211	205.8				
	w%	12.85%	12.42%	13.07%				
Molde + suelo húmedo	P	13517	13014	12975				
Peso del Molde		9443	9153	9245				
Volumen del Molde		2.316	2.316	2.316				
Suelo húmedo	W	4074	3861	3730				
Suelo seco	Ws	3610.17	3434.53	3298.81				
Densidad húmeda	γ_h	1759.07	1667.1	1610.54				
Densidad seca	γ_s	1558.8	1482.96	1424.36				
Después de la inmersión								
Humedad	No. rec.							
	Wh + r (gr)							
	Ws + r (gr)							
	r (gr)							
	Ww (gr)							
	Ws (gr)							
	w%							
Molde + suelo húmedo	P							
Peso del Molde								
Volumen del Molde								
Suelo húmedo	W							
Suelo seco	Ws							
Densidad húmeda	γ_h							
Densidad seca	γ_s							
Hinchamiento								
Lectura inicial		0+000	0+000	0+000				
24 horas		0+000	0+000	0+000				
48 horas								
72 horas								
96 horas								

Operador: Paola Valle
 Calculado por: Andres Acosta - Carlos Salvatierra
 Observaciones: _____



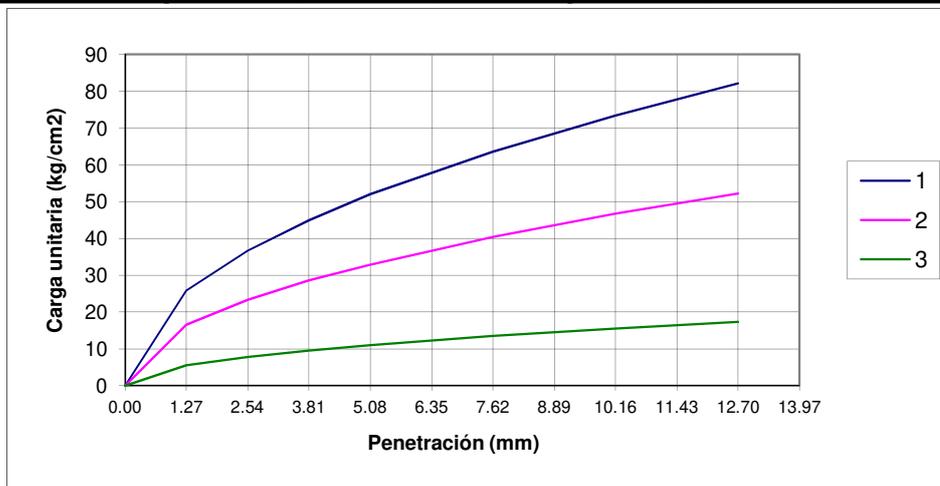
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
"ING. RAÚL MARURI DÍAZ"

CBR (California Bearing Ratio)

Proyecto: Tesis: Valle - Acosta - Salvatierra Fecha: 31/08/2011
 Localización: Cantera San Luis Muestra: CASCAJO MEDIANO

Molde No.:		Peso del molde:		Peso del martillo:	10 lb
No. de capas:		Vol. del molde:	2316		

No. de Ensayo	1	2	3	1	2	3
No. golpes/capa	56	25	12			
	Cargas de penetración en Libras			Cargas de penetración en kgs.		
1,27mm (0,05")	103	66	22	502.87	322.23	107.41
2,54mm (0,10")	146	93	31	712.81	454.05	151.35
3,81mm (0,15")	179	114	38	873.92	556.58	185.53
5,08mm (0,20")	207	131	44	1010.63	639.57	214.82
7,62mm (0,30")	253	161	54	1235.21	786.04	263.64
10,16mm (0,40")	292	186	62	1425.62	908.10	302.70
12,70mm (0,50")	327	208	69	1596.50	1015.51	336.88
	Carga de penetración en Lbs/pulg²			Cargas de penetración en kgs/cm²		
1,27mm (0,05")	34.33	22.00	7.33	25.87	16.58	5.53
2,54mm (0,10")	48.67	31.00	10.33	36.67	23.36	7.79
3,81mm (0,15")	59.67	38.00	12.67	44.96	28.63	9.54
5,08mm (0,20")	69.00	43.67	14.67	51.99	32.90	11.05
7,62mm (0,30")	84.33	53.67	18.00	63.55	40.44	13.56
10,16mm (0,40")	97.33	62.00	20.67	73.34	46.72	15.57
12,70mm (0,50")	109.00	69.33	23.00	82.13	52.24	17.33



CBR:	52.39%	33.37%	11.12%
Hinchamiento:			
Para:	2.54 mm de penetración		

CBR: **52%**

Operador: Paola Valle
 Calculado por: Andres Acosta - Carlos Salvatierra



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
"ING. RAÚL MARURI DÍAZ"

CBR (California Bearing Ratio)

Proyecto: Tesis: Valle - Acosta - Salvatierra Fecha: 21/08/2011
 Localización: Cantera San Luis Muestra: Sub-base

Molde No.:		No. golpes/capa:		Peso del martillo:	
Peso del molde:		Vol. del molde:	2.316		

Antes de la inmersión								
Ensayo No.		1	2	3	4	5	6	7
No. de golpes por capa		56	25	12				
Humedad	No. rec.	51	20	26				
	Wh + r (gr)	317.5	303.4	334				
	Ws + r (gr)	298	286.1	314.8				
	r (gr)	40.5	44.1	44.6				
	Ww (gr)	19.5	17.3	19.2				
	Ws (gr)	257.5	242	270.2				
	w%	7.57%	7.15%	7.11%				
Molde + suelo húmedo	P	13898	13590	13466				
Peso del Molde		9417	9353	9391				
Volumen del Molde		2.316	2.316	2.316				
Suelo húmedo	W	4481	4237	4075				
Suelo seco	Ws	4165.55	3954.32	3804.65				
Densidad húmeda	γ_h	1934.8	1829.45	1759.5				
Densidad seca	γ_s	1798.6	1707.39	1642.77				
Después de la inmersión								
Humedad	No. rec.							
	Wh + r (gr)							
	Ws + r (gr)							
	r (gr)							
	Ww (gr)							
	Ws (gr)							
	w%							
Molde + suelo húmedo	P							
Peso del Molde								
Volumen del Molde								
Suelo húmedo	W							
Suelo seco	Ws							
Densidad húmeda	γ_h							
Densidad seca	γ_s							
Hinchamiento								
Lectura inicial		0+000	0+000	0+000				
24 horas		0+000	0+000	0+000				
48 horas								
72 horas								
96 horas								

Operador: Paola Valle
 Calculado por: Andres Acosta - Carlos Salvatierra
 Observaciones: _____



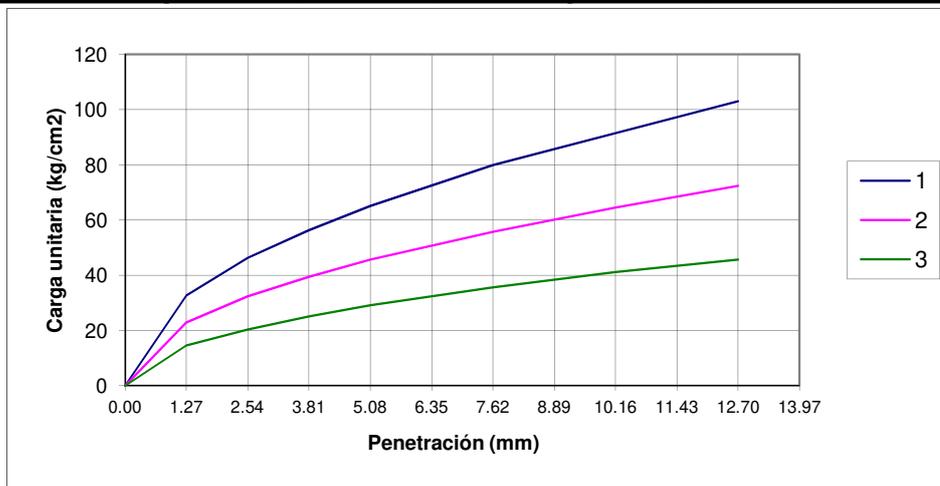
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
"ING. RAÚL MARURI DÍAZ"

CBR (California Bearing Ratio)

Proyecto: Tesis: Valle - Acosta - Salvatierra Fecha: 31/08/2011
 Localización: Cantera San Luis Muestra: Sub-Base

Molde No.:		Peso del molde:		Peso del martillo:	
No. de capas:		Vol. del molde:			

No. de Ensayo	1	2	3	1	2	3
No. golpes/capa	56	25	12			
	Cargas de penetración en Libras			Cargas de penetración en kgs.		
1,27mm (0,05")	130	91	58	634.69	444.28	283.17
2,54mm (0,10")	184	129	81	898.33	629.81	395.46
3,81mm (0,15")	224	157	100	1093.62	766.51	488.23
5,08mm (0,20")	259	182	116	1264.50	888.57	566.34
7,62mm (0,30")	318	222	142	1552.56	1083.86	693.28
10,16mm(0,40")	364	257	164	1777.14	1254.74	800.69
12,70mm(0,50")	410	288	182	2001.72	1406.09	888.57
	Carga de penetración en Lbs/pulg²			Cargas de penetración en kgs/cm²		
1,27mm (0,05")	43.33	30.33	19.33	32.65	22.86	14.57
2,54mm (0,10")	61.33	43.00	27.00	46.22	32.40	20.35
3,81mm (0,15")	74.67	52.33	33.33	56.26	39.43	25.12
5,08mm (0,20")	86.33	60.67	38.67	65.05	45.71	29.14
7,62mm (0,30")	106.00	74.00	47.33	79.87	55.76	35.67
10,16mm(0,40")	121.33	85.67	54.67	91.43	64.55	41.19
12,70mm(0,50")	136.67	96.00	60.67	102.98	72.34	45.71



CBR:	66.02%	46.29%	29.06%
Hinchamiento:			
Para:	2.54 mm de penetración		

CBR: **65%**

Operador: Paola Valle
 Calculado por: Andres Acosta - Carlos Salvatierra

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA, ABSORCION Y RELACION DE VACIO
DE AGREGADO GRUESO**

Norma de referencia: ASTM C127 - 94

Proyecto: TESIS:P. Valle-A. Acosta - C. Salvatierra Fecha: 07/09/2011
Ubicación: Cantera San Luis Profundidad: _____
Ensayo No.: 1 Muestra No.: Piedra #10

GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADOS

$Ma = Mmw - (Mm + B)$

Ma (Masa de agua añadida al matraz) =	293.1	g
Mm (Masa del matraz) =	190.6	g
Mmw (Masa del conjunto matraz, agua y muestra) =	983.9	g
B (Masa de la muestra saturada con superficie seca) =	500.2	g
A (Masa de la muestra seca) =	478.2	g

Gravedad especifica saturada con superficie seca:

$Ges = B / (500 - Ma)$ **2.42**

Porcentaje de Absorcion:

$Ab = ((B - A) / A) * 100$ **4.60 %**

Relación de Vacio:

$Rv = 1 - (Pv / densidad)$ **0.37**

Responsable Técnico: _____

P. Valle-A. Acosta - C. Salvatierra

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA, ABSORCION Y RELACION DE VACIO
DE AGREGADO GRUESO

Norma de referencia: ASTM C127 - 94

Proyecto: TESIS:P. Valle-A. Acosta - C. Salvatierra Fecha: 07/09/2011
Ubicación: Cantera San Luis Profundidad: _____
Ensayo No.: 1 Muestra No.: Piedra #8

A (Masa de la muestra seca) = 3931.70 g
B (Masa de la muestra saturada con superficie seca) = 4130.20 g
C (Masa de la muestra sumergida en el agua) = 2444.40 g

Gravedad especifica saturada con superficie seca:

$Ges = B/(B - C)$	2.45
-------------------	------

Porcentaje de Absorcion:

$Ab = ((B - A)/A)*100$	5.05 %
------------------------	--------

Relación de Vacío:

$Rv = 1 - (Pv / densidad)$	0.49
----------------------------	------

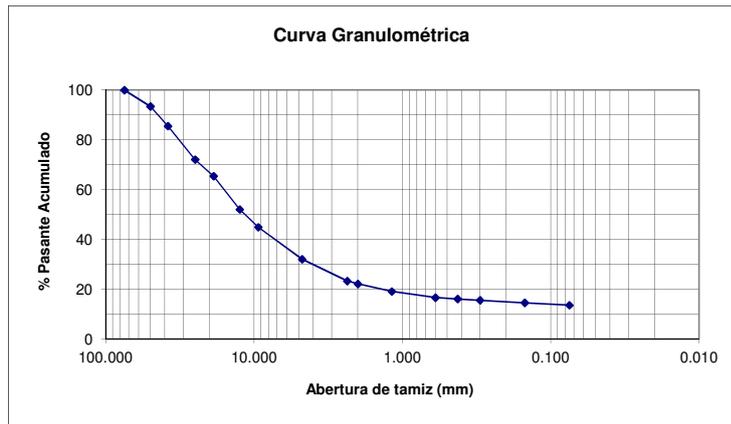
Responsable Técnico:

P. Valle-A. Acosta - C. Salvatierra

ANALISIS GRANULOMETRICO

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 4 agosto del 2011
 Muestra: _____ Ubicación: Km. 10.5 via a la Costa
 Fuente del Material: Cantera San Luis
 Descripción del Material: CASCAJO MEDIANO LADO SUR

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso parcial (gr.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificaciones
3"	75.00					
2"	50.00	648.00	6.56	6.56	93.44	
1 1/2"	38.10	780.00	7.90	14.46	85.54	
1"	25.00	1325.00	13.42	27.88	72.12	
3/4"	18.75	660.00	6.68	34.57	65.43	
1/2"	12.50	1320.00	13.37	47.94	52.06	
3/8"	9.38	706.00	7.15	55.09	44.91	
1/4"	6.25				0.00	
No. 4	4.750	1270.00	12.86	67.95	32.05	
No. 6	3.350				0.00	
No. 8	2.360	864.00	8.75	76.70	23.30	
No. 10	2.000	114.00	1.15	77.86	22.14	
No. 12	1.700				0.00	
No. 16	1.180	300.00	3.04	80.90	19.10	
No. 18	1.000				0.00	
No. 20	0.850				0.00	
No. 30	0.600	245.00	2.48	83.38	16.62	
No. 40	0.425	55.00	0.56	83.94	16.06	
No. 50	0.300	50.00	0.51	84.44	15.56	
No. 60	0.250				0.00	
No. 80	0.180				0.00	
No. 100	0.150	102.00	1.03	85.48	14.52	
No. 120	0.125				0.00	
No. 140	0.106				0.00	
No. 170	0.090				0.00	
No. 200	0.075	94.00	0.95	86.43	13.57	
Fondo		1340.00	13.57	100.00	0.00	
Total		9873.00				



D60 = 15.90 D30 = 4.03 #N/A
#N/A #N/A

Observaciones:

Responsable Técnico: _____
Ing. Julio Garcia
Coordinador de Laboratorio
Mecánica de Suelos, Rocas y Materiales

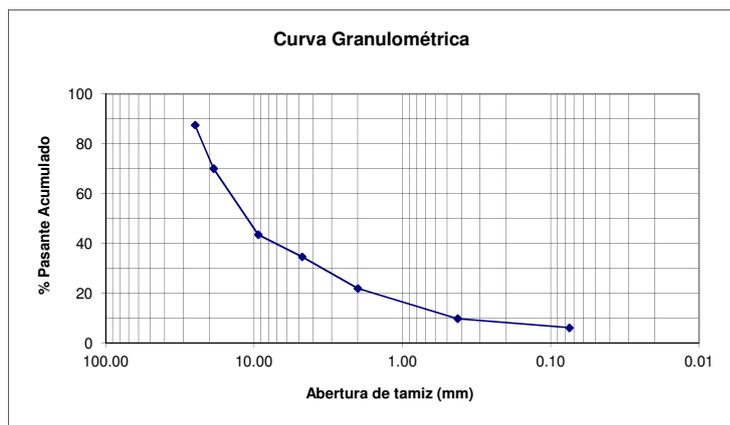
ANALISIS GRANULOMETRICO

Tabla MTOP 404-1.1

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 4 agosto del 2011
 Muestra: Base Clase I Tipo A Ubicación: Km. 10.5 via a la Costa

Fuente del Material: Cantera San Luis
 Descripción del Material: Base Clase I Tipo A

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso parcial (gr.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificaciones Base Tipo A	
3"	75.00						
2"	50.00					100	
1 1/2"	38.10					70	100
1"	25.00	1220.00	12.42	12.42	87.58	55	85
3/4"	18.75	1720.00	17.51	29.93	70.07	50	80
1/2"	12.50						
3/8"	9.38	2607.00	26.54	56.46	43.54	35	60
1/4"	6.25						
No. 4	4.750	873.00	8.89	65.35	34.65	25	50
No. 6	3.350						
No. 8	2.360						
No. 10	2.000	1250.00	12.72	78.07	21.93	20	40
No. 12	1.700						
No. 16	1.180						
No. 18	1.000						
No. 20	0.850						
No. 30	0.600						
No. 40	0.425	1193.00	12.14	90.22	9.78	10	25
No. 50	0.300						
No. 60	0.250						
No. 80	0.180						
No. 100	0.150						
No. 120	0.125						
No. 140	0.106						
No. 170	0.090						
No. 200	0.075	363.00	3.70	93.91	6.09	2	12
Fondo		598.00	6.09	100.00	0.00		
Total		9824.00					



D60 = 14.41 D30 = 3.46 D10 = 0.44

Cu = 32.98 Cc = 1.90

Observaciones:

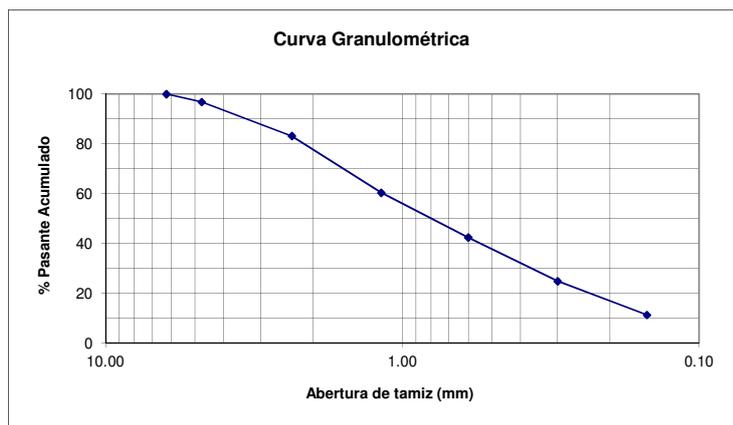
Responsable Técnico: Ing. Julio Garcia
 Coordinador de Laboratorio
 Mecánica de Suelos, Rocas y Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 4 agosto del 2011
 Muestra: Piedra #10 Ubicación: Km. 10.5 via a la Costa

Fuente del Material: Cantera San Luis
 Descripción del Material: Piedra #10

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso parcial (gr.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificaciones
3"	75.00					
2"	50.00					
1 1/2"	38.10					
1"	25.00					
3/4"	18.75					
1/2"	12.50					
3/8"	9.38					
1/4"	6.25					
No. 4	4.750	32.50	3.18	3.18	96.82	
No. 6	3.350					
No. 8	2.360	139.50	13.66	16.84	83.16	
No. 10	2.000					
No. 12	1.700					
No. 16	1.180	233.00	22.81	39.64	60.36	
No. 18	1.000					
No. 20	0.850					
No. 30	0.600	183.60	17.97	57.62	42.38	
No. 40	0.425					
No. 50	0.300	179.30	17.55	75.17	24.83	
No. 60	0.250					
No. 80	0.180					
No. 100	0.150	138.70	13.58	88.74	11.26	
No. 120	0.125					
No. 140	0.106					
No. 170	0.090					
No. 200	0.075					
Fondo		115.00	11.26	100.00	0.00	
Total		1021.60				



D60 = 1.16 D30 = 0.37 #N/A
 #N/A #N/A

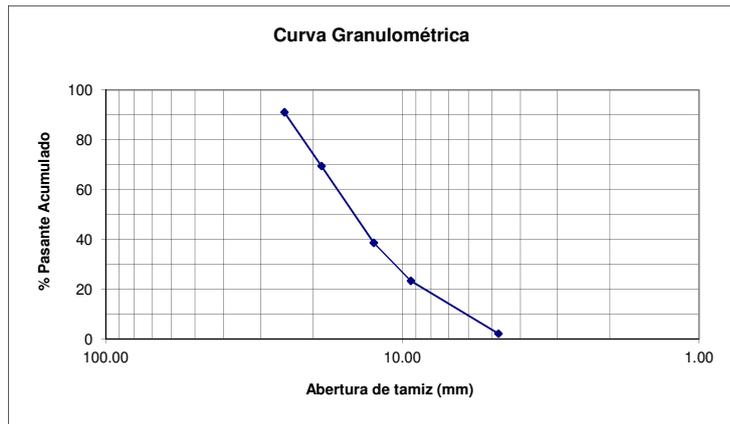
Observaciones:

Responsable Técnico: _____

ANALISIS GRANULOMETRICO

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 4 agosto del 2011
 Muestra: Piedra #57 Ubicación: Km. 10.5 via a la Costa
 Fuente del Material: Cantera San Luis
 Descripción del Material: Piedra #57

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso parcial (gr.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificaciones
3"	75.00					
2"	50.00					
1 1/2"	38.10	0.00				
1"	25.00	902.00	8.89	8.89	91.11	
3/4"	18.75	2190.00	21.59	30.48	69.52	
1/2"	12.50	3130.00	30.86	61.34	38.66	
3/8"	9.38	1550.00	15.28	76.62	23.38	
1/4"	6.25					
No. 4	4.750	2151.00	21.21	97.83	2.17	
No. 6	3.350					
No. 8	2.360					
No. 10	2.000					
No. 12	1.700					
No. 16	1.180					
No. 18	1.000					
No. 20	0.850					
No. 30	0.600					
No. 40	0.425					
No. 50	0.300					
No. 60	0.250					
No. 80	0.180					
No. 100	0.150					
No. 120	0.125					
No. 140	0.106					
No. 170	0.090					
No. 200	0.075					
Fondo		220.00	2.17	100.00	0.00	
Total		10143.00				



D60 = 16.55 D30 = 10.62 D10 = 6.11

Cu = 2.71 Cc = 1.12

Observaciones:

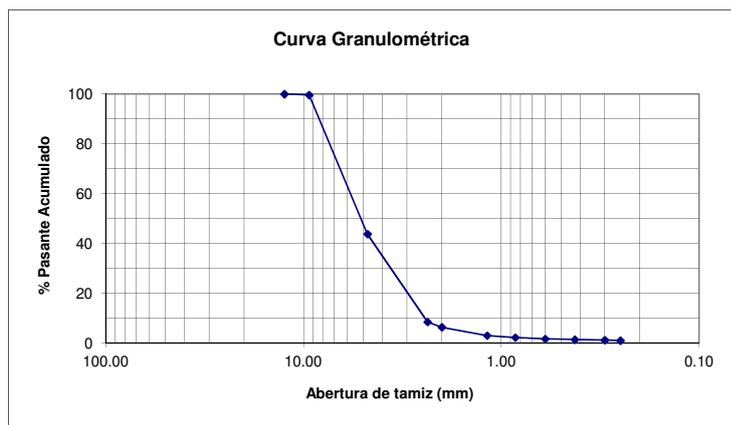
Responsable Técnico: _____

ANALISIS GRANULOMETRICO

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 4 agosto del 2011
 Muestra: PIEDRA #8 Ubicación: Km. 10.5 via a la Costa

Fuente del Material: Cantera San Luis
 Descripción del Material: PIEDRA #8

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso parcial (gr.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificaciones Piedra #8	
3"	75.00						
2"	50.00						
1 1/2"	38.10						
1"	25.00						
3/4"	18.75						
1/2"	12.50					100	
3/8"	9.38	38.40	0.38	0.38	99.62	85	100
1/4"	6.25						
No. 4	4.750	5600.00	55.86	56.24	43.76	10	30
No. 6	3.350						
No. 8	2.360	3542.00	35.33	91.58	8.42	0	10
No. 10	2.000	211.00	2.10	93.68	6.32		
No. 12	1.700						
No. 16	1.180	336.00	3.35	97.03	2.97		
No. 18	1.000						
No. 20	0.850	76.80	0.77	97.80	2.20		
No. 30	0.600	57.60	0.57	98.37	1.63		
No. 40	0.425	28.80	0.29	98.66	1.34		
No. 50	0.300	19.20	0.19	98.85	1.15		
No. 60	0.250	19.20	0.19	99.04	0.96		
No. 80	0.180						
No. 100	0.150	38.40	0.38	99.43	0.57		
No. 120	0.125						
No. 140	0.106						
No. 170	0.090						
No. 200	0.075	48.00	0.48	99.90	0.10		
Fondo		9.60	0.10	100.00	0.00		
Total		10025.00					



D60 = 5.79 D30 = 3.62 D10 = 2.43

Cu = 2.38 Cc = 0.93

Observaciones:

Responsable Técnico: _____

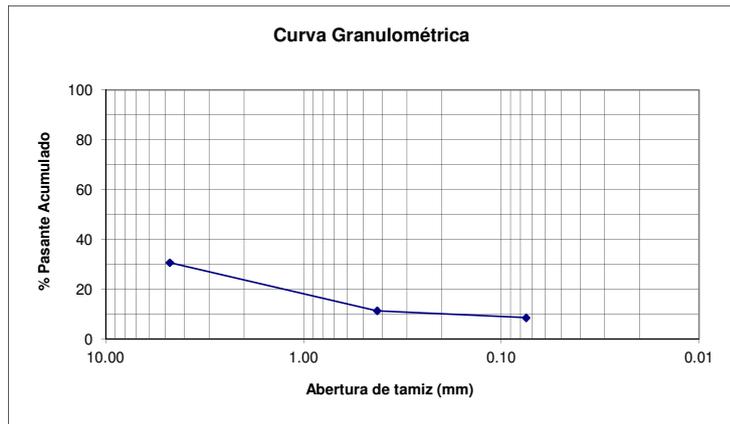
ANALISIS GRANULOMETRICO

Tabla MTOP 403-1.1

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 4 agosto del 2011
 Muestra: Sub-Base clase 1 Ubicación: Km. 10.5 via a la Costa

Fuente del Material: Cantera San Luis
 Descripción del Material: Sub-Base Clase 1

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso parcial (gr.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificaciones SubBase Tipo A	
3"	75.00						
2"	50.00						
1 1/2"	38.10	100.00	1.33	1.33	98.67		100
1"	25.00						
3/4"	18.75						
1/2"	12.50						
3/8"	9.38						
1/4"	6.25						
No. 4	4.750	5100.00	68.00	69.33	30.67	30	70
No. 6	3.350						
No. 8	2.360						
No. 10	2.000						
No. 12	1.700						
No. 16	1.180						
No. 18	1.000						
No. 20	0.850						
No. 30	0.600						
No. 40	0.425	1450.00	19.33	88.67	11.33	10	35
No. 50	0.300						
No. 60	0.250						
No. 80	0.180						
No. 100	0.150						
No. 120	0.125						
No. 140	0.106						
No. 170	0.090						
No. 200	0.075	210.00	2.80	91.47	8.53	0	15
Fondo		640.00	8.53	100.00	0.00		
Total		7500.00					



D60 = 0.34 D30 = 4.37 D10 = 0.19

Cu = 1.82 Cc = 302.69

Observaciones:

Responsable Técnico: Ing. Julio Garcia
 Coordinador de Laboratorio
 Mecánica de Suelos, Rocas y Materiales



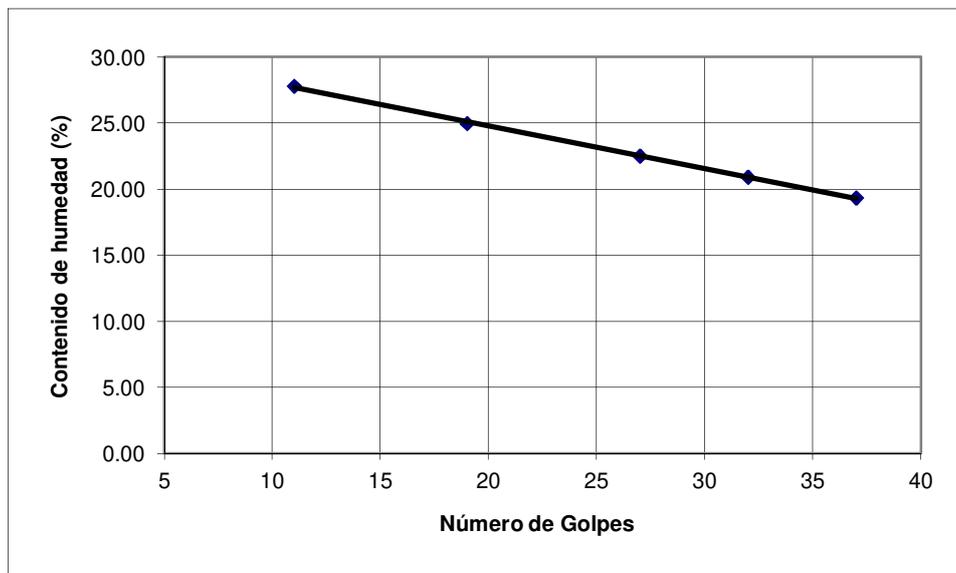
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
 "Ing. Raúl Maruri Díaz"

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LÍMITE LIQUIDO Y PLÁSTICO

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 10/10/2011
 Perforación: _____
 Muestra: Base Clase 1 Tipo A
 Profundidad: _____

LÍMITE LIQUIDO

	1	2	3	4	5	6
Número del Recipiente	23	101	115	74	304	
Recipiente+peso húmedo (gr.)	18.79	24.78	23.57	24.91	25.83	
Recipiente+peso seco (gr.)	16.10	21.05	20.35	21.66	22.60	
Peso del recipiente (gr.)	6.43	6.12	6.05	6.12	5.92	
Peso del agua (gr)	2.69	3.73	3.22	3.25	3.23	
Peso seco (gr)	9.67	14.93	14.30	15.54	16.68	
Número de Golpes	11	19	27	32	37	
Humedad (%)	27.82	24.98	22.52	20.91	19.36	



LÍMITE PLÁSTICO

	1	2	3
Número del Recipiente	2	15	5
Recipiente+peso húmedo (gr.)	23.54	22.88	24.56
Recipiente+peso seco (gr.)	23.18	22.21	23.64
Peso del recipiente (gr.)	21.34	18.85	19.07
Humedad (%)	19.57	19.94	20.13

$W_L = 23.00 \%$
$W_P = 19.88 \%$
$I_P = 3.12 \%$

Observaciones: Especificaciones MTOP 404.1.02.

Operador: C. Salvatierra

Calculado por: A. Acosta
 Verificado por: P. Valle



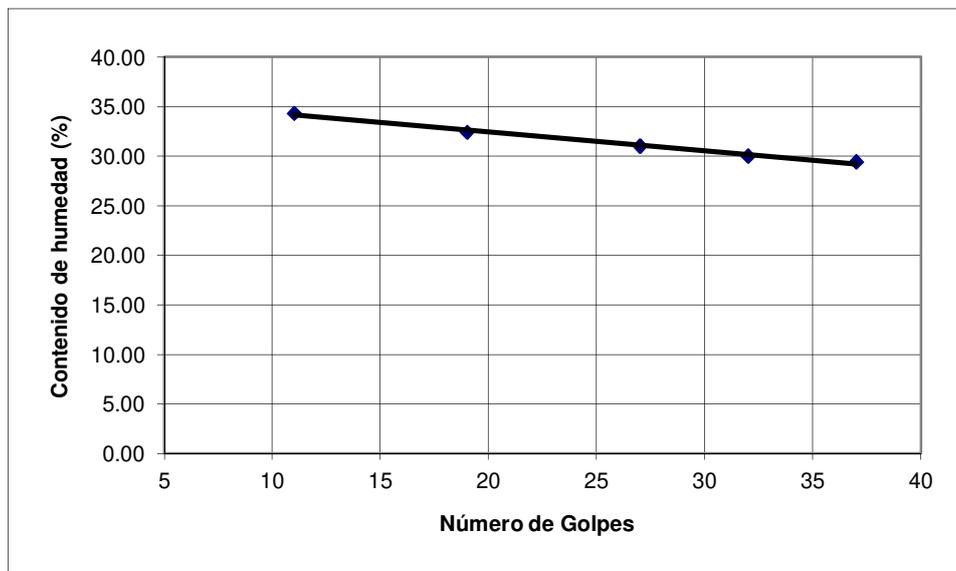
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
 "Ing. Raúl Maruri Díaz"

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LÍMITE LIQUIDO Y PLÁSTICO

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 10/10/2011
 Perforación: _____
 Muestra: Cascajo Mediano
 Profundidad: _____

LÍMITE LIQUIDO

	1	2	3	4	5	6
Número del Recipiente	23	101	115	74	304	
Recipiente+peso húmedo (gr.)	18.79	24.78	23.57	24.91	25.83	
Recipiente+peso seco (gr.)	15.63	20.21	19.42	20.57	21.30	
Peso del recipiente (gr.)	6.43	6.12	6.05	6.12	5.92	
Peso del agua (gr)	3.16	4.57	4.15	4.34	4.53	
Peso seco (gr)	9.20	14.09	13.37	14.45	15.38	
Número de Golpes	11	19	27	32	37	
Humedad (%)	34.35	32.43	31.04	30.03	29.45	



LÍMITE PLÁSTICO

	1	2	3
Número del Recipiente	2	15	5
Recipiente+peso húmedo (gr.)	23.54	22.88	24.56
Recipiente+peso seco (gr.)	23.15	22.14	23.58
Peso del recipiente (gr.)	21.34	18.85	19.07
Humedad (%)	21.55	22.49	21.73

$W_L = 31.50 \%$
$W_P = 21.92 \%$
$I_P = 9.58 \%$

Observaciones: _____

Operador: C. Salvatierra

Calculado por: A. Acosta
 Verificado por: P. Valle



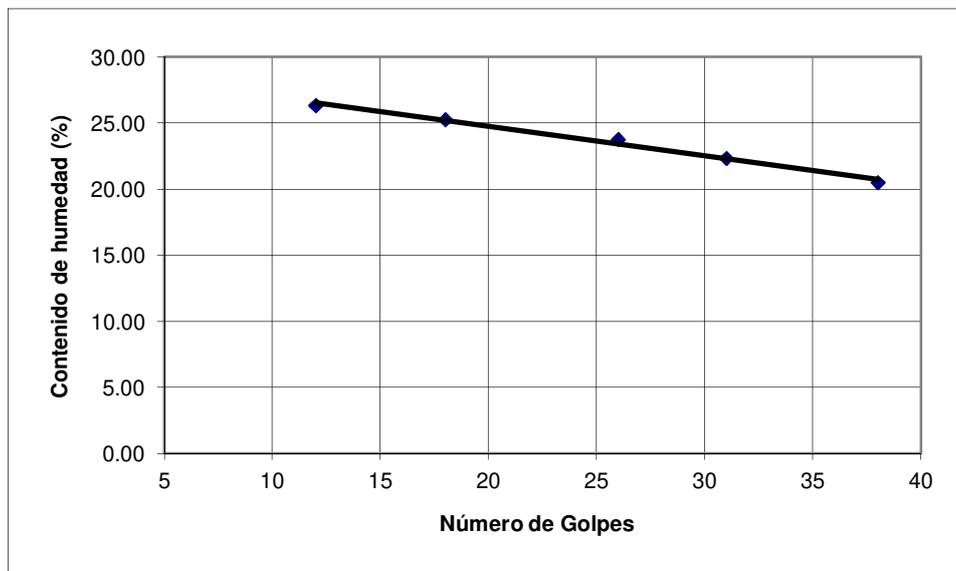
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
 "Ing. Raúl Maruri Díaz"

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LÍMITE LIQUIDO Y PLÁSTICO

Proyecto: TESIS: P Valle-A Acosta-C Salvatierra Fecha: 10/10/2011
 Perforación: _____
 Muestra: Sub-Base 1
 Profundidad: _____

LÍMITE LIQUIDO

	1	2	3	4	5	6
Número del Recipiente	32	41	52	46	100	
Recipiente+peso húmedo (gr.)	19.25	22.36	21.20	22.06	24.33	
Recipiente+peso seco (gr.)	16.57	19.09	18.30	19.14	21.21	
Peso del recipiente (gr.)	6.40	6.15	6.10	6.08	6.00	
Peso del agua (gr)	2.68	3.27	2.90	2.92	3.12	
Peso seco (gr)	10.17	12.94	12.20	13.06	15.21	
Número de Golpes	12	18	26	31	38	
Humedad (%)	26.35	25.27	23.77	22.36	20.51	



LÍMITE PLÁSTICO

	1	2	3
Número del Recipiente	2	15	5
Recipiente+peso húmedo (gr.)	25.44	21.56	24.23
Recipiente+peso seco (gr.)	24.70	21.10	23.38
Peso del recipiente (gr.)	21.05	18.90	19.20
Humedad (%)	20.27	20.91	20.33

$W_L = 24.00 \%$
$W_P = 20.51 \%$
$I_P = 3.49 \%$

Observaciones: Especificaciones MTOP 403.1.02.

Operador: C. Salvatierra

Calculado por: A. Acosta
 Verificado por: P. Valle

ORDENADO POR: P. VALLE- A. ACOSTA- C. SALVATIERRA
Realizado por: P. VALLE- A. ACOSTA- C. SALVATIERRA
Fecha: 05/09/2011

Ensayo3 CANTERA SAN LUIS PIEDRA #10

PESOS VOLUMETRICOS DE AGREGADOS ASTM C-29

	Peso agregado grueso varillado	Peso agregado grueso sin varillar
Peso 1	43.8 lb	40.3 lb
Peso 2	44.3 lb	40.3 lb
Peso 3	44.3 lb	40.4 lb
Promedio	44.13 lb	40.3 lb

Peso recipiente:	12.3 lb	
Altura recipiente:	30 cm	
Diametro:	20 cm	
Volumen recipiente:	9424.78 cm ³	0.00942 m ³
Peso real		
Agregado grueso varillado:	31.83 lb	14.5 Kg
Agregado grueso sin varillar:	28.03 lb	12.7 Kg

Peso Volumetrico Agregado Grueso Varillado (PVV):

PVV = Masa agregado grueso varillado/Volumen del recipiente

PVV: 1535.28 Kg/m³

Peso Volumetrico Agregado Grueso Sin varillar (PVS):

PVS = Masa agregado grueso sin varillar/Volumen del recipiente

PVS: 1352.01 Kg/m³

Responsable Técnico: _____

ORDENADO POR: P. VALLE- A. ACOSTA- C. SALVATIERRA
Realizado por: P. VALLE- A. ACOSTA- C. SALVATIERRA
Fecha: 05/09/2011

Ensayo 1 CANTERA SAN LUIS PIEDRA #57

PESOS VOLUMETRICOS DE AGREGADOS ASTM C-29

	Peso agregado grueso varillado	Peso agregado grueso sin varillar
Peso 1	40 lb	37.1 lb
Peso 2	40.1 lb	37.3 lb
Peso 3	40.1 lb	37.3 lb
Promedio	40.07 lb	37.2 lb

Peso recipiente:	12.3 lb	
Altura recipiente:	30 cm	
Diametro:	20 cm	
Volumen recipiente:	9424.78 cm ³	0.00942 m ³
Peso real		
Agregado grueso varillado:	27.77 lb	12.6 Kg
Agregado grueso sin varillar:	24.93 lb	11.3 Kg

Peso Volumetrico Agregado Grueso Varillado (PVV):

PVV = Masa agregado grueso varillado/Volumen del recipiente

PVV: 1339.15 Kg/m³

Peso Volumetrico Agregado Grueso Sin varillar (PVS):

PVS = Masa agregado grueso sin varillar/Volumen del recipiente

PVS: 1202.50 Kg/m³

Responsable Técnico: _____

ORDENADO POR: P. VALLE- A. ACOSTA- C. SALVATIERRA
Realizado por: P. VALLE- A. ACOSTA- C. SALVATIERRA
Fecha: 05/09/2011

Ensayo 2 CANTERA SAN LUIS PIEDRA #8

PESOS VOLUMETRICOS DE AGREGADOS ASTM C-29

	Peso agregado grueso varillado	Peso agregado grueso sin varillar
Peso 1	38.3 lb	35.3 lb
Peso 2	38.4 lb	35.4 lb
Peso 3	38.3 lb	35.3 lb
Promedio	38.3 lb	35.3 lb

Peso recipiente:	12.3 lb	
Altura recipiente:	30 cm	
Diametro:	20 cm	
Volumen recipiente:	9424.78 cm ³	0.00942 m ³
Peso real		
Agregado grueso varillado:	26.03 lb	11.8 Kg
Agregado grueso sin varillar:	23.03 lb	10.5 Kg

Peso Volumetrico Agregado Grueso Varillado (PVV):

PVV = Masa agregado grueso varillado/Volumen del recipiente

PVV: 1255.56 Kg/m³

Peso Volumetrico Agregado Grueso Sin varillar (PVS):

PVS = Masa agregado grueso sin varillar/Volumen del recipiente

PVS: 1110.87 Kg/m³

Responsable Técnico: _____



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
"Ing. Raúl Maruri Díaz"

ENSAYO PROCTOR

PROYECTO	TESIS : P. Valle- A. Acosta.- C. Salvatierra
PERFORACIÓN	
MUESTRA	Base Clase 1-A
PROFUNDIDAD	
CALCULADO POR	Paola Valle
VERIFICADO POR	Andres Acosta
ENSAYADO POR	Carlos Salvatierra

Fecha 24-ago-11

Volúmen Molde	2144 cm3
Volúmen Molde	0.002144 m3

Peso Molde	6.03 kg
Método	Modific

Peso del Pisón	44.5	N
Número de Golpes/capa	56	
Número de Capas	5	

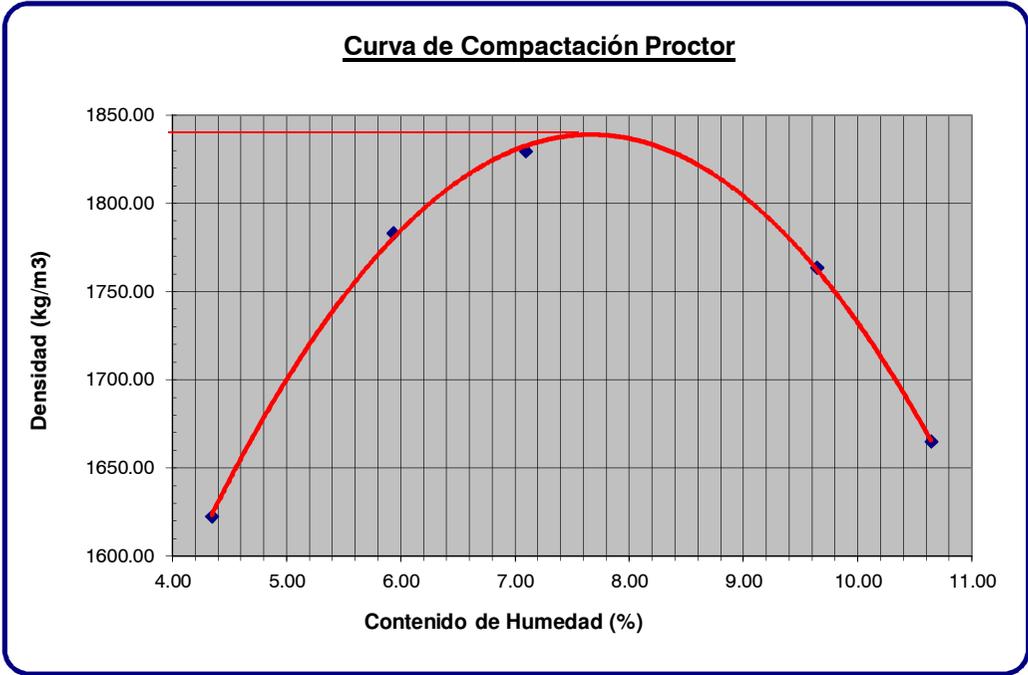
DATOS DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO							DATOS DE LA MUESTRA ENSAYADA				
Cantidad de Agua (cm3)	Recipiente+ peso húmedo (gr)	Recipiente+ peso seco (gr)	Peso Recipiente (gr)	Peso Seco (gr)	Peso de Agua (gr)	Contenido de Humedad (%)	Material Húmedo + Molde (kg)	Muestra Húmeda (kg)	Muestra Seca (kg)	Densidad Seca (kg/m3)	
1	100	342	329.8	49	280.8	12.2	4.34	9.66	3.63	3.479	1622.60
2	200	320	304.9	50.4	254.5	15.1	5.93	10.08	4.05	3.823	1783.19
3	300	274	258.8	44.5	214.3	15.2	7.09	10.231	4.201	3.923	1829.65
4	400	304	281	42.5	238.5	23	9.64	10.176	4.146	3.781	1763.69
5	500	352	323	50.5	272.5	29	10.64	9.98	3.95	3.570	1665.14



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

"Ing. Raúl Maruri Díaz"

ENSAYO PROCTOR



Humedad Optima 7.6 %



Densidad Máxima 1840.00 kg/m³



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

"Ing. Raúl Maruri Díaz"

ENSAYO PROCTOR

Ingreso de Datos

PROYECTO	TESIS:	Fecha	26-ago-11
PERFORACIÓN			
MUESTRA	Cascajo mediano		
PROFUNDIDAD			
CALCULADO POR			
VERIFICADO POR			
ENSAYADO POR			

Volúmen Molde	2124	cm ³
Volúmen Molde	0.002124	m ³

Peso Molde	6.03	kg
Método	Modific	

Peso del Pisón	44.5	▼	N
Número de Golpes/capa	56		
Número de Capas	5		

DATOS DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO							DATOS DE LA MUESTRA ENSAYADA				
Cantidad de Agua (cm ³)	Recipiente+ peso húmedo (gr)	Recipiente+ peso seco (gr)	Peso Recipiente (gr)	Peso Seco (gr)	Peso de Agua (gr)	Contenido de Humedad (%)	Material Húmedo + Molde (kg)	Muestra Húmeda (kg)	Muestra Seca (kg)	Densidad Seca (kg/m ³)	
1	100	321	299.3	48.8	250.5	21.7	8.66	9.38	3.35	3.083	1451.48
2	200	306.3	279	41.3	237.7	27.3	11.49	9.71	3.68	3.301	1554.09
3	300	309.1	274.2	44.3	229.9	34.9	15.18	9.87	3.84	3.334	1569.63
4	400	325.1	281.8	49.2	232.6	43.3	18.62	9.67	3.64	3.069	1444.79
5	500	295.6	251.5	43.1	208.4	44.1	21.16	9.3	3.27	2.699	1270.66

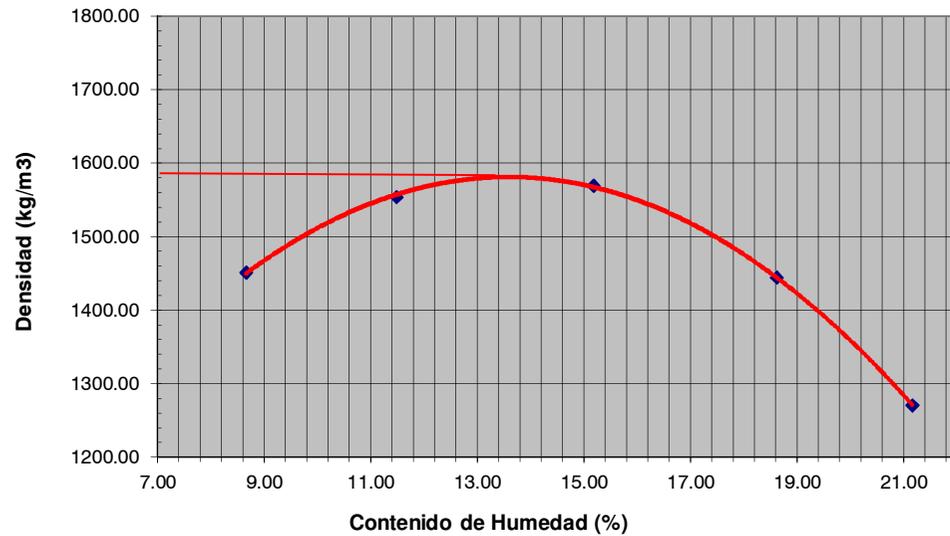


LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

"Ing. Raúl Maruri Díaz"

ENSAYO PROCTOR

Curva de Compactación Proctor



Humedad Óptima

13.2 %



Densidad Máxima

1585.00 kg/m³

Desarrollado por:



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
"Ing. Raúl Maruri Díaz"

ENSAYO PROCTOR
Ingreso de Datos

PROYECTO	TESIS:		Fecha	25-ago-11
PERFORACIÓN				
MUESTRA	sub-base 1			
PROFUNDIDAD				
CALCULADO POR	Paola Valle			
VERIFICADO POR	Andres Acosta			
ENSAYADO POR	Carlos salvatierra			

Volúmen Molde	2124	cm3
Volúmen Molde	0.002124	m3

Peso Molde	6.03	kg
Método	Modific	

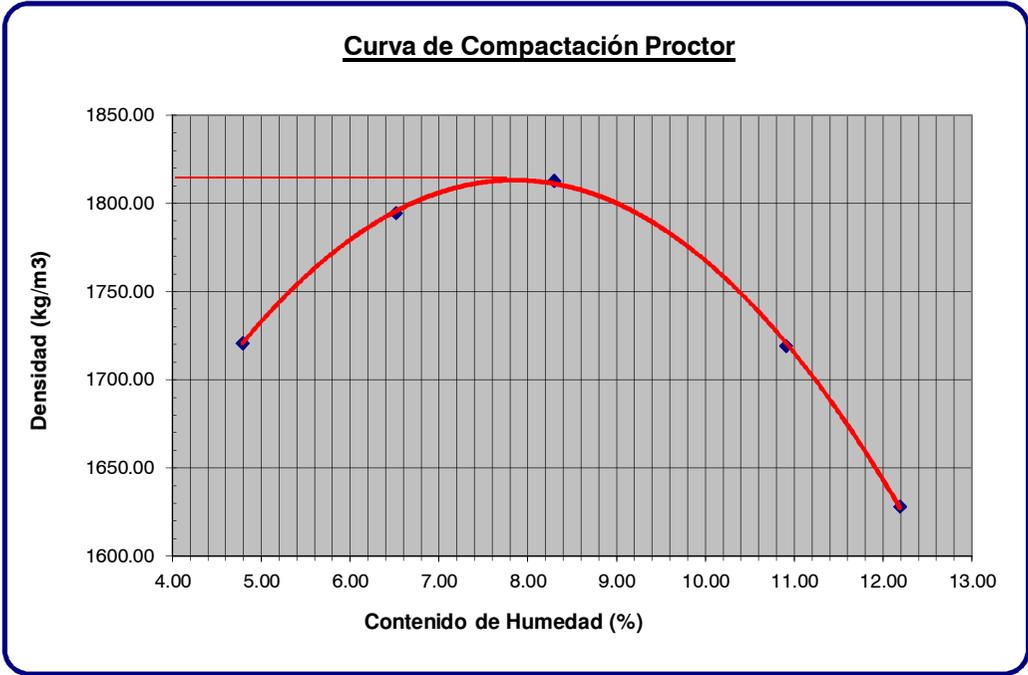
Peso del Pisón	44.5	N
Número de Golpes/capa	56	
Número de Capas	5	

DATOS DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO							DATOS DE LA MUESTRA ENSAYADA				
Cantidad de Agua (cm3)	Recipiente+ peso húmedo (gr)	Recipiente+ peso seco (gr)	Peso Recipiente (gr)	Peso Seco (gr)	Peso de Agua (gr)	Contenido de Humedad (%)	Material Húmedo + Molde (kg)	Muestra Húmeda (kg)	Muestra Seca (kg)	Densidad Seca (kg/m3)	
1	100	322.7	309.9	42.6	267.3	12.8	4.79	9.86	3.83	3.655	1720.80
2	200	322.6	306	51.2	254.8	16.6	6.51	10.09	4.06	3.812	1794.57
3	300	328.1	306.5	46.1	260.4	21.6	8.29	10.2	4.17	3.851	1812.90
4	400	322.1	295	46.5	248.5	27.1	10.91	10.08	4.05	3.652	1719.28
5	500	330.3	299.9	50.5	249.4	30.4	12.19	9.91	3.88	3.458	1628.27



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES
"Ing. Raúl Maruri Díaz"

ENSAYO PROCTOR



Humedad Optima 8.29 %
◀ ◻ ▶

Densidad Máxima 1815.00 kg/m³

Desarrollado por:

**INFORME DE ENSAYO DE
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE ROCA**

Area = 15,90 cm²

#	Cilindro Roca	cilindro (nucleo)		Carga Máx. kilos	Resistencia k/cm ²	Resistencia MPa
		altura cm	diametro cm			
1	Caliza	9	4,5	9500,00	597,48	58,77



Responsable Técnico: _____

Anexo B

ANEXO B.- Anexo Fotográfico

Ensayos Realizados en Laboratorio



Fotografía 1.- Muestra: Cascajo Mediano



Fotografía 2.- Muestra: Piedra No. 57



Fotografía 3.- Muestra: Piedra No. 8 "Chispa"



Fotografía 4.- Muestra: Piedra No. 10 "Cisco"



Fotografía 5.- Granulometría: Colocación del agregado en el tamizador.



Fotografía 6.- Granulometría: Tamices con agregados retenidos después del tamizado.



Fotografía 7.- Densidad y Absorción Agregado



Fotografía 8.- Densidad y Absorción Agregado

Ensayos Realizados en Laboratorio

grueso: 24 horas de reposo en agua.

grueso: Peso en agua.



Fotografía 9.- Densidad y Absorción Agregado fino: Molde Cónico

Fotografía 10.- Límites de Atterberg: Copa de Casa Grande



Fotografía 11.- Abrasión de los Ángeles: Esferas del ensayo.

Fotografía 12.- Abrasión de los Ángeles: Colocación de los agregados al tambor.



Fotografía 13.- Proctor Modificado: Muestras de agregados a realizar el proctor

Fotografía 14.- Proctor Modificado: Colocación de los agregados en el molde.

Ensayos Realizados en Laboratorio



Fotografía 15.- Proctor Modificado: Golpes por capa (50)



Fotografía 16.- Proctor Modificado: Muestra del material agregado compactado.



Fotografía 17.- CBR: Colocando Base.



Fotografía 18.- CBR: Golpes por capa, aumento contenido de agua.



Fotografía 19.- CBR: Nivelación con la regla.



Fotografía 20.- CBR: Calibrando el trípode dial de expansión, junto con la placa de expansión.

Ensayos Realizados en Laboratorio



Fotografía 21.- CBR: Ajustando la muestra a la prensa de anillo.



Fotografía 22.- CBR: La muestra está instalada, el anillo y su dial de deformaciones, el dial mide las deformaciones.



Fotografía 23.- Resistencia: Colocando el macizo para extraer el núcleo.



Fotografía 24.- Resistencia: Calibrando el equipo.



Fotografía 25.- Resistencia: Extrayendo el Núcleo.



Fotografía 26.- Resistencia: Extrayendo el Núcleo.

Ensayos Realizados en Laboratorio



Fotografía 27.- Resistencia: Extrayendo el Núcleo.