



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS DEL BANCO DE MATERIAL
PARA EL USO EN CARRETERAS, UBICADO EN LA CARRETERA ANTIGUA AL LAGO DE
AMATITLÁN (PARQUE DE LAS NACIONES UNIDAS) KM 23**

Elvis Rubén Pú Herrera

Asesorado por el Ing. Jorge Alberto Martínez Cruz

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS DEL BANCO DE MATERIAL
PARA EL USO EN CARRETERAS, UBICADO EN LA CARRETERA ANTIGUA AL LAGO DE
AMATITLÁN (PARQUE DE LAS NACIONES UNIDAS) KM 23**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ELVIS RUBÉN PÚ HERRERA

ASESORADO POR EL ING. JORGE ALBERTO MARTÍNEZ CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Andy Williams Alonzo Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS DEL BANCO DE MATERIAL PARA EL USO EN CARRETERAS, UBICADO EN LA CARRETERA ANTIGUA AL LAGO DE AMATITLÁN (PARQUE DE LAS NACIONES UNIDAS) KM 23

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 5 de abril de 2016.



Elvis Rubén Pú Herrera

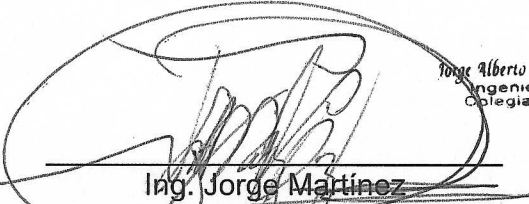
Guatemala, 25 de Enero del año 2017

Ing. Guillermo Melini
Coordinador del área del departamento de planificación.
Presente:

El motivo de la presente es para informar que como asesor de tesis del alumno Elvis Rubén Pu Herrera, Identificado con carnet: 2012-13356, estudiante de la carrera de ingeniería Civil, he supervisado la realización de su trabajo de graduación con el nombre: **“GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS DEL BANCO DE MATERIAL PARA EL USO EN CARRETERAS, UBICADO EN LA CARRETERA ANTIGUA AL LAGO DE AMATITLÁN (PARQUE NACIONES UNIDAS) KM 23”** y realizando las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento para su posterior revisión.

Agradeciendo de antemano la atención a la presente, se despide de usted.

Atentamente:


Ing. Jorge Martínez
Asesor de tesis
Jorge Alberto Martínez Cruz
Ingeniero Civil
Colegiado 9459



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
 24 de julio de 2017

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS DEL BANCO DE MATERIAL PARA EL USO EN CARRETERAS, UBICADO EN LA CARRETERA ANTIGUA AL LAGO DE AMATILÁN (PARQUE DE LAS NACIONES UNIDAS) KM 23** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Elvis Rubén Pu Herrera , quien contó con la asesoría del Ing. Jorge Alberto Martínez Cruz.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la ingeniería nacional y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA A TODOS

Guillermo Melini

Ing. civil, Guillermo Francisco Melini Salgado
 Asesor y Jefe Del Departamento de Planeamiento



**FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO
 DE
 PLANEAMIENTO
 U S A C**

/mrrm.



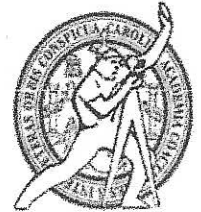
Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Jorge Alberto Martínez Cruz y Coordinador del Departamento de Planeamiento Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Elvis Rubén Pú Herrera GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS DEL BANCO DE MATERIAL PARA EL USO EN CARRETERAS, UBICADO EN LA CARRETERA ANTIGUA AL LAGO DE AMATITLÁN (PARQUE DE LAS NACIONES UNIDAS) KM 23 da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2017

/mmm.

Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS DEL BANCO DE MATERIAL PARA EL USO EN CARRETERAS, UBICADO EN LA CARRETERA ANTIGUA AL LAGO DE AMATITLAN (PARQUE DE LAS NACIONES UNIDAS) KM 23**, presentado por el estudiante universitario: **Elvis Rubén Pú Herrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Rolando
Decano



Guatemala, septiembre de 2017

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su soberana e inmerecida gracia, que me permitió completar una meta más en mi vida.
Mis padres	Marco Tulio Pú y Enma Herrera. Su cariño, amor y ejemplo siempre serán mi motivación.
Mis tíos	Que de alguna manera me apoyaron durante mi carrera universitaria.
Hermanos	Saúl, Marco Tulio, Jonatan, Mildred, Waleska, por su apoyo incondicional y continuos consejos.
Amigos	Por formar parte de mi vida en una etapa tan importante, como lo fue la formación de una carrera profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	La casa de estudios, donde adquirí importantes conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por ser la fuente del conocimiento adquirido durante los años que pasé dentro de sus aulas.
Amigos de la Facultad	Por ser mi apoyo emocional en momentos difíciles dentro de la carrera.
Mi asesor	Ingeniero Jorge Martínez, por su apoyo en mi trabajo de graduación y sabios consejos.
Hermanos	Por apoyarme moral, emocional y económicamente, durante toda mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN	1
1.1. Etimología del lugar	1
1.2. Aspectos físicos.....	1
1.2.1. Ubicación	2
1.2.2. Población	2
1.2.3. Clima	2
1.2.4. Recursos hídricos	3
1.2.5. Geología	5
1.2.6. Topografía	5
1.2.7. Fauna y flora.....	5
1.2.8. Vías de acceso	7
2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE MATERIAL.....	9
2.1. Localización del banco de préstamo	9
2.2. Descripción del material	13
2.3. Calidad del material.....	16
2.3.1. Estado de los suelos.....	17
2.3.1.1. Estado natural.....	17

3.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	19
3.1.	Muestreo del banco de préstamo.....	19
3.1.1.	Obtención de muestras	20
3.1.1.1.	Muestras alteradas.....	22
3.2.	Bitácora para la identificación de las muestras	25
3.2.1.	Ejemplo de bitácora.....	26
3.3.	Ensayos de laboratorio.....	27
3.3.1.	Proctor.....	28
3.3.2.	Ensayo de relación de soporte de California (CBR)	35
3.3.3.	Ensayo de granulometría	39
3.3.4.	Ensayo de abrasión.....	44
4.	MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DEL MATERIAL.....	47
4.1.	Artesanal.....	48
4.2.	Uso de maquinaria	51
4.2.1.	Tractor.....	51
4.2.2.	Excavadoras.....	53
4.2.3.	Retroexcavadora	56
4.3.	Explosivos	57
5.	ACARREO DEL MATERIAL Y MEDIDAS DE SEGURIDAD.....	63
5.1.	Acarreo libre y acarreo	63
5.2.	Maquinaria por utilizar	64
5.2.1.	Camiones de volteo.....	65
5.2.2.	Volquetas	67
5.2.3.	Camiones con palangana tipo granel	69
5.3.	Medidas de seguridad	70
5.3.1.	Organización de la obra	71

5.3.2.	Equipo de protección	73
5.3.3.	Seguridad en las máquinas	74
5.3.4.	Dispositivos de seguridad.....	77
CONCLUSIONES		81
RECOMENDACIONES.....		83
BIBLIOGRAFÍA.....		85
ANEXOS.....		87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Lago de Amatitlán, uno de los lugares más representativos del municipio y del país.....	3
2.	Iguanas, animales muy comunes en el municipio de Amatitlán	6
3.	Localización de banco de material rocoso (vista aérea).....	11
4.	Fotografías del acceso para llegar al banco de material rocoso	12
5.	Banco de material de roca volcánica.....	14
6.	Vista de la montaña completa del banco de material rocoso	15
7.	Grado de fracturación natural del banco	16
8.	Banco de material rocoso en estado natural	18
9.	Obtención de una muestra inalterada en un banco de préstamo ...	21
10.	Muestreo utilizando pala excavadora	25
11.	Boleta modelo por utilizar de manera paralela a la bitácora.....	27
12.	Ensayo Proctor modificado	33
13.	Curva de compactación.....	35
14.	Ensayo CBR (saturación de las muestras).....	38
15.	Análisis granulométrico mediante el método de tamizado	41
16.	Curva granulométrica	42
17.	Curvas granulométricas de distintos tipos de suelos	43
18.	Ensayo de abrasión, máquina de los Ángeles	46
19.	Métodos manuales para la explotación y movimiento de tierras en un banco.....	49
20.	Trabajo de movimiento de tierras de manera artesanal	50
21.	Tractor tipo <i>bulldozer</i>	52

22.	Excavadora.....	54
23.	Retroexcavadora.....	56
24.	Perforación en material rocoso, mediante el uso de <i>track-drill</i> para el uso de explosivos	60
25.	Camión de volteo, <i>dumper</i>	66
26.	<i>Dumper</i> extravial articulado	67
27.	Camión de palangana.....	68
28.	Camión tipo a granel.....	69
29.	Riegos en obra, al no contar con medidas de seguridad	71
30.	Atropello en obra por mala organización	72
31.	Equipo de seguridad personal	74
32.	Vuelco de maquinaria en una zanja.....	76
33.	Caída de 17 metros de altura	76
34.	Señalización en obras civiles públicas.....	77
35.	Señalización exterior de la obra.....	80

TABLAS

I.	Ensayo Proctor	30
II.	Rendimientos <i>bulldozer</i> de orugas.....	53
III.	Rendimientos de excavadoras hidráulicas.....	55
IV.	Consumo promedio de combustible de una retroexcavadora	57
V.	Explosivos utilizados en la construcción	61
VI.	Capacidad de camiones de volteo tipo a granel	69
VII.	Dimensiones de camiones de volteo tipo a granel.....	70
VIII.	Descripción de dispositivos de seguridad	78

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
°c	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
g	Gramo
kg	Kilogramo
lb	Libra
L	Litro
m	Metro
mm	Milímetro
min	Minutos
%	Porcentaje
pulg	Pulgadas

GLOSARIO

Bancos de material	Yacimientos de sustancias minerales y rocas no metálicas, compuesto de material consolidado y no consolidado, dispuesto para obras de infraestructura, que no requieran más operaciones que: arranque, fragmentación y clasificación.
Contratista	Persona individual o jurídica, con quien se suscribe el contrato para la ejecución de un proyecto.
Conversión	Es la transformación del valor numérico de una magnitud física, expresado en una cierta unidad de medida, en otro valor numérico equivalente y expresado en otra unidad de medida de la misma naturaleza: 1 cm = 2,54 pulg, 1 kg = 2,204 lb.
Compactación	La acción de aumentar la densidad de un material que compone un terreno.
Excavación	Es el proceso de excavar y retirar volúmenes de tierra u otros materiales, para el aprovechamiento de ese material excavado.
Incerteza	Tener la presencia de un margen de error, el cual genera situaciones de duda.

<i>in situ</i>	Método o técnica que se utiliza en el mismo lugar donde se realiza la obra.
Magmas	Masa de rocas fundidas de la zona más profunda de la corteza terrestre.
Nivel freático	Nivel superior de una capa freática o de un acuífero.
Suelos cohesivos	Partículas muy pequeñas, donde predominan los efectos electroquímicos superficiales. Las partículas tienden a juntarse debido a la interacción intermolecular.
Talud	Superficie inclinada con respecto a la horizontal, adoptando esa posición de forma temporal o permanente.
Terraplén	Tierra con la que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.

RESUMEN

En el movimiento de tierras de un banco de préstamo de material, son varios los factores que se deben considerar antes de explotarlo. Es primordial tomar en cuenta los aspectos que influyen en la localización y las vías de acceso para llegar al lugar, así como la zona geológica en la que se encuentra. Localizado el banco de material, es necesario verificar si cumple con las propiedades físicas y mecánicas para el uso en carreteras o algún otro uso que se pretenda dar al material. Para ello es necesario realizar desde una simple inspección visual, hasta muestreos por el método más adecuado para, posteriormente, realizar pruebas de laboratorio.

Si el material cumple con la calidad que se requiere para la construcción de carreteras, el siguiente proceso que se debe analizar antes de llevarlo a cabo, es la explotación de dicho material. Existen distintos métodos de obtención del material de un banco y estarán en función del tipo de suelo. En el banco de material que aquí se analiza, es un material rocoso de origen volcánico, con un alto grado de fragmentación natural, que permite que, incluso, se utilicen los tres métodos más comunes en la explotación: método artesanal, uso de maquinaria y uso de explosivos.

Luego, es necesario contar con maquinaria adecuada para realizar el traslado del suelo obtenido del banco de préstamo de material hasta el lugar donde se requiere. Para ello es necesario también contar con medidas de seguridad para evitar pérdidas humanas y materiales.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una guía práctica relacionada con los distintos factores por considerar al momento de explotar un banco de préstamo compuesto de material rocoso.

Específicos

1. Determinar la ubicación y localización del banco de préstamo de material en el municipio de Amatitlán.
2. Establecer los distintos métodos existentes y comúnmente usados al momento de extraer material en bancos de préstamo conformados por roca.
3. Identificar los principales ensayos por realizar a un banco de préstamo de material rocoso para su uso en la construcción de carreteras.
4. Definir las distintas medidas de seguridad al momento de realizar un movimiento de tierras de un banco de préstamo de material.

INTRODUCCIÓN

En toda construcción de carreteras surge varias veces la necesidad de obtener material de calidad de un banco de préstamo, para sustituirlo por el material existente en el lugar, que muchas veces no es el adecuado para los propósitos y requisitos que se requieren.

La explotación de un banco de material requiere de varios aspectos que se deben considerar. La calidad del material, es un factor importante, mediante ensayos se establece si el material es el adecuado para la obra que se esté realizando, además qué metodología se utilizará para realizar la extracción del material. Este aspecto estará en función del grado de fracturación de la roca en el banco de material, si se usará explosivos, maquinaria o si es posible extraer el material de manera artesanal.

Otro factor importante es el transporte del material, ya que la distancia del banco de material al lugar de la obra, muchas veces es decisivo para saber si es factible o no la extracción.

En Guatemala existe una gran variedad de bancos de préstamo de material, con distintas características y propiedades físicas, debido a la diversidad de climas dentro del país.

1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN

1.1. Etimología del lugar

Existe una gran variedad de interpretaciones etimológicas, sin embargo todas ellas coinciden en la raíz generadora amatl, un vocablo que según J. Guillermo Salazar, es una voz náhuatl que significa “papel”.

Según las opiniones de Manuel García Elgueta, los habitantes precolombinos del área, poqomames y pipiles, usaban la corteza y fibras de los árboles de amate para escribir sus jeroglíficos y hacer sus pinturas, con lo cual podría interpretarse a Amatitlán como “ciudad de las cartas, de las letras o del correo”.

Es importante mencionar el hecho de que en muchos documentos aparece Amatitlán, con el nombre de “Chichoy”, voz cakchiquel, cuyo significado es “en el lugar de la laguna”.

1.2. Aspectos físicos

A continuación se describen los aspectos físicos más importantes del municipio de Amatitlán.

1.2.1. Ubicación

Pertenece a los 17 municipios del departamento de Guatemala, está localizado al sur de dicho departamento, ubicado a 28 kilómetros de la ciudad capital (distancia medida del kilómetro cero al parque central del municipio de Amatitlán), cuenta con un área superficial de 204 kilómetros cuadrados.

Las coordenadas del municipio son las siguientes:

Latitud 14:28:42 Norte.
Longitud 90:37:08 Oeste.

1.2.2. Población

El cronista Oscar Fajardo Gil realizó un estudio 2010 que estima una población total de 121 051 habitantes, en el área urbana 100 456 y 20 595 en el área rural.

1.2.3. Clima

Se encuentra localizado en la zona de bosque subtropical templado húmedo (Holdridge), que cambia conforme a las estaciones de invierno y verano, e influye en la dirección e intensidad de las corrientes cólicas. La época que presenta más lluvia es de junio a septiembre; la precipitación pluvial se encuentra dentro del rango de 650 mm a 1 500 mm al año.

Los vientos que predominan durante el día son: nor-noroeste, y en las madrugadas, el viento sur. El clima es seco y caluroso en los meses de verano

y húmedo durante los meses de invierno, con unas temperaturas promedio de 25 grados a 30 grados centígrados.

1.2.4. Recursos hídricos

Cuenta con varios cuerpos de agua, entre ellos el lago de Amatitlán, la laguna de Calderas, los ríos Michatoya y Mico.

El lago de Amatitlán se encuentra localizado a 25 kilómetros de la ciudad capital, está rodeado de los municipios de Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa y Amatitlán. A este lago fluye el río de Villalobos. El lago es uno de los lugares más pintorescos del país. Cuenta con un volumen de, aproximadamente, 286 millones de metros cúbicos de agua, con una profundidad media de 18 metros y una extensión de 15,2 kilómetros cuadrados.¹

Figura 1. **Lago de Amatitlán, uno de los lugares más representativos del municipio y del país**



Fuente: <http://viajesdeelias.blogspot.com/p/lago-de-amatitlan.html>. Consulta: 11 de abril de 2016.

¹ FAJARDO GIL, Oscar. *Tierra de Amatlés*. p 59.

El lago de Amatitlán, es uno de los cuerpos de agua que ha sido más contaminando en el país.

Se calcula que EMPAGUA extrae de la cuenca del lago de Amatitlán, el 35 % de agua que abastece a la población de la ciudad capital.²

La laguna de Calderas está situada en las faldas del volcán de Pacaya, a 1 778 metros sobre el nivel del mar, con una superficie de 0,35 kilómetros cuadrados. Esta laguna cuenta con una peculiaridad en cuanto al agua cristalina que contiene, en la cual existe una visibilidad de hasta 10 metros de profundidad. El punto de mayor profundidad de la laguna es de 58 metros.

Al igual que el lago de Amatitlán, la laguna de Calderas es contaminada constantemente y las fuentes principales de contaminación son; aguas negras, desechos de poblaciones cercanas (incluyendo excretas humanas, de ganado vacuno y equino), como también de jabón que se utiliza para el lavado de ropa.

El río Michatoya nace en el lago de Amatitlán y recorre de norte a sur, los municipios de Amatitlán y San Vicente de Pacaya, hasta llegar al departamento de Escuintla donde recibe el nombre de María Linda.

El río Mico, en realidad es solo una corriente que se origina del área montañosa occidental del municipio, aldea Agua de las Minas, colindante con el departamento de Sacatepéquez. En época de verano, es casi despreciable a tal modo que en oportunidades desaparece o se seca totalmente. Pero durante la época de invierno, se convierte en una corriente de agua de regulares dimensiones.

² FAJARDO GIL, Oscar. *Tierra de Amatlés*. p 63.

1.2.5. Geología

Es principalmente de terreno montañoso. Catorce aldeas conforman el municipio, de las cuales doce se encuentran ubicadas sobre los cerros que dan al margen lado oriente del lago de Amatitlán y el río Michatoya, y dos más sobre el margen occidental.

1.2.6. Topografía

Cuenta con una topografía irregular, conformada en un 65 % por quebradas y con pequeños valles, el mayor es ocupado por la cabecera municipal. Las alturas de las distintas localidades varían entre los 1 150 msnm y 2 565 msnm.

Gran parte del municipio es terreno montañoso, y únicamente la cabecera municipal y el caserío El Rincón ocupan terreno plano.

Las mayores pendientes dentro del municipio, están entre el norte y sureste del lago y son mayores a 32 %.

1.2.7. Fauna y flora

Existe una gran variedad de animales, entre los más destacados de la familia de mamíferos están: cotuzas, tacuazines, mapaches, liebres y ardillas, entre otros. En cuanto a las aves, naturalmente proliferaron en el lago de Amatitlán varias especies como: patos silvestres (*Anna carina*), gansos (*Anser spp*), pijíjes (*Dendrocygna bicolor*) y gallaretas; los cuales aun pueden apreciarse, aunque en menor cantidad, principalmente por el sector del relleno, El Zapote y los cañaverales de Villa Canales.³

³ FAJARDO GIL, Oscar. *Tierra de Amatles*. p 27.

Los reptiles que se ven con mayor abundancia en el municipio de Amatitlán son: las lagartijas, garrobos, cutetes, iguanas verdes, iguanas negras, tortuga pinta de río, tortuga verde o cahuama y serpientes.

Figura 2. **Iguanas, animales muy comunes en el municipio de Amatitlán**



Fuente: FAJARDO GIL, Óscar. *Tierra de Amatlés*. p 27.

Las especies de peces más comunes que se pueden encontrar en el lago de Amatitlán son: pepescas, mojarra, sirica, tilapia, pupos o butes.

En la cuenca y el lago de Amatitlán, se presentan dos zonas de vida, bosque húmedo subtropical templado: con vegetación está el pino colorado, lengua de vaca, roble y nance el otro es el bosque húmedo montano bajo subtropical: pino triste, pino ocore, aliso, ciprés, duraznillo, madrón de tierra fría.

Además, sobre la vegetación acuática, se encuentran géneros predominantes como: eichornia y egeria. En el municipio de Amatitlán se encuentran las especies forestales propias de la región central de Guatemala, como las ceibas.

1.2.8. Vías de acceso

Para ingresar al municipio de Amatitlán, se accede por la carretera CA-9 (ruta departamental GUA-47) y mediante la circunvalación al lago (ruta departamental GUA-1), con vías asfaltadas y con dos puentes, en el acceso lado norte a sur y viceversa. Se cuenta también con un puente La Gloria que comunica la zona urbana y la carretera que circunvala con el lago, (ruta departamental GUA-1).

Antiguamente, el municipio contaba con un ingreso, que era sobre El Parque Naciones Unidas, este ingreso se utilizaba cuando aun no existía la autopista. Las principales vías de acceso a la zona rural, en su gran mayoría, son de terracería, aunque algunas ya cuentan con área pavimentada.

2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE MATERIAL

2.1. Localización del banco de préstamo

Dentro de esta guía práctica, para la localización del banco de material para su posterior explotación, se requiere de los siguientes pasos que se deben considerar:

- Consulta de un mapa geológico actualizado y existente, que brinde información de la zona donde se realice la construcción que requiere de la explotación de un material en específico.
- Realizar una caracterización del suelo que se va a explotar, para determinar si es útil para los propósitos de la obra que se esté realizando: construcción de carreteras, para el uso de agregados en concreto mezclado, entre otros.
- Analizar y determinar que exista un volumen disponible que cubra la demanda y que tenga facilidades legales para su explotación.
- Establecer cuáles son los procedimientos que se deben seguir, para la explotación del material, que resulte más eficiente y menos costosa.
- Determinar la distancia entre el banco de material y el lugar donde se realice la construcción o donde se requiere el material, ya que se busca que existan distancias que resulten económicas.

La distancia de un punto a otro, no es el único factor por considerar, ya que también se debe tomar en cuenta el estado de la carretera para llegar hasta el banco. Ya que hay casos en los cuales se cuenta con dos opciones de bancos de material, un banco en un punto A, que está más cercano que un banco en un punto B, pero si el acceso al banco A es muy difícil o imposible, entonces, se toma la decisión por el banco B, a pesar de estar más distante del lugar donde se realiza la obra civil.

El objetivo principal para la localización de un banco de material, es obtener un material de calidad y que exista en el lugar la cantidad suficiente que requiera la demanda.

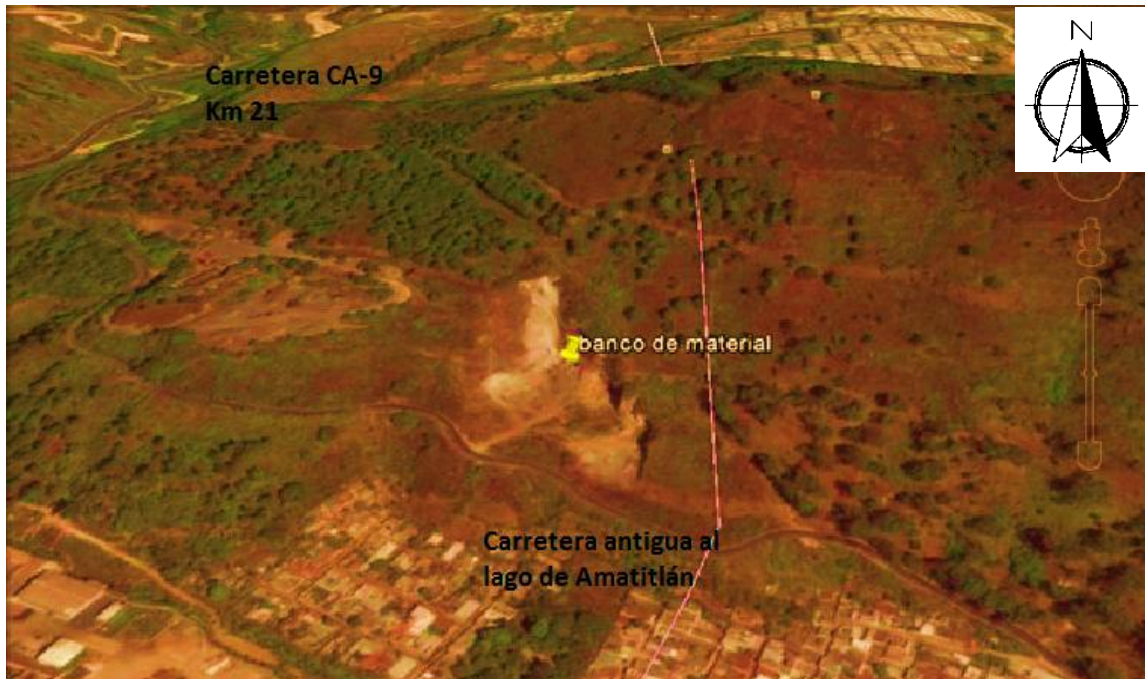
Para la localización y ubicación del banco de material ubicado en el kilómetro 23 de la carretera antigua al municipio de Amatitlán (ruta departamental GUA-47), se contó con el respaldo del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), el banco ya ha sido con anterioridad explotado parcialmente por empresas que pertenecen al Estado.

A continuación, se muestra la localización del área donde el banco de material se encuentra ubicado; está compuesto por roca de origen volcánico, ubicado en la carretera antigua al lago de Amatitlán kilómetro 23, que posee las siguientes coordenadas:

Latitud: 14°29'43.92"N.

Longitud: 90°37'15.36"O.

Figura 3. Localización de banco de material rocoso (vista aérea)



Fuente: Google Earth. Consulta: 13 de abril de 2016.

Algunos de los posibles efectos que se pueden producir en la cuenca, al explotar el banco de material localizado anteriormente, son:

- Modificación permanente del relieve.
- Erosión del suelo.
- Eliminación de árboles y demás vegetación existente en el lugar.
- Deslizamientos o derrumbes (esto se produce a menudo por cortes mal ejecutados).

Es importante determinar cuáles son los impactos ambientales producidos dentro de una cuenca, que resultan de la explotación de un banco de material, para implementar medidas de mitigación.

El banco de material es propiedad del Estado, actualmente la Dirección General de Caminos está haciendo uso de dicho material.

El banco compuesto de material rocoso, está cercano principalmente a tres volcanes: Pacaya, Agua y Fuego. Y se encuentra ubicado a una distancia de 12,69 kilómetros del volcán de Pacaya, a 13,47 kilómetros del volcán de Agua y 28,09 kilómetros del volcán de Fuego, todos medidos en línea recta.

Para llegar al lugar, se debe tomar un cruce de lado derecho de la carretera CA-9 de sur a norte, kilómetro 21, hacia el parque Naciones Unidas, para luego tomar la carretera antigua hacia el lago de Amatitlán. Esta carretera actualmente se encuentra en mal estado, con una cantidad considerable de baches y cuenta con solamente dos carriles.

Figura 4. **Fotografías del acceso para llegar al banco de material rocoso**



Fuente: elaboración propia. Amatitlán, Guatemala.

2.2. Descripción del material

Los pasos por seguir para describir un material en un banco, son los siguientes:

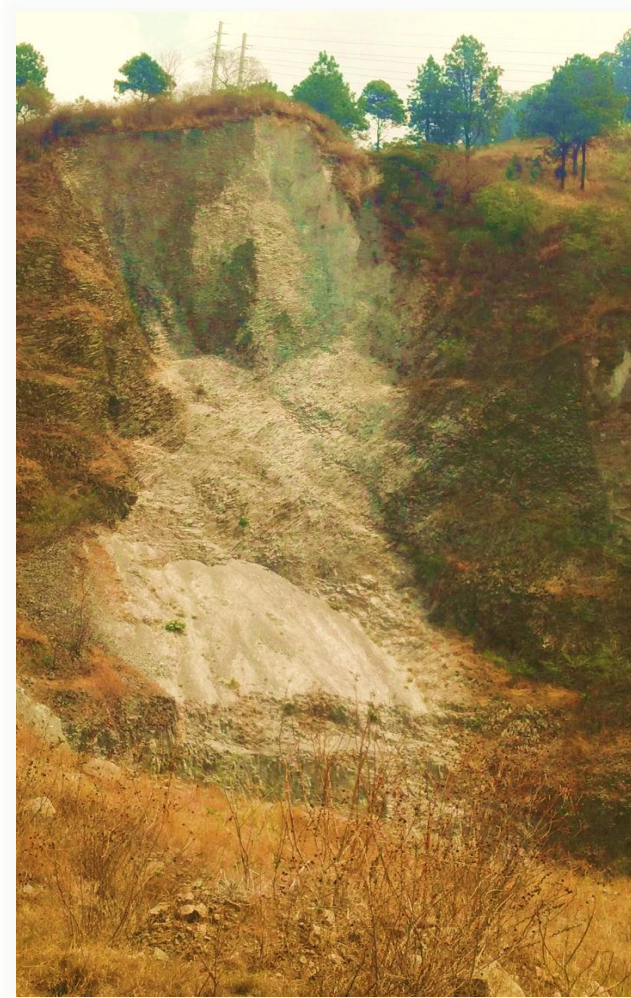
- Inspección visual, que se lleva a cabo por el ingeniero a cargo del proyecto (explotación de un banco) y lo realiza al llegar al lugar donde se ubica el material, para dar un criterio previo.
- Consultar con un experto geólogo, para obtener información acerca de las características del material existente en la zona, donde se ubica el banco.
- Consultar si existe información de pruebas de laboratorio que se hayan realizado con anterioridad, en el caso de que no, se deben realizar pruebas de laboratorio, las cuales se detallan en el capítulo 3.

La roca que se encuentra en este banco de material, es roca volcánica (ígneas extrusivas), su composición consiste en fragmentos líticos y piroclásticos (arena y ceniza volcánica).⁴

La roca ígnea extrusiva se origina cuando los magmas fluyen hacia la superficie terrestre de la tierra y fluye o hace erupción sobre la superficie terrestre en forma de lava; y luego se enfría formando así las rocas.

⁴ Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM).

Figura 5. **Banco de material de roca volcánica**



Fuente: elaboración propia. Amatitlán, Guatemala.

Alrededor del banco de material, hay mucha vegetación y suelo que a simple vista parece ser suelo de clase cohesiva.

Figura 6. **Vista de la montaña completa del banco de material rocoso**



Fuente: elaboración propia. Amatitlán, Guatemala.

Este banco de roca volcánica, tiene una particularidad y es que cuenta con un alto grado de fragmentación natural, que hace que el material pueda ser explotado de manera artesanal, con maquinaria e incluso si es por cuestión de tiempo, utilizando explosivos.

Figura 7. Grado de fracturación natural del banco



Fuente: elaboración propia. Amatitlán, Guatemala.

2.3. Calidad del material

Determinar la calidad del material a simple vista, no es posible, para lo cual se desarrollan algunos ensayos de laboratorio para obtener las propiedades físicas y mecánicas del suelo. En base a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, proctor, CBR, ensayo de granulometría y ensayo de abrasión se determina si el material perteneciente al banco, es el adecuado para el uso en la construcción de carreteras, esta información se ampliará en el capítulo tres.

2.3.1. Estado de los suelos

Al momento de manipular un banco, es necesario tomar en cuenta los distintos estados en que se encontrara el suelo, y eso será dependiente del tipo de material. Ya que si es arenoso o cohesivo puede presentar tres estados: estado natural, estado esponjado y el estado compactado.

En el caso del banco que se ha seleccionado para realizar esta guía metodológica, ha sido por ser rocoso (estado natural) y al ser manipulado no sufre alteraciones como los suelos cohesivos que se expanden.

2.3.1.1. Estado natural

El estado natural del material es el estado en el que se encuentra el suelo, en su condición original o primitiva, previo a ser disgregado, removido o excavado. El volumen en estado natural, es el que se utiliza para cuantificar y pagar el movimiento de tierra que se realice, ya que a través de la determinación de volumen en secciones transversales y longitudinales, es que se puede determinar la cantidad de material que será removido. Esto se expresa en metros cúbicos.

Figura 8. **Banco de material rocoso en estado natural**



Fuente: elaboración propia. Amatitlán, Guatemala.

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1. Muestreo del banco de préstamo

Para determinar la calidad del material de un banco y conocer si es funcional para el uso en la construcción de carreteras, es necesario, como se mencionó anteriormente, realizar pruebas de laboratorio, para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo que se analice. En este caso, material rocoso de origen volcánico perteneciente al banco de préstamo, ubicado en la carretera antigua al lago de Amatitlán kilómetro 23 (ruta departamental GUA-47).

Para ello, es necesario realizar muestreos en el lugar. Existen varias técnicas que se utilizan en campo, con distintos procedimientos que se deben seguir, en distintas circunstancias para la extracción de cualquiera que sea el tipo de la muestra, la técnica que se utilice será dependiendo del fin que se persigue y del tipo de suelo que se explotará. Entre las técnicas más comunes están: las de pozo a cielo abierto y la de sondeos que se lleva a cabo con palas excavadoras.

Los sondeos en bancos de material se realizan para obtener muestras del suelo *in situ* y luego someterlo a pruebas de laboratorio, la cantidad de sondeos, se decidirá por el ingeniero que esté a cargo, ya que dependerá mucho de la homogeneidad del material en el lugar. Algunas instituciones fijan un determinado número de sondeos por cada unidad de metros cúbicos de material por explotar, en lo cual no se toma en cuenta la homogeneidad del material, tampoco ninguna característica geológica particular.

Siempre es preferible usar un criterio que sea conveniente en cada caso, de acuerdo con la característica del lugar en el que se esté realizando la explotación de un material, tomando en consideración, las condiciones geológicas locales.

3.1.1. Obtención de muestras

Existen dos maneras de obtener muestras en un banco de material, muestras alteradas y muestras no alteradas, y estas están en función del uso que se le dará al material que se pretenda obtener de un banco.

Las muestras alteradas o como también se le conocen, muestras “perturbadas”, se realizan cuando el material por explotar, será utilizado para la construcción de terraplenes o en otras obras, siempre que el material se utilice como material de construcción. El propósito de este tipo de sondeos, es obtener muestras para realizar pruebas de laboratorio, en lo cual no es necesario mantener el suelo en su estado y condición natural.

Las muestras conocidas como inalteradas o “no perturbadas”, se realizan cuando es necesario conocer las condiciones de estabilidad del terreno *in situ*, por ejemplo: para el estudio de taludes o cuando se pretenda determinar la capacidad de soporte de un suelo que se utilizará de fundación para un viaducto, puentes o edificios, entre otros. Para este tipo de muestras se debe conservar las condiciones del suelo en su estado natural, por lo que es necesario, mantener cuidados especiales para la obtención, empaque y transporte de las muestras, con el propósito de no alterarlas.

Las muestras obtenidas, deben ser representativas, esto quiere decir, que deben ser una fiel representación del suelo existente en el lugar, que se lleve a cabo el sondeo. Al momento de asegurarse que la muestra obtenida en el lugar es una fiel representación, da mayor confianza en los resultados de los ensayos de laboratorio, ya que si no se cumple con esta condición, se obtienen datos con información confusa y que puede traer consecuencias perjudiciales para el propósito que se persiga.

A menudo, es conveniente reunir muestras de 40 Kg a 50 Kg de material, en caso de que dicho material, tenga un contenido en porcentaje mayor al 40 % de grava. En general, el laboratorio será el encargado de indicar la cantidad necesaria de material que se utilizará.

Figura 9. **Obtención de una muestra inalterada en un banco de préstamo**



Fuente: SARAVIA, Roger. *Métodos de muestreo y pruebas de laboratorio*. p 16.

Para este caso en específico, en donde el material se utilizará para la construcción de carreteras, se debe llevar a cabo la obtención de muestras tipo alterada. A continuación se detalla en qué consiste.

3.1.1.1. Muestras alteradas

Existen principalmente dos maneras de obtención de las muestras alteradas:

- Pozos a cielo abierto
- Sondeo con pala excavadora

A continuación se muestran los diferentes procedimientos para cada tipo de obtención de muestras alteradas:

Si es mediante la técnica de pozos a cielo abierto, se utiliza la siguiente herramienta:

- Piocha
- Pala
- Machete
- Lazos
- Bote de lámina de 18 L
- Costales de polietileno o polipropileno
- Lona con dimensiones de 1,50 m x 1,50 m aproximadamente
- Etiquetas

El procedimiento que se lleva a cabo para la extracción del material es el siguiente:

Se inicia con una excavación de un pozo con dimensiones de 1,00 m x 1,50 m o 2,00 m, con una profundidad de aproximadamente de 2,00 m o bien hasta encontrar material que no sea posible seguir excavando con piocha y pala o se encuentre con el nivel freático.

En solamente una de las paredes del pozo se abre una ranura vertical de sección uniforme, de 20 cm de ancho por 15 cm de profundidad. El material que es excave se recibe totalmente (si el muestreo es íntegro) en un bote de lámina. En caso contrario, debe reunirse por separado el material obtenido de cada una de las capas en que el material cambie.

Si el material varía su uniformidad por capas, la muestra de cada capa se debe depositar en un cajón que esté protegido en su interior, con un forro de papel o un costal de polietileno o polipropileno para así evitar pérdidas de material fino. El depósito de material se debe identificar con etiquetas por dentro y por fuera, donde contenga la siguiente información: banco de extracción, pozo y profundidad.

Para la obtención de muestras alteradas, mediante la técnica de sondeo con pala excavadora se utiliza el siguiente equipo:

- Pala excavadora
- Pala de mano
- Lona o lamina lisa de 1,50 m x 1,50 m
- Costales de polietileno o polipropileno
- Etiquetas

El procedimiento que se lleva a cabo para la extracción del material es el siguiente:

La pala excavadora se utiliza para obtener muestras por capas o también para obtener todo el espesor del material que se va a extraer. Se debe introducir la pala excavadora con un movimiento rotacional, una vez llena, se saca y el material se deposita sobre una superficie despejada y limpia (lámina lisa o lona).

Este procedimiento se debe repetir hasta que llega a la profundidad necesaria. El material obtenido de esta manera, se va almacenando en pequeñas filas horizontales.

La medición de las profundidades y espesores de las distintas capas de extracción, se pueden realizar con la misma pala excavadora. En caso de que el material sea íntegro u homogéneo, se mezcla el material de todas las capas extraídas y se deposita en un solo envase debidamente identificado.

Cuando el material no es íntegro, el muestreo es por capas, el material extraído representativo es por capa y debe depositarse individualmente en un envase con las respectivas etiquetas que lo identifiquen.

Figura 10. **Muestreo utilizando pala excavadora**



Fuente: SARAVIDA, Roger. *Métodos de muestreo y pruebas de laboratorio*. p 18.

3.2. Bitácora para la identificación de las muestras

En la bitácora es donde se realizan todos los apuntes que se refieran a la información técnica, son las anotaciones que se deben realizar al momento de sacar los muestreos en campo, en un banco de material.

La información básica que debe llevar una bitácora es la siguiente:

- Tipo de material existente en el banco analizado
- Ubicación geográfica
- Técnicas de muestreo realizadas

3.2.1. Ejemplo de bitácora

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo se debe realizar una bitácora en campo al momento de realizar los muestreos:

Fecha: 30 de abril de 2016, hora: 10:00 a.m.

En este día se efectuó una visita a un banco de material, ubicado en el kilómetro 23 carretera antigua al lago de Amatitlán (parque Naciones Unidas), perteneciente al municipio de Amatitlán, del departamento de Guatemala. Al realizarse la inspección visual se observó que el banco de material, muestra que ya ha sido excavado con anterioridad y además cuenta con un grado de fracturación natural. Se encuentra ubicado en una montaña con mucha vegetación, y tiene espacio suficiente para ingresar maquinaria al lugar sin necesidad de obstruir la carretera principal.

A simple vista se puede observar que el material existente en el banco, es material rocoso, en fracciones de roca de distintos diámetros. Luego se comenzó a realizar las extracciones de muestras, para el posterior análisis de laboratorio. Se extrajeron cuatro muestras, las dos primeras fueron extraídas y tomadas del corte existente, con el uso de piochas y palas, y las dos restantes muestras fueron extraídas mediante la técnica de pozo abierto, del otro extremo distinto, donde se extrajo las primeras dos muestras.

Se hizo un pozo de 1,20 metros de diámetro x 1,20 metros de profundidad. El peso total extraído fue de 179,8 kilogramos. Se considera que el volumen existente en el banco de material analizado, es suficiente para realizar un proyecto de movimiento de tierras en el lugar y esto debido a que es explotable

y analizable. A este banco se le ha nombrado: “banco de material rocoso carretera antigua al lago de Amatitlán”.

A continuación se muestra una boleta que se puede utilizar al momento de realizar la bitácora:

Figura 11. **Boleta modelo por utilizar de manera paralela a la bitácora**

Nombre de la Empresa privada o Institucion Publica, interesada en analizar un banco de material				
Fecha		Hora		
<i>Datos del banco de material</i>				
Localidad más cercana		Municipio	Nombre del banco	
Ubicación	Departamento		Material existente en el lugar	
Muestra no. 1				
Volumen Extraído	Peso (kg)		Profundidad extraída	
Observaciones:				
Muestra no. 2				
Volumen Extraído	Peso (kg)		Profundidad extraída	
observaciones:				
Muestra no. 3				
Volumen Extraído	Peso (kg)		Profundidad extraída	
observaciones:				
Muestra no. 4				
Volumen Extraído	Peso (kg)		Profundidad extraída	
observaciones:				

Fuente: elaboración propia.

3.3. Ensayos de laboratorio

Para determinar la calidad del material ubicado en un banco que se pretende explotar, en este caso el banco rocoso (cuya ubicación se determinó en el capítulo 2), se deben realizar los muestreos según el caso (sección 3.1.1), para luego llevarlos a ensayo en laboratorios y así determinar la calidad del material existente en el lugar.

Entre los ensayos más comunes que se realizan a un material rocoso para su uso en carreteras, están los de: relación de soporte de California (CBR), proctor, granulometría y abrasión. A continuación se describirá cada uno de los ensayos:

3.3.1. Proctor

Para realizar la medición del grado de compactación de un material o un relleno, primero se debe establecer la densidad seca de dicho material. Durante la obtención de la densidad seca del material, se ha de tener en consideración los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende de la humedad contenida en el material.

El control de la cantidad de agua en el material es un factor muy importante para obtener una buena compactación, ya que si es muy poca la cantidad de agua, no habrá lubricación y no se podrá minimizar la fricción existente entre las partículas. En contraste, si la cantidad de agua es en exceso, las partículas serán dispersadas por el agua. Lo anterior, demuestra la importancia de obtener la cantidad de agua en la cual se alcance una buena lubricación, que permita alcanzar la mayor densidad posible, densidad que se le llama “densidad máxima o peso unitario máximo”. A la cantidad de agua necesaria para alcanzar dicha densidad, se le conoce como “humedad óptima”.

Entonces, se puede decir, que la obtención de la densidad seca de un material, realizado por un proceso de compactación, está en función del porcentaje de humedad contenido en el material y de la intensidad de la fuerza de compactación aplicada. La compactación de un suelo es medible y verificable mediante la densidad seca del suelo, esto es, el peso de las partículas por unidad de volumen; las unidades más comunes son: kg/m^3 y lb/pe^3 . Del resultado de la

comparación de la densidad seca actual con la densidad seca máxima, se obtiene el porcentaje de compactación.

El ensayo de proctor es un conjunto de métodos dinámicos, utilizados para la compactación de un suelo, en donde la energía de compactación, es aplicada mediante golpes de pisón (maso o martillo) dinámicamente.

En la actualidad el ensayo de proctor modificado es más utilizado, debido a que ofrece mayores beneficios que el estándar para la compactación (el ensayo de proctor modificado se realiza con una mayor energía que el ensayo proctor estándar, mayor altura de caída libre y mayor peso de pistón).

A continuación se presenta una tabla comparativa entre el ensayo proctor estándar (normal) y modificado:

Tabla I. **Ensayo Proctor**

Ensayo proctor	
Estándar	Modificado
<p>También se le conoce como proctor normal, se utiliza un pistón de 5 1/2 lb, con una caída libre de 12 pulg, 25 golpes y con 3 capas por compactar. El molde que se utiliza es de 4 pulg o 6 pulg de diámetro y un volumen de 1/30 pie³ o 1/13,33 pie³.</p>	<p>Se utiliza un pistón de 10 libras, con una caída libre de 18 pulg, con 25 golpes de compactación en 5 capas, el molde utilizado tiene un volumen de 1/30 pie³ o 1/13,33 pie³.</p>
	

Fuente: USAC. *Instructivo de laboratorio, mecánica de suelos*. p 15.

A continuación se describirán los cuatro procedimientos opcionales para el ensayo de proctor estándar y modificado:

Tipo	Equipo utilizado	Tipo de proctor
Método A	Molde de 4 pulgadas con material que pasa el tamiz No. 4, si 20 % o menos por peso es retenido por la malla No.4. Compactar en 3 o 5 capas con 25 golpes cada una.	Estándar
Método B	Molde de 6 pulgadas con material que pasa el tamiz 3/8. Compactar en 3 o 5 capas con 56 golpes cada una.	Modificado
Método C	Molde de 4 pulgadas con material que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ de pulgada. Compactar en 3 o 5 capas con 25 golpes cada una.	Estándar
Método D	Molde de 6 pulgadas con material que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ de pulgada. Compactar en 3 o 5 capas con 56 golpes cada una.	Modificado

Fuente: USAC. *Instructivo de laboratorio, mecánica de suelos.* p 22.

Este ensayo debe cumplir según lo dictado en:

Proctor modificado:

- AASHTO T180-01: *Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4,54 kg (10 lb) Rammer and 457 mm (18 pulg).*
- ASTM D1557-10: *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56 000 pie-lbf/pie³ (2 700 kNm/m³)).*

Proctor estándar:

- AASHTO T99-01: *Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 2,5 kg (5,5 lb) Rammer and a 305 mm (12 pulg) Drop.*
- ASTM D698-10: *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standar Effort (12 400 pie-lbf/pie³ (600 kN-m/ m³)).*

A continuación se enlista el equipo complementario que es necesario para realizar el ensayo de proctor:

- Juego de tamiz (dependiendo del tipo del método por realizar).
- Balanza de 20 kg de capacidad y aproximación de 1 gr o una de 35 lb de capacidad y aproximación de 0,01 lb.
- Balanza de 3 escalas de 0,01 gr de aproximación.
- Horno capaz de mantener una temperatura de 110 °C con aproximación de 5 °C.
- Tarros metálicos para determinación de humedad.

- Espátula, cucharón para mezclar, rodillo, regla de acero de 30 cm (12 pulg).
- Extractor de muestra (opcional).

Figura 12. **Ensayo Proctor modificado**



Fuente: <http://civilgeeks.com/2015/07/23/apuntes-sobre-la-diferencia-entre-proctor-estandar-y-modificado/>. Consulta: 26 de mayo de 2016.

La máxima densidad seca de un suelo se puede alcanzar mediante los ensayos anteriormente descritos, el grado de compactación dependerá del tipo de suelo y varía desde un valor de 65 lb/pie^3 en una arena pómez a unas 95 lb/pie^3 para una arcilla pesada. Mientras que la humedad óptima varía desde un 4 % para suelos de grano grueso, hasta un 35 % para arcillas pesadas.

Mediante la compactación de un suelo a distintos porcentajes de humedad, se puede realizar un gráfico con dichos valores, en el cual las ordenadas representan los diferentes valores de las densidades secas en kg/m^3 o lb/pie^3 y en las abscisas los porcentajes de humedad.

A la curva resultante se llama “curva de compactación” y tiene una rama ascendente, llega a un valor máximo para luego decrecer. La parte más alta es el punto para el cual corresponde la “densidad seca máxima o PUSmáx” y el porcentaje de humedad respectiva será la “humedad óptima”. La curva generalmente es semejante a una parábola y es también llamada curva proctor.

La expresión que se utiliza para la determinación de la densidad seca de una muestra de suelo es la siguiente:

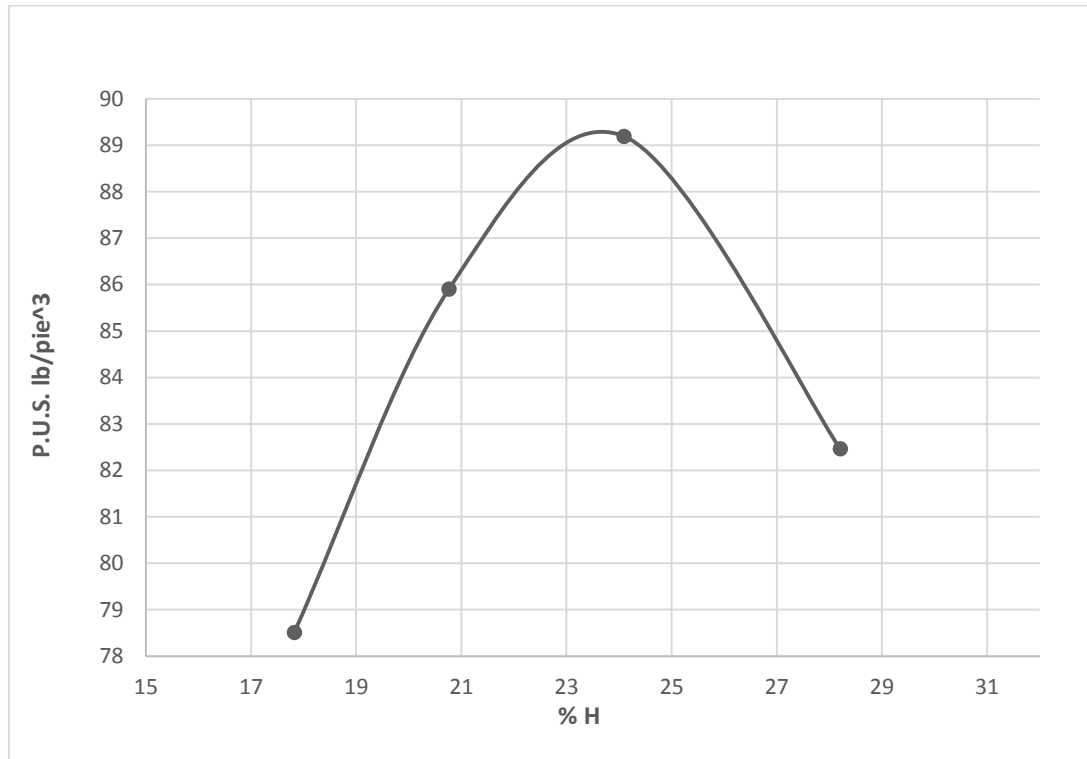
$$PUS = \frac{PUH}{\% H + 100} * 100$$

Donde: PUH es el peso seco húmedo y % H es el porcentaje de humedad de la muestra, para el cálculo del porcentaje de humedad (% H) se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% H = \frac{Dif}{pns} * 100$$

Donde: Dif es la diferencia del peso bruto húmedo de la muestra y peso bruto seco, mientras que pns es el peso bruto seco menos el peso del tarro.

Figura 13. Curva de compactación



Fuente: USAC. *Instructivo de laboratorio de suelos*. p 36.

3.3.2. Ensayo de relación de soporte de California (CBR)

El objetivo de realizar este ensayo es determinar la capacidad de soporte (CBR, *California Bearing Ratio*) de suelos y agregados, que han sido compactados en laboratorio, con una humedad controlada (humedad óptima) y con distintos niveles de compactación. La división de carreteras de California en 1929 realizó este ensayo, para clasificar y evaluar la capacidad de un suelo para, posteriormente, usarlo como subbase o material de base en la construcción de carreteras.

El ensayo CBR mide la resistencia a esfuerzos de corte de un suelo, bajo condiciones controladas de humedad y densidad, permitiendo así, obtener un porcentaje de la relación de soporte. El porcentaje CBR, es la fuerza necesaria para que un pistón normalizado penetre a una determinada profundidad.

En función de la calidad de los suelos, se pueden diferenciar distintos tipos de CBR:

- CBR suelos inalterados
- CBR suelos gravosos y arenosos
- CBR suelos cohesivos poco o nada plásticos
- CBR suelos cohesivos plásticos

El procedimiento del ensayo CBR mide la fuerza necesaria para penetrar un pistón a una velocidad previamente fijada, en una muestra de suelo compactada, después que dicha muestra ha sido sumergida en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable y, posteriormente, de haber medido el hinchamiento.

La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$\% \text{ CBR} = \frac{\text{carga unitaria del ensayo} \times 100}{\text{carga unitaria patrón}}$$

De la anterior ecuación se puede observar que el valor CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de porcentaje es quitado y la relación se presenta simplemente por un número entero, por ejemplo: 35,40, 99, entre otros.

El ensayo CBR, deberá cumplir según lo dictado en:

- AASHTO T193-99: *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio.*
- ASTM D1883-07: *Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory—Compacted Soils.*

A continuación se enlista el equipo necesario para realizar el ensayo CBR:

- Prensa para ensayo con capacidad de por lo menos 4 541,33 kg (10 000 lb), equipada con cabezal o base movable que avance a razón de 1,3 mm/min (0,05 pulg/min), para forzar el pistón de penetración dentro del espécimen. La máquina deberá estar equipada con indicadores de carga legibles, cada 4,54 kg (10 lb) o menos, un dispositivo indicador de carga con lecturas de curso no menor que 50 mm (2 pulg).
- Pistón de penetración metálico, de 4,88 cm (1,92 pulg) de diámetro (19,35 cm² (3 pulg²) de área) y no menos de 10,16 cm (4 pulg) de longitud.
- Micrómetro de reloj, con sensibilidad legible 0,0254 mm (0,001 pulg) para medir penetración.
- 3 moldes cilíndricos metálicos de diámetro interno de 152,4 cm ± 0,7 mm de incerteza, (6 pulg ± 0.03 pulg de incerteza) y con una altura de 177,8 cm ± 0,1 mm de incerteza (7 pulg ± 0,004 pulg de incerteza), provistos de collar de extensión de 50,8 mm de altura (2 pulg) y una plancha de base perforada de 9,5 mm de espesor (3/8 pulg). Las perforaciones de la plancha no deberán exceder un diámetro de 1,60 mm (1/16 pulg).
- 3 discos separadores de 150,8 mm de diámetro (5 15/16 pulg) y 61,4 mm de espesor (2,42 pulg).

- Aparato para medir la expansión, compuesto por una placa metálica provista de un vástago ajustable de metal con perforación de diámetro menor o igual a 1,6 mm y un trípode metálico para sujetar y para ajustar el micrómetro de reloj de 0,254 mm (0,01 pulg) para medir el hinchamiento.
- Sobrecargas, una metálica anular y varias metálicas ranuradas de 2,27 kg de peso cada una (5 lb), 149,2 mm de diámetro externo (5 7/8 pulg) y 54 mm de diámetro interno (2 1/8 pulg).
- Martillo de compactación de 4,54 kg (10 lb) de peso con guía para 45,72 cm (18 pulg) de caída.
- 2 tamices para el cribado del material según sus características núm. 4 y 19 mm (3/4 pulg).
- Balanza con capacidad de 100 kg y balanza para humedad de 1 kg.
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de incerteza.
- Bandeja para mezcla, regla metálica, tanque de inmersión, papel filtro, cucharones, balanzas, tarros para medición de humedades y cronómetro.

Figura 14. **Ensayo CBR (saturación de las muestras)**



Fuente: <http://inghctorgoso.com/index20.html>. Consulta: 27 de mayo de 2016.

3.3.3. Ensayo de granulometría

La variación en el tamaño de las partículas de un material es casi ilimitada, por definición, los granos que son de mayores dimensiones, son los que se pueden trasladar con mucha facilidad, entre tanto, las partículas más finas son tan pequeñas que no se pueden apreciar con un microscopio corriente. Para la clasificación por tamaño de partículas gruesas, el procedimiento más utilizado es el de tamizado, pero al momento que en una muestra de suelo aumenta la cantidad de partículas finas, el tamizado se hace muy difícil, teniéndose que recurrir al procedimiento de sedimentación.

A través de la información que se puede obtener de un ensayo granulométrico puede, en algunas veces, usarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, aun cuando los ensayos de permeabilidad sean utilizados comúnmente.

El análisis granulométrico, se emplea para determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de granos presentes en una masa de suelo dada. Por consiguiente, para obtener un resultado satisfactorio, es necesario contar con una muestra del material, que sea representativo del banco que se esté analizando. Para lograr esto se obtiene la cantidad de suelo que pase a través de un tamiz con una malla fijada, pero que es retenido en un siguiente tamiz, cuya malla tiene diámetros ligeramente más pequeños a los del anterior. Es entonces lógico que el suelo retenido de esta forma en cualquier tamiz, consiste en partículas de variedad de tamaños, los cuales son menores al tamaño de la malla anterior que pasó.

La identificación de cada tamiz, como su número, los micrones, la apertura nominal en milímetros y pulgadas, están escritos en una pequeña placa de metal pegada permanentemente en cada tamiz. Todos los tamices deben cumplir con la norma ASTM E11 y AASSTO M92.

En todos los sistemas de clasificación se utiliza como punto divisorio el tamiz núm. 200, las clasificaciones generalmente se basan en términos de cantidad de materia retenida o la cantidad que pasa a través del tamiz núm. 200. En algunas ocasiones es útil conocer la escala aproximada de partículas de suelo menores que el tamiz núm. 200, para este caso, el método más común en utilizarse es el del hidrómetro.

Para el ensayo granulométrico, debe cumplir con lo dictando en:

- AASHTO T087-86: *Standard Method of Test for Dry Preparation of Disturbed Soil and Soil-Aggregate Samples for Test.*
- ASTM D421-98: *Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.*
- AASHTO T088-00: *Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils.*
- ASTM D422-02: *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.*

A continuación se enlista el equipo necesario para realizar este ensayo:

- Juego de tamices (1 ½ pulg, ¾ pulg, núm. 4, núm. 10, núm. 40, núm. 200 y fondo); de arriba hacia abajo en ese orden.
- Máquina tamizadora.
- Balanza de 20 kg de capacidad y aproximación de 1 gr o una de 35 lb de capacidad y aproximación de 0,01 lb.

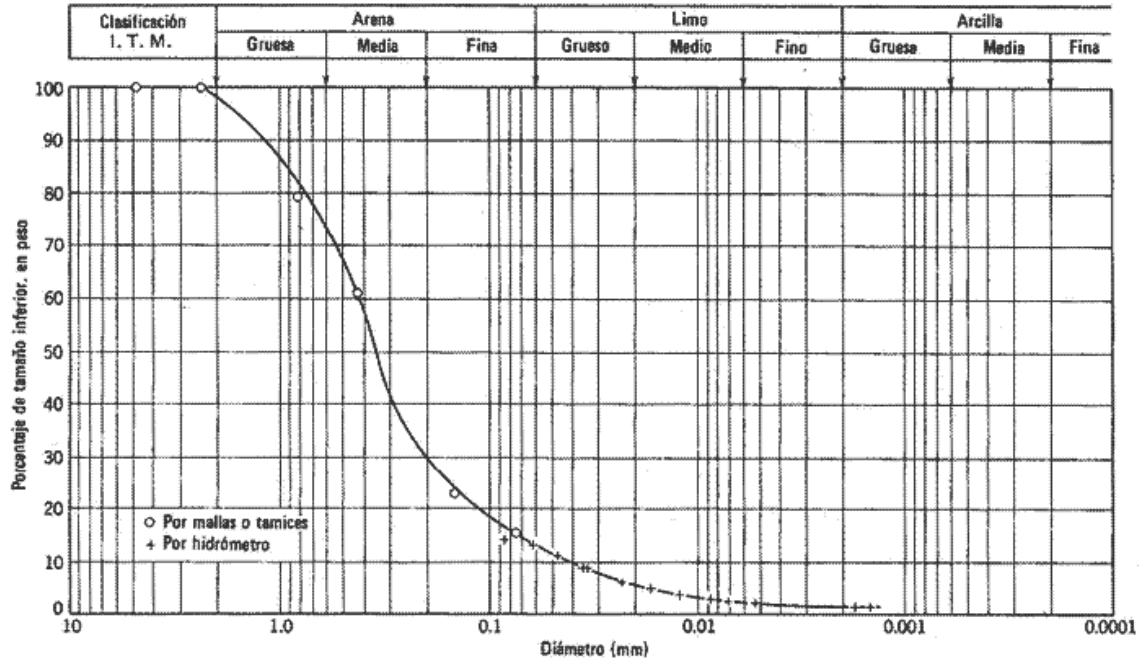
Figura 15. **Análisis granulométrico mediante el método de tamizado**



Fuente: http://blogsuelos.blogspot.com/2010/11/tamizado_15.html. Consulta: 27 de mayo de 2016.

Los resultados que se obtienen de los ensayos de tamizado y sedimentación se llevan a un gráfico que tiene como nombre curva granulométrica. Dicha curva se dibuja en papel semi-logarítmico, con la escala aritmética (ordenadas) y los porcentajes en peso de partículas de un suelo; en escala logarítmica (abscisas) se dibujan los tamaños de los granos en unidad milimétrica.

Figura 16. Curva granulométrica

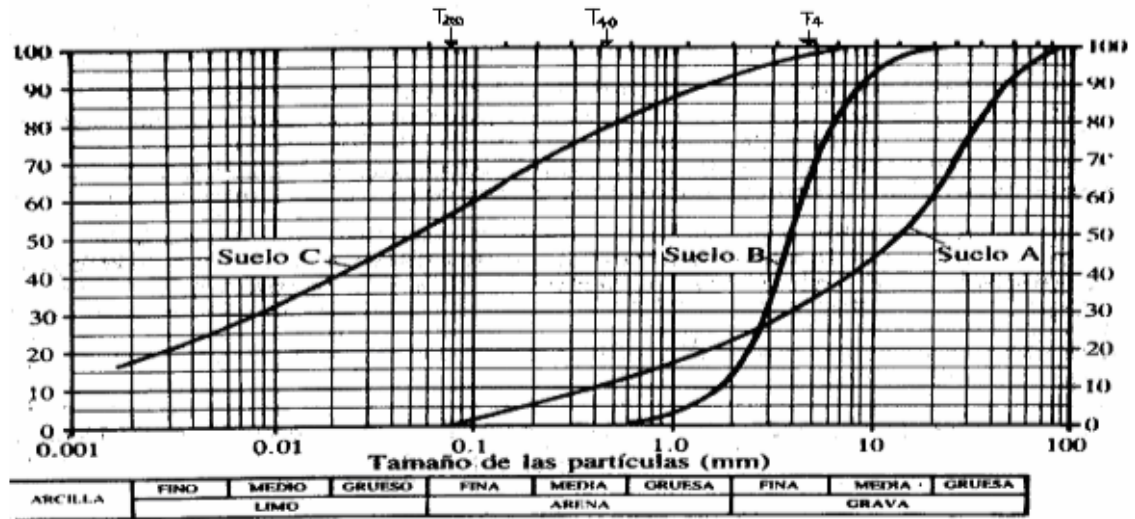


Fuente: <http://notasingenierocivil.blogspot.com/2011/05/analisis-granulometrico-por-tamizado.html>. Consulta: 24 de junio de 2016.

Uno de los aspectos más importantes de una curva granulométrica es la forma de la curva de distribución de tamaños de partículas, indica si los tamaños varían en un intervalo amplio o estrecho. Si el rango o intervalo tiende a los tamaños mayores del suelo grueso o a los menores del suelo fino.

En suelos granulares la gradación, expresada numéricamente, se determina mediante el coeficiente de uniformidad C_u con el coeficiente de curvatura C_c .

Figura 17. Curvas granulométricas de distintos tipos de suelos



Fuente: http://www.geocities.ws/gonzaloduquee/ms_cap3.htm. Consulta: 24 de junio de 2016.

En la figura 16 se pueden observar tres tipos de suelo, A, B y C. la curva correspondiente al suelo A se puede observar que es un suelo bien graduado y de grano grueso, el suelo B es un suelo mal graduado y poco uniforme, mientras que el suelo C es un suelo arcilloso o limoso (fino).

Una vez realizada la curva granulométrica para el suelo que se estudia, es necesario el cálculo de dos coeficientes que se utilizan para tener una mejor descripción de la granulometría de un suelo, estos coeficientes son los que anteriormente se mencionaron: C_u y C_c .

Las ecuaciones para determinar dichos coeficientes, son las siguientes:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Donde: D_{60} , D_{30} y D_{10} son valores que se obtienen en la curva granulométrica, los subíndices con valores de 60, 30 y 10 son los porcentajes de lo que pasa en cada tamiz (ordenada) y a ese valor le corresponde un diámetro del tamiz (abscisa) en unidades en milímetros.

Cuando $Cu > 4$ para gravas o $Cu > 6$ para arenas y $1 < Cc < 3$, se afirma que el suelo está bien graduado. Además, cuanto mayor o más alto sea el valor del coeficiente Cu , mayor será el rango de tamaños del suelo.

3.3.4. Ensayo de abrasión

El banco de material que se localizó y describió en el capítulo dos, es un material rocoso de origen volcánico, este tipo de material se clasifica y se utiliza comúnmente según su calidad, como subbase, base o también como agregado grueso.

Una de las propiedades de mayor importancia, es la resistencia que posee el material a la abrasión o desgaste de los agregados. Cuando se utiliza el material como agregado grueso en el concreto, este ensayo permite conocer la durabilidad y resistencia para la fabricación de losas y cualquier otra estructura.

Este ensayo da a conocer el porcentaje de desgaste del material, desgaste que sufrirá en condiciones de roce continuo de las partículas, este ensayo indicará si el material es el adecuado para el uso que se le pretenda dar.

La resistencia a la abrasión, desgaste o dureza de un agregado, es una propiedad del material que está en función principalmente de las características

de la roca madre. Este factor es de tal importancia debido a que las partículas estarán expuestas a continuo roce, como es el caso de pisos y pavimentos.

El procedimiento para este ensayo se lleva a cabo como se mencionó anteriormente. En agregados gruesos para partículas que no sobrepasen las dimensiones de 1 ½ pulg (38,1 mm), a fin de determinar la resistencia a la abrasión con efectos de fricción e impacto, mediante el uso de la máquina de los Ángeles, que como consecuencia de la rotación del tambor de la máquina, provoca que el material y las esferas impacten entre ellas. Así ocasionan fracturas que hacen disminuir el tamaño original de las partículas.

Para el ensayo de abrasión, debe cumplir con lo descrito en:

- *ASTM C -131: Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.*
- *AASSTO T-96: Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.*

A continuación se muestra el equipo necesario para realizar este ensayo:

- Máquina de los Ángeles.
- 1 balanza: un aparato sensible, con facilidad de lectura, que además permita la obtención de la masa de la muestra con una aproximación de 1 g.
- Estufa de secado: que logre mantener una temperatura uniforme de 110°C ±5 °C de incerteza (230°F ±9 °F de incerteza).
- Tamiz núm. 12.

- Esferas de acero de 1 27/32 pulg (46,8 mm) de diámetro. Con un peso entre 390 g y 445 g la cantidad de esferas estará en función del tipo y varía según el tipo de abrasión.

Figura 18. **Ensayo de abrasión, máquina de los Ángeles**



Fuente: http://blogsuelos.blogspot.com/2010/11/tamizado_15.html. Consulta: 27 de mayo de 2016.

El choque o impacto entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

Porcentaje de desgaste = $[P_a - P_b] / P_a$. Donde: P_a es la masa (gr) de la muestra seca antes del ensayo, y P_b es la masa (gr) de la muestra seca después del ensayo, lavada sobre el tamiz 1,68 mm.

4. MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DEL MATERIAL

Luego que se ha realizado la localización del banco de material que se explotará para propósitos de construcción de carreteras (como se describe en el capítulo 2), se continúa con el proceso para la obtención de muestras, para luego ser llevado el material obtenido en los muestreos hacia el laboratorio. En el capítulo 3 se describió cada ensayo de manera breve.

Cuando se ha determinado la calidad del material mediante los ensayos realizados en laboratorio y se ha establecido que dicho material es óptimo para los fines que se persiguen y además el banco de material cuenta con un volumen que satisface a la demanda del proyecto constructivo, empieza el proceso del movimiento de tierras. Para ello es necesario contar, ya sea con maquinaria, explosivos o si es posible, método artesanal, para explotar el material del lugar, para después ser trasladado hacia el lugar de la obra.

Previo a realizar la explotación del material en un banco de préstamo, se debe adecuar dicho banco a este propósito, esto consiste en realizar una preparación mediante las siguientes actividades:

- Destronque, desmonte y limpieza: antes de realizar la explotación del material, con cualquiera de los tres métodos antes mencionados (artesanal, uso de maquinaria y utilización de explosivos), se debe remover la capa vegetal sobre el suelo, y quitar los árboles o raíces de árboles que sea necesario descartar del lugar.

- Aflojamiento del material: esta actividad consiste en minimizar la cohesión en suelos muy compactos o duros, y así facilitar las maniobras de carga, descarga y transporte.

La explotación de bancos se realiza con distintos equipos, con base en la previa experiencia en la construcción. La selección del equipo estará en función de tres factores muy importantes, los cuales son:

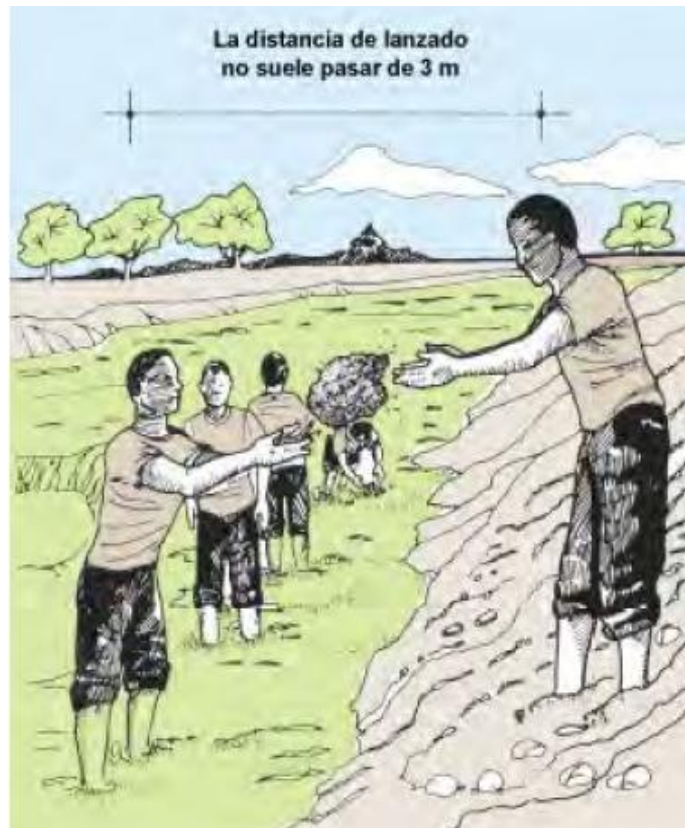
- Disponibilidad del equipo
- Tipo y calidad del material por explotar
- Distancia de acarreo de los materiales

En el presente capítulo se describen los tres procesos más comunes y utilizados para la explotación de material de un banco de préstamo, los cuales son artesanal, mediante el uso de maquinaria y la utilización de explosivos en caso que fuese necesario.

4.1. Artesanal

Este es el método más simple y económico, consiste en excavar y depositar, cuando se trata de suelos cohesivos, se puede excavar y cortar bloques de suelo. Estos bloques se podrán pasar de manera manual de una persona a otra, haciendo un tipo de cadena humana. En todos los distintos tipos de suelos, se podrá excavar y arrojar el suelo directamente; en la práctica, el material es comúnmente lanzado a una distancia máxima de 3 metros.

Figura 19. **Métodos manuales para la explotación y movimiento de tierras en un banco**



Fuente: SARAVIDA, Roger. *Metodología de movimiento de tierras*. p 13.

En el capítulo 2 se describió el estado natural del material, del banco de préstamo ubicado en la carretera antigua al lago de Amatitlán, donde se mencionó que el material es rocoso y de origen volcánico. Cuenta con una particularidad y es que posee un grado alto de fragmentación natural, que hace posible que pueda explotarse mediante el método artesanal, utilizando piochas, hachas, limas (para hacer filo a las herramientas), azadones y palas, para la explotación de dicho material.

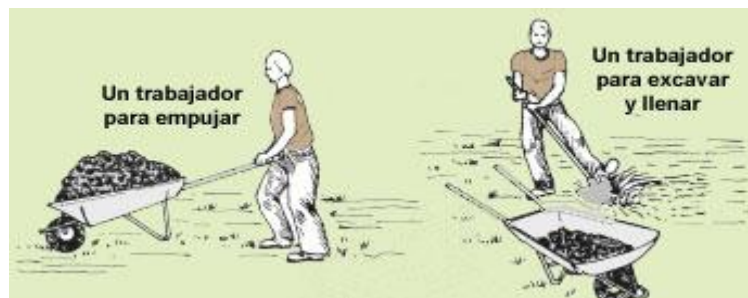
Para el transporte del material explotado de manera artesanal, se utiliza comúnmente las carretillas de mano, aunque este método requiera de mucho trabajo físico. Para el transporte del material a una distancia mayor a 30 metros, será necesario para cada carreta, al menos:

- 1 trabajador para excavar y llenar la carretilla de mano
- 1 trabajador para transportar el material en la carretilla de mano

También se puede presentar la ocasión en la cual se necesitaran más trabajadores en algunos lugares específicos, tales como:

- En el recorrido del transporte del material, sobre todo, en los puntos de ascenso, para ayudar a empujar la carretilla de mano, cuesta arriba.
- En el lugar donde se descargara el material, para ayudar a vaciar la carretilla de mano, en su totalidad.

Figura 20. **Trabajo de movimiento de tierras de manera artesanal**



Fuente: SARAVIDA, Roger. *Metodología de movimiento de tierras*. p 15.

4.2. Uso de maquinaria

Cuando se trate de grandes volúmenes de suelo que se pretendan explotar, se recurre al uso de maquinaria para la obtención del material en el banco de préstamo, siempre y cuando las condiciones locales sean las adecuadas, por ejemplo, que halla suficiente espacio para maniobrar la maquinaria. En el banco de material rocoso que se analiza en este caso, existe espacio suficiente para ingresar maquinaria al lugar, sin causar obstrucción en la carretera principal.

Al utilizar maquinaria pesada para la obtención del material, se debe lograr la máxima eficiencia al menor costo posible, y esto se puede alcanzar al elegir una máquina que tenga las características necesarias para el tipo de material que se pretenda explotar, y además se debe considerar el tiempo que necesita funcionar diariamente.

En la explotación de un banco de material, la maquinaria que con mayor frecuencia se utiliza son: los tractores, las excavadoras y las retroexcavadoras, a continuación se describe cada una de ellas.

4.2.1. Tractor

El tractor es una máquina que es utilizada para la explotación de un banco de préstamo, esencialmente es una unidad motriz con ruedas o ya sean carriles u orugas. El tractor está equipado principalmente con una cuchilla frontal que se desplaza en posición vertical; tiene la capacidad de empujar tierra de un lugar a otro, esto hasta conformar una superficie.

Además tiene la capacidad de mover tierra o roca, comúnmente es la primera maquinaria en comenzar el trabajo en un proyecto y a menudo es la última maquinaria en retirarse del lugar. El tractor *bulldozer* tiene la capacidad de trabajar en lugares difíciles, con pendientes muy inclinadas, terrenos blandos o pantanosos y sobre rocas sólidas.

Figura 21. **Tractor tipo *bulldozer***



Fuente: http://www.superparts.net/catalogo/index.php?cPath=21_59. Consulta: 8 de mayo de 2016.

Mediante la tabla núm. I se puede observar los distintos rendimientos de los *bulldozer*, dependiendo del tipo de equipo y modelo, con esta información se puede obtener un tiempo estimado en obra para realizar una excavación de material, dependiendo del tipo de suelo.

Tabla II. Rendimientos *bulldozer* de orugas

EQUIPO	POTENCIA	TIPO DE TRABAJO	RENDIMIENTO
CAT D9L	460 HP	Excavación en tierra	160 m ³ /hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	130 m ³ /hr
		Exc. Roca con voladura	100 m ³ /hr
CAT D8L	400 HP	Excavación en tierra	80 m ³ /hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	70 m ³ /hr
		Exc. Roca con voladura	50 m ³ /hr
CAT D8K	300 HP	Excavación en tierra	80 m ³ /hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	60 m ³ /hr
		Exc. Roca con voladura	50 m ³ /hr
CAT D7G	200 HP	Excavación en tierra	50 m ³ /hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	40 m ³ /hr
		Exc. Roca con voladura	30 m ³ /hr
CAT D6D	140 HP	Excavación en tierra	30 m ³ /hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	30 m ³ /hr
		Exc. Roca con voladura	20 m ³ /hr

Fuente: CAT. *Catálogo*. Anexos, tabla de rendimientos. p 4.

4.2.2. Excavadoras

Las excavadoras, ya sean de orugas o sobre ruedas, no solamente son muy eficientes para la carga de material a los camiones, sino que también para excavar capas no muy gruesas de tierra en grandes superficies y para limpiar zonas cubiertas de capa vegetal y árboles.

Este tipo de maquinaria no solamente es utilizado para la explotación de material de un banco, sino que también se utiliza para cortes de taludes, excavación de zanjas, dragados de ríos entre otros. Las excavadoras son utilizadas a menudo, para excavar debajo de la superficie natural del terreno, sobre la cual la maquina descansa. Esta maquinaria está adaptada para la excavación de trincheras, pozos, sótanos, y otros trabajos relacionados con excavaciones escalonadas, en donde se debe mantener un control preciso de las profundidades.

Figura 22. **Excavadora**



Fuente: <http://www.abadiamartinez.com/maquinaria/excavadoras/>. Consulta: 8 de mayo de 2016.

La excavadora está conformada por un extremo frontal, en donde posee una pluma firme que es la que soporta a un miembro excavador que tiene un cucharón en su extremo, sujeto de manera directa al frente de la superestructura giratoria de 360°. Entre las variaciones de este tipo de maquinaria, se puede mencionar: la potencia, la capacidad de levantamiento, la capacidad del cucharón, la longitud de sus plumas y el tamaño de sus bandas. Estas variaciones producen cambios en la velocidad y la aplicación, según sea el caso. Si es el caso en el cual no es necesario realizar demasiado movimiento de un sitio a otro dentro de la obra, la excavadora de cadenas es la mejor opción. Este tipo de excavadoras ofrece una mejor tracción y buena flotación, en casi todos los tipos de terrenos.

Tabla III. **Rendimientos de excavadoras hidráulicas**

MODELO	POTENCIA	TIPO DE TRABAJO	CAPACIDAD CUCARON	RENDIMIENTO
CAT 215	90 HP	Excavación en tierra		90 m3/hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	0,7 m3	50 m3/hr
		Exc. Roca con voladura		30 m3/hr
		Excavación en tierra		100 m3/hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	0,9 m3	60 m3/hr
		Exc. Roca con voladura		40 m3/hr
CAT 225	125 HP	Excavación en tierra		130 m3/hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	1,1 m3	70 m3/hr
		Exc. Roca con voladura		50 m3/hr
CAT 235	195 HP	Excavación en tierra		150 m3/hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	1,3 m3	90 m3/hr
		Exc. Roca con voladura		60 m3/hr
		Excavación en tierra		170 m3/hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	1,5 m3	100 m3/hr
		Exc. Roca con voladura		70 m3/hr
		Excavación en tierra		200 m3/hr
		Exc. Mat. Heterogéneo	1,7 m3	110 m3/hr
Exc. Roca con voladura		80 m3/hr		

Fuente: CAT. *Catálogo*. Anexos, tabla de rendimientos. p 7.

4.2.3. Retroexcavadora

Es una maquinaria autopropulsada sobre ruedas con un bastidor que está diseñada para montar a la vez un equipo de carga frontal y otro de excavación trasera de manera que puedan ser usados alternativamente. Se trata de una maquinaria muy versátil y rentable, que trabaja el mayor número de horas en una obra constructiva, y esto es debido a su facilidad de transporte en el modelo sobre ruedas que es el más común.

Figura 23. Retroexcavadora



Fuente: http://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/backhoe-loaders/center-pivot/18294820.html. Consulta: 8 de mayo de 2016.

En apertura de zanja realiza una doble función, abrir la zanja con la retro y rellenarla después con la cuchara frontal. Las retroexcavadoras nuevas que se están produciendo en la actualidad, permiten utilizar accesorios en el cargador por medio de acoplamientos especiales, tales como: cepillos barredores, rastrillos, cucharón de descarga lateral, cortador de asfalto y, además, permite acoplar accesorios en el brazo excavador: martillo hidráulico, compactador de plancha vibratoria, desgarrador entre otras.

Tabla IV. **Consumo promedio de combustible de una retroexcavadora**

RETROEXCAVADORAS	Galones/ Hora
Retroexcavadora New Holland LBN-90A	1.65
Retroexcavadora Oruga Caterpillar 320C No. 1	3.47
Retroexcavadora Oruga Caterpillar 320C No. 2	3.70
Retroexcavadora Oruga Volvo EC210BLC No. 1	2.52
Retroexcavadora Oruga Volvo EC210BLC No. 2	1.85
Retroexcavadora sobre llantas 428-E	1.28
Retroexcavadora Volvo EC-290	6.11
Retroexcavadora sobre orugas Caterpillar 324DL ME	4.94
Retroexcavadora sobre orugas Caterpillar 325DL ME	7.76
Retroexcavadora Cargador Volvo BL60 LBF-93A	1.94
Retroexcavadora Caterpillar 416-B FHV-50	0.29
Retroexcavadora Caterpillar 416D LBI-60A	1.27
Retroexcavadora Caterpillar 416D YWM-31A	1.29
Retroexcavadora Caterpillar 416-E LBO-34A	0.62
Retroexcavadora Caterpillar 416-E LBO-35A	1.09

Fuente: CAT. *Catálogo*. Anexos, tabla de rendimientos. p 14.

4.3. Explosivos

Este método se utiliza principalmente cuando el material está conformado por roca o terrenos que son demasiado duros, haciendo así que el uso de explosivos sea un método efectivo para aflojar el material, que se pretenda explotar.

Para realizar este tipo de trabajo es necesario contar con un experto en explosivos, que será el encargado de determinar las cantidades que se utilizarán, ya que este factor se encuentra en función del tipo de roca y el tamaño que se necesita obtener el material ya explotado. Previo a realizar la obtención de material, es necesario tramitar todos los permisos y licencias necesarios para realizar este trabajo.

El Acuerdo Gubernativo NO. 14-74, es el Reglamento para la importación, almacenaje, transporte y uso de explosivos, en él se establecen las normas por seguir en todo lo que se refiere al uso de explosivos para fines industriales.

Además existe el Acuerdo Gubernativo No. 13-79, Modificación del Capítulo VII del Reglamento para la importación, almacenaje, transporte y uso de explosivos, en el cual se establecen cambios en dicho capítulo referente a los expertos, clasificándolos como expertos en explosivos y expertos dinamiteros, según la licencia. Se fijan los requisitos que debe cumplir un experto en ambas clasificaciones, así también los mecanismos para la obtención de sus licencias y la duración de las mismas.

Las licencias para el uso de explosivos, son extendidas por el Ministerio de la Defensa Nacional, a personas con experiencia en explosivos o experto dinamitero. Los expertos en explosivos deben estar debidamente registrados en la Sección de seguridad e higiene y previsión de accidentes en general, del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS) y en el Ministerio de Trabajo y Previsión Social. El ingeniero civil deberá trabajar de manera conjunta con el experto en explosivos, para que la voladura se realice de manera correcta y de acuerdo con lo planificado.

El Ministerio de Economía, así también el Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda (CIV), juegan un rol importante al momento de la obtención de licencias para importación y uso de explosivos industriales.

Las personas interesadas en el uso e importación de explosivos deben presentar las respectivas solicitudes al Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda (CIV), para que dicha institución realice las inspecciones oculares necesarias, en el lugar donde vayan a ser usados. El expediente pasara de manera pronta hacia el Ministerio de Economía, donde se fijará una fianza adecuada para responder a daños y prejuicios que puedan suscitarse. Finalmente, luego de haberse realizado los requisitos anteriormente mencionados, se acude al Ministerio de la Defensa Nacional, quien concederá o negará el permiso solicitado.

El procedimiento que se sigue para realizar la obtención de material mediante el uso de explosivos, inicia en perforar la roca a una profundidad y distancia previamente calculada. El equipo que se emplea comúnmente para este tipo de trabajos es:

- Barrenos propulsados por compresores
- *Track-drill*: equipo grande que cuenta con mandos hidráulicos

Figura 24. **Perforación en material rocoso, mediante el uso de *track-drill* para el uso de explosivos**



Fuente: <http://www.silsadetonaciones.com/equipo.html>. Consulta: 11 de mayo de 2016.

Cuando se hace uso de los explosivos se utiliza comúnmente, dinamita (o puede ser otro explosivo), lechadas, gelatinas de agua, emulsiones, agentes para la explosión, explosivos de iniciación, detonadores y cables para la detonación. Además, se debe contar con la presencia del experto en explosivos y con barrenadores y ayudantes para realizar la colocación de los explosivos.

La potencia de los explosivos se clasifica en términos del porcentaje de nitroglicerina contenida. Las dinamitas simples únicamente contienen nitroglicerina y un ingrediente inerte. En el caso de la dinamita con amoniaco, parte de la nitroglicerina se sustituye con otros ingredientes, por ejemplo: el nitrato de amonio. El poder explosivo se indica en la potencia por peso.

A continuación se presentan las características más importantes de los explosivos comúnmente usados en la construcción.

Tabla V. **Explosivos utilizados en la construcción**

Tipo de explosivo	Descripción
Dinamitas con gelatina	Son adecuadas para voladuras submarinas o cuando se encuentre a una considerable presión de agua. Cuenta con una potencia por peso de 100 % a 60 %, la velocidad de detonación es de 26 200 pies/segundo a 19 700 pies/segundo.
Gelatinas extras	Cuenta con una potencia por peso de 80 % a 30 %, velocidad de detonación de 24 000 pies/segundo a 15 000 pies/segundo, respectivamente.
Dinamitas extra	Potencia por peso de 60 % a 20 %, con una velocidad de detonación de 12 450 pies/segundo a 8 200 pies/segundo. Este tipo de dinamitas puede utilizarse en condiciones húmedas, si cuentan con un forro o envoltura impermeable.
Semi gelatinas	Potencia por peso de 65 % a 40 %, con velocidad de detonación de 17 700 pies/segundo a 9 850 pies/segundo. Puede usarse en lugar de las gelatinas en la mayoría de voladuras.
Dinamitas con alto contenido de nitrato de amonio	Potencia por peso de 68 % a 46 %, la velocidad de detonación de 10 500 pies/segundo a 5 250 pies/segundo. Cuentan con una baja resistencia al agua.

Fuente: RODRÍGUEZ, Marlon, *Métodos y formas de mitigar impactos ambientales en la explotación de bancos de material para carreteras rurales*. p 34.

El contratista y encargado de la explotación del material, en un banco de préstamo, deberá suspender las actividades de explosión en caso de que ocurran las siguientes situaciones:

- Los taludes son inestables
- Que ocurran daños en el talud final
- Exista peligro para la seguridad pública
- Que surja peligro para alguna propiedad pública o algún elemento natural

5. ACARREO DEL MATERIAL Y MEDIDAS DE SEGURIDAD

Luego de que el material de un banco ya ha sido explotado, se da lugar al siguiente paso, que consiste en el movimiento de tierras o acarreo del material hasta el lugar de la obra donde se pretende utilizar dicho material.

En el presente capítulo se desarrollarán los aspectos por tomar en cuenta al momento de mover suelo de un lugar a otro, y las medidas de seguridad que deben considerarse para evitar accidentes, ya sean pérdidas materiales o en los peores casos, lesiones o incluso muertes de empleados, en el lugar donde se esté realizando el movimiento de tierras.

5.1. Acarreo libre y acarreo

Según las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, los materiales que serán transportados de un lugar a otro, pueden ser incluidos y cobrados a la vez, bajo el renglón de acarreo libre o acarreo, y son aquellos materiales no clasificados, que provienen del corte y de préstamo, para luego ser utilizados en la construcción de terraplenes.

El acarreo libre es la actividad que consiste en transportar material no clasificado y que es proveniente del corte y de préstamo, a una distancia que no exceda los 1 000 metros.

Mientras que el acarreo, consiste en el traslado de material igualmente no clasificado y proveniente del corte y de préstamo, a una distancia que exceda los 1 000 metros. Es medido por el número de metros cúbicos-kilómetro, el volumen del material será medido según el estado original y la distancia es el centro de las distancias entre el banco del lugar donde será depositado, menos la distancia de acarreo libre.

5.2. Maquinaria por utilizar

Posteriormente de haber realizado la explotación de un material, a través de cualquiera de los tres métodos descritos en el capítulo 4, se procede a transportar el material al lugar donde se requiera. Para montar el material a los camiones que serán los encargados de llevar el material obtenido del banco de préstamo, suelen utilizarse comúnmente los tractores, pala cargadora, mini cargadores y también las retroexcavadoras.

Al momento del cual el contratista deberá hacer uso de maquinaria pesada, ya sea para la obtención de material de un banco, como también el transporte del material explotado, deberá considerar distintos factores importantes en cuanto a la maquinaria, sobre todo, en aspectos económicos por tomar en cuenta para la renta o compra de la maquinaria que se utilizará, y esto dependerá, principalmente, de la magnitud de la obra que se esté desarrollando.

El manejo administrativo y de seguridad de las máquinas por utilizar en una obra, es un tema muy delicado, sobre todo, si se trata de maquinaria rentada. Se debe buscar la manera de suprimir todos los posibles riesgos, que puedan suceder, tales como: robo de maquinaria, destrucción de una maquina en obra, entre otros riesgos.

Hay criterios y aspectos que se deben tomar en cuenta al momento de elegir qué maquinaria se utilizará en el movimiento de tierras de un banco. A continuación se presentan algunos requisitos por considerar:

- Que la maquina elegida por el contratista, cumpla con la producción requerida.
- Que sea flexible y adaptable a las condiciones de operación.
- Que mantenga una fiabilidad suficiente para el trabajo por realizar.
- Además, que la máquina esté asegurada por el proveedor o fabricante, para un definido tiempo de operación, asistencia técnica si es necesario y repuestos (si fuese el caso).

5.2.1. Camiones de volteo

Los camiones de volteo son vehículos motorizados que están diseñados para el transporte y vaciado de material. Están compuestos por una estructura de chasis portante, mayormente por un marco estructural, una cabina y una estructura trasera para el almacenaje del material a transportar. Existen varias capacidades de camiones de volteo: pequeños (camiones ordinarios de 6 metros cúbicos hasta 14 metros cúbicos), medianos (camiones todo terreno de 200 toneladas usados principalmente en minería) y extra grandes. Su funcionamiento básicamente es transportar el material hasta el lugar requerido y verter la carga hacia atrás o en modelos recientes verter la carga lateralmente.

Uno de los camiones más utilizados por sus características, son los Dumper, ya que son vehículos autopropulsados, establecidos sobre grandes ruedas, con caja abierta y muy resistentes. Son empleados en el transporte de grandes volúmenes de material, ya sea acarreo de tierra o roca. Un camión Dumper está constituido por tres ejes, dos traseros de tracción y un delantero

encargado de la dirección. Este tipo de camión puede ser circulado por caminos en mal estado y por carreteras. Tiene la capacidad para transportar por carretera una carga de, aproximadamente, 13 toneladas.

Figura 25. **Camión de volteo, *dumper***



Fuente: VILLARINO, Alberto. *Maquinaria de obra civil*. p 14.

Además, está el camión *dumper* extravial articulado (lagarto), este camión es utilizado en obras de mucha producción, tiene la capacidad para transportar carga en un intervalo de 22 toneladas a 36 toneladas.

Figura 26. **Dumper extraviado articulado**



Fuente: VILLARINO, Alberto. *Maquinaria de obra civil*. p 16.

5.2.2. **Volquetas**

Las volquetas, o como comúnmente se le llaman, camión de palangana, son, tal vez, las máquinas más utilizadas en lo que a obra civil se refiere. Son vehículos que cuentan con un dispositivo mecánico para volcar la carga que transporta en un cajón que está apoyado sobre el chasis del vehículo. La función principal de la volqueta es precisamente el transporte de un volumen de material en un cajón trasero, este tipo de máquina de carga cumple esencialmente su función como transporte del material, ya sea dentro o fuera de la obra.

Figura 27. **Camión de palangana**



Fuente: <http://bogota-capital.doplim.com.co/volqueta-kenworth-t800-doble-troque-id121773.html>.

Consulta: 22 de mayo de 2016.

Existe una gran variedad de camiones de palangana, varían según la capacidad de su palangana, según el número de ejes que posea y según el uso al cual será destinada. Las volquetas o camiones de palangana que son más comunes en las obras civiles, son las que tienen una capacidad de 7 metros cúbicos, poseen solo dos ejes y suelen utilizarse para transporte interno o externo en la obra que se esté realizando.

El otro tipo de camiones de palangana, son los que cuentan con una capacidad de transporte de material de 14 metros cúbicos. Se componen de tres ejes y son conocidos en el medio de la construcción como doble troques.

5.2.3. Camiones con palangana tipo granel

Este tipo de camiones conocidos como tipo a granel o también vehículos góndola, son a menudo utilizados para transportar material del lugar de explotación hasta el lugar donde se requiere.

Figura 28. Camión tipo a granel



Fuente: empresa Transportadora de Cárdenas, S.A. de C.V.

Este tipo de camiones varía en cuanto a las dimensiones físicas y la capacidad de carga de sus ejes.

Tabla VI. Capacidad de camiones de volteo tipo a granel

NOMBRE	CAPACIDAD EJE DELANTERO	CAPACIDAD EJE TRASERO
CAMIÓN DE VOLTEO MEDIANO	2 500 KG	1 000 KG
CAMIÓN DE VOLTEO GRANDE	4 300 KG	3 700 KG
CAMIÓN DE CAJA MEDIANA	9 800 KG	2 700 KG

Fuente: empresa Transportadora de Cárdenas, S.A. de C.V.

Tabla VII. **Dimensiones de camiones de volteo tipo a granel**

NOMBRE	LARGO	ANCHO	ALTO
CAMIÓN DE VOLTEO MEDIANO	5,66 m	2,471 m	2,771 m
CAMIÓN DE VOLTEO GRANDE	8,570 m	2,471 m	2,771 m
CAMIÓN DE CAJA MEDIANA	8,20 m	2,50 m	9,70 m

Fuente: empresa Transportadora de Cárdenas, S.A. de C.V.

5.3. Medidas de seguridad

Al momento de realizar el movimiento de tierras de un banco de material, la seguridad es muy importante, tanto como para la conservación de la maquinaria por utilizar, como de las personas que estarán dirigiendo o manipulando máquinas cercanas al lugar donde se realice dicho trabajo. Toda actividad posee diferentes amenazas para la salud de los trabajadores que estén ejecutando la obra de un proyecto, por ello, es muy importante conocer los posibles riesgos que puedan surgir para tomar medidas de seguridad y así prevenir accidentes.

Los principales factores por tomar en cuenta para contar con medidas de seguridad confiables, son: una buena organización dentro de la obra, equipo de protección para los trabajadores, seguridad y señalización para las máquinas que estarán involucradas, y distintos dispositivos de seguridad que más adelante se detalla cuáles son.

Figura 29. **Riegos en obra, al no contar con medidas de seguridad**



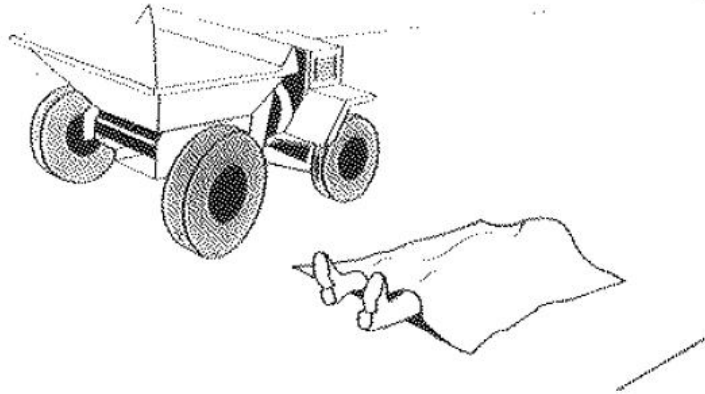
Fuente: <https://pablogillarrea.wordpress.com/prevenciones-de-seguridad/>. Consulta: 28 de mayo de 2016.

5.3.1. Organización de la obra

Una buena organización, tanto del personal como el de la maquinaria, se verá reflejado en una obra segura y libre de posibles percances. El tránsito dentro de la obra es muy importante por considerar, no solo el de vehículos y maquinaria pesada, sino que también el de las personas, que estarán trasladándose de un destino a otro (lugares de acopio).

En una obra donde no existe ningún tipo de organización, suceden distintos tipos de accidentes, tales como: choques, vuelcos, atropellos entre otros.

Figura 30. **Atropello en obra por mala organización**



Fuente: TARILONTE, Juan. *Construcciones industriales*. p 135.

En general, en toda obra de movimiento de tierras, la mayoría de actividades se realiza por medio del uso de maquinarias y no debe haber presencia de personas ajenas a la obra.

La maquinaria, mientras mayor sea, mayores ángulos muertos de visibilidad tiene, y por ello mismo existe el peligro de accidente a personas o cosas próximas al recorrido de la maquinaria. A continuación se presenta un resumen de aspectos por considerar para mantener una buena organización dentro de la obra y así minimizar los riesgos de accidentes:

- Definir un punto de acopio del material extraído.
- Establecer una ruta donde los camiones estarán ingresando y saliendo del lugar de la obra.
- Disponer de accesos adecuados para las personas que ingresarán a la obra a pie.
- Crear un sistema de mantenimiento periódico de orden y limpieza.
- Señalización del acceso y salida de la obra, tanto para las máquinas como para las personas.

5.3.2. Equipo de protección

Una de las más importantes medidas de seguridad que deben considerarse en una obra, es el equipo de protección para las personas que estarán involucradas en el movimiento de tierras de un banco de préstamo, ya que dichas personas estarán sometidas a un ambiente ruidoso, mal terreno y demasiado polvo en el aire, situación que puede provocar lesiones y enfermedades.

En la actualidad, está vigente el Acuerdo Gubernativo No. 229-2014 y sus reformas 33-2016, donde se muestran las obligaciones que todo patrón, representante, intermediario, proveedor, contratista o subcontratista debe adoptar y poner en marcha en los lugares de trabajo. Las medidas de SSO (seguridad y salud ocupacional) para proteger la vida, la salud y la integridad de los trabajadores.

Entre los principales elementos, que conforman un equipo de seguridad, tanto para los operadores de máquinas, como para los trabajadores que están dentro de la obra, se puede anotar:

- Casco industrial: brinda protección a los trabajadores de impactos en el cráneo.
- Botas industriales: calzado de seguridad que brinde protección a los pies.
- Protectores de oídos “tapones”, pueden ser desechables o reutilizables.
- Gafas de protección para los ojos, evitando irritación por el exceso de polvo en la obra.
- Guantes contra las agresiones mecánicas.
- Uso de chalecos reflectivos, sobre todo, si se trabajará en horas donde la luz solar no está disponible.
-

Figura 31. **Equipo de seguridad personal**



Fuente:<http://programacasasegura.org/mx/la-seguridad-es-primero/>. Consulta: 28 de mayo de 2016.

5.3.3. Seguridad en las máquinas

Es indispensable contar con un sistema de seguridad para las máquinas que estarán involucradas en el movimiento de tierras de un banco de préstamo, cuidado que debe mantenerse para garantizar su óptimo estado y funcionamiento. También se debe contar con seguridad para los operadores que estarán a cargo de las máquinas.

Algunos aspectos que se deben tomar en cuenta para garantizar la seguridad de los operadores dentro de las máquinas, son los siguientes:

- Contar con cabinas anti-vuelcos: este tipo de cabinas consiste en un bastidor de refuerzo, que al momento de volcar una máquina, resiste para preservar la integridad del operador. A este tipo de cabinas se le conoce como ROPS (*Roil Over Protection System*).

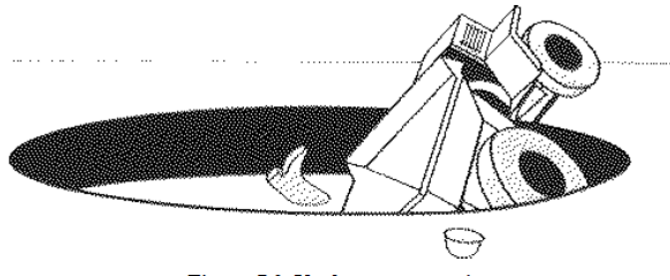
- Cinturones de seguridad: el operador debe hacer uso de este tipo de cinturones para evitar ser expulsado de la cabina de manera violenta al momento de algún percance dentro de la obra.
- Limpia parabrisas y espejos retrovisores: para brindar una buena visión al conductor, del ambiente que lo rodea.
- Señales acústicas de marcha atrás de una máquina, para avisar a los demás trabajadores.
- Focos potentes en caso de trabajos nocturnos.

Además, se deben tomar las consideraciones establecidas en el Acuerdo Gubernativo No. 273-98 (Reglamento de tránsito), en cuanto al equipamiento adicional para vehículos pesados:

- Cintas reflectivas en su parte lateral y posterior.
- Luces de gálibo o dimensionales en la parte frontal, lateral y posterior más altas del vehículo.
- Extinguidores de incendios en condiciones de uso.
- Dos luces de freno en los extremos de la parte trasera.
- Iluminación completa de la placa de circulación trasera.

Generalmente, en las excavaciones donde hay muchas laderas, es importante indicar los recorridos y giros para evitar vuelcos. Terrenos inclinados en proximidades de una zanja, en época lluviosa, pueden ocasionar deslizamientos de los camiones y también vuelcos.

Figura 32. **Vuelco de maquinaria en una zanja**



Fuente: TARILONTE, Juan. *Construcciones industriales*. p 136.

Los operadores de máquinas que van a recorrer a velocidad sobre las pistas de acarreo, deben utilizar cierto equipo para su propia seguridad, por ejemplo: riñoneras o cinturón anti vibratorio de protección, sobre todo, cuando el vehículo salta por baches. Es importante considerar el riesgo de desplome y vuelco de una máquina al pasar cerca de taludes.

Figura 33. **Caída de 17 metros de altura**



Fuente: TARILONTE, Juan. *Construcciones industriales*. p 136.

5.3.4. Dispositivos de seguridad

Los dispositivos de seguridad en el movimiento de tierras se refieren a todas aquellas actividades que se deben implementar, para controlar y mitigar riesgos que estén relacionados con la evacuación del material explotado hacia la ruta asignada. Para ello, es necesario contar con una señalización de seguridad pública y trabajadores que indiquen el paso de los camiones al ingresar a la carretera principal y evitar colisiones con carros particulares.

Todas aquellas obras civiles que se realicen en las vías públicas representan un riesgo y peligro a la seguridad de los usuarios, sean peatones, conductores o trabajadores. Por ello, es necesario establecer los dispositivos de seguridad, para minimizar la probabilidad de ocurrencia de un percance.

Figura 34. Señalización en obras civiles públicas



Fuente: <http://www.absenalizacion.com/>. Consulta: 31 mayo de 2016.

Tabla VIII. Descripción de dispositivos de seguridad

Dispositivo	Descripción	Ilustración
Conos viales	Son utilizados para señalar, demarcar o hacer cerramientos, decorados con materiales reflectivos de acuerdo con cada necesidad.	
Uniconos	Se emplean para delimitar espacios. Adaptable a distintas situaciones para definir perímetros de grandes longitudes.	
Barreras plásticas	Es un dispositivo de canalización o delimitación de tráfico de gran tamaño, comúnmente se utiliza en sitios de obra en la vía y se coloca en el lugar donde se requiera limitar el acceso o el tránsito de manera total o parcial.	
Cintas de señalización	Es la cinta que normalmente se coloca el título de "peligro no pase", en una zona donde se esté llevando a cabo una obra civil y se requiere que personas ajenas a la obra, no entren al lugar.	
Paletas de señalización	Son utilizadas con diversidad de logos, por ejemplo: "pare", "siga", "solo un carril" entre otros.	
Reductores de velocidad	Son obras físicas colocadas sobre la superficie de una vía, que persuaden a los conductores de disminuir la velocidad en un tramo determinado.	

Fuente: elaboración propia.

Toda empresa, sea pública o privada, que realice obras civiles en vías públicas, está obligada a instalar y mantener durante todo el periodo de trabajo, señalización y medidas de seguridad adecuadas al trabajo que se realice, en este caso el movimiento de tierras.

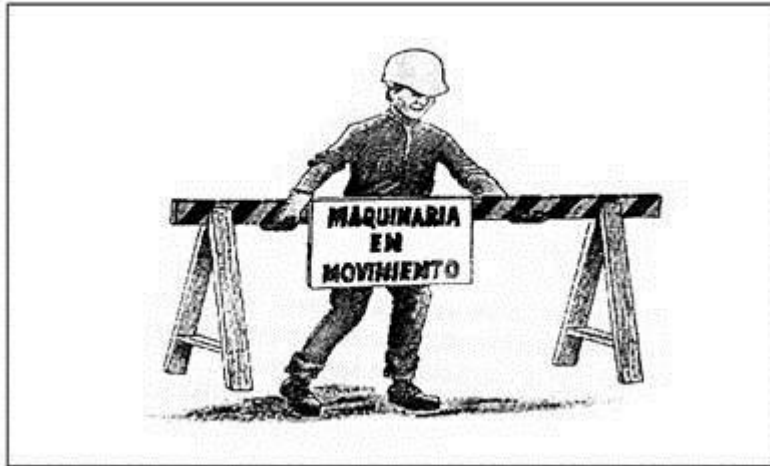
Entre la señalización debe haber rótulos o letreros exteriores, que indiquen acerca de la presencia de riesgos y peligros de las faenas de excavación, dirigida a transeúntes o público en general.

Se deben colocar letreros con instrucciones y advertencias que sean legibles, acerca de riesgos y procedimientos, por ejemplo: “peligro excavación profunda”, “riesgos de derrumbe”, entre otros. La señalización exterior, debe tener la capacidad para ser vista de día y de noche, por lo cual debe ser reflectante y estar bien iluminada.

Además, se deben colocar “banderilleros”, quienes serán las personas encargadas de dar salida a los camiones y regular el tránsito de vehículos en las afueras de la obra. También deben utilizarse cheques controladores, mediante estos cheques se lleva un control de viajes realizados por un camión en específico, debe contener la siguiente información:

- Fecha
- Hora de entrada y salida
- Placas de camión
- Color

Figura 35. Señalización exterior de la obra



Fuente:<http://civilgeeks.com/2011/12/08/previncin-de-accidentes-en-las-excavaciones-para-la-construccion/>. Consulta: 31 de mayo de 2016.

CONCLUSIONES

1. Se localizó y se determinó la ubicación del banco de material en el km 23 carretera antigua al lago de Amatitlán, mediante el uso de un mapa de posicionamiento geográfico y coordenadas geográficas.
2. Para la explotación del banco descrito en este trabajo, existen tres maneras de lograrlo: artesanal, uso de maquinaria y mediante el uso de explosivos.
3. Los procedimientos para la obtención de la licencia municipal para el movimiento de tierras, así como también para el uso de explosivos (en caso que se utilice tal método para la obtención del material), se deben realizar previamente a la explotación del banco.
4. Los principales ensayos de laboratorio para determinar la calidad del material del banco para su uso en carreteras son: proctor, CBR, ensayo de granulometría y ensayo de abrasión.

RECOMENDACIONES

1. El ingeniero residente o supervisor a cargo del proyecto, es el responsable de recibir el material extraído y el que debe realizar la visita de campo e inspección visual al banco de material, previo a realizar los muestreos.
2. Los profesionales interesados en la explotación de un banco, para un posterior uso, pueden considerar esta guía para el movimiento de tierras, no solo del banco ubicado en este trabajo, sino que también de cualquier otro banco de material que esté compuesto por suelo rocoso.
3. El ingeniero a cargo de la explotación del banco de material, debe tomar en consideración los distintos aspectos presentados en el capítulo cinco, relacionados con la administración de la maquinaria que se pretenda utilizar, al momento de realizar un movimiento de tierras en un banco de material.
4. La empresa o constructor que desee obtener material de un banco, por cualquier método existente (artesanal, maquinaria y/o explosivos), debe implementar un sistema de seguridad y organización de la obra, para brindar protección a los empleados y personas que circulen en los alrededores del lugar donde se realice un movimiento de tierras.

BIBLIOGRAFÍA


1. CATERPILLAR. *Manual de rendimiento*. Edición 34. EE.UU: 2003. 26 p.
2. DAMIÁN HERNÁNDEZ, Sergio Alberto. *Impacto ambiental de proyectos carreteros, efectos por la explotación de bancos de materiales y construcción de cortes y terraplenes*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2000. 87 p.
3. GUTIÉRREZ MACAYA, Rodrigo. *Elaboración de instructivos para movimientos de tierra masivos en faenas mineras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Austral de Chile, 2009. 102 p.
4. GÓMEZ FIGUEROA, Pedro Gustavo. *Proceso y equipo utilizado en la construcción de carreteras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 191 p.
5. LÓPEZ RUANO, Carlos René. *Apertura y ampliación de carreteras con el uso y manejo de explosivos para la voladura de roca*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 51 p.

6. LUNA GONZÁLEZ, David Antonio. *Metodología de actividades y cálculo de precios unitarios para la construcción de carreteras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 45 p.
7. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y vivienda. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Dirección General de Caminos, 2001. 807 p.
8. RODRÍGUEZ PÉREZ, Marlon Alejandro. *Métodos y formas para mitigar impactos ambientales en la explotación de bancos de material para carreteras rurales*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 31 p.

ANEXOS

Anexo 1. Informe petrográfico del banco de roca

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES
DE ENERGÍA Y MINAS
- CESEM -
Tel.: 24 18 91 39

CESEM 057-2017.
Guatemala, 12 de junio de 2017.

Estudiante
Elvis Rubén Pu Herrera
1ª. av. "B" 3-33 zona 7, Mixco
Tel.: 4190-5684

Estudiante Pu:

Sírvase encontrar adjunto el informe Petrográfico macroscópico de las rocas proporcionadas por usted para su análisis:

MUESTRA No. 1:

Localización:	14°29'43.94" N 90°37'15.36" E
Asunto:	Tesis de Ingeniería Civil
Color:	Gris claro.
Textura:	Fragmental.
Estructura:	No presente.
Tipo de roca:	Volcánica (Ígnea Extrusiva)
Nombre:	Ignimbrita (Toba Soldada)
Composición:	Fragmentos líticos y piroclásticos (arena y ceniza volcánica)

Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas.

