



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA
DEL ECUADOR**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**GUÍA PARA LA ELECCIÓN DE MAQUINARIA PESADA EN LA
EXCAVACIÓN DE ZANJAS PARA ALCANTARILLADO EN
SUELOS ARCILLOSOS**

AUTORES:

**GORKI DARÍO ORTEGA LARREA
OLIMPIA MARIBEL PACHECO TONATO**

QUITO-ECUADOR

2014

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por regalarme una vida de aprendizajes, experiencias y felicidad.

Le agradezco a mi padre Ángel y mi madre Leonor, por darme su apoyo incondicional, por confiar en mí, por darme la oportunidad de llegar lejos en la vida, por sus consejos y por sus oraciones para no darme nunca por vencido y seguir adelante con mis sueños.

A mis hermanos Miguel y Diego, por ser una inspiración de dedicación y perseverancia, por acompañarme en los momentos difíciles y de soledad. A mis hermanas María Sol y Emilia que con su inocencia y ternura han llenado mi vida de felicidad y mis angelitos que están en el cielo porque sus bendiciones siempre me supieron llegar.

A mi familia, abuelitos, tíos, primos, sobrinos, mi comunidad y mis amigos, por darme sus consejos, apoyo, ánimos, amistad y compañía en toda mi carrera. Algunos están aquí conmigo y otros en mis recuerdos y mi corazón, sin importar donde estén darles las gracias por todo lo que me han dado y todas sus bendiciones.

De igual manera a la Facultad, a todos mis profesores por brindarme sus conocimientos y enseñanzas, especialmente al Ing. Juan Carlos Montero por sus consejos y apoyo para la realización de este trabajo.

Y por última pero no menos importante a Ximena, gracias por tu apoyo, por tu entendimiento, comprensión, por aguantar todo el tiempo que estuvimos lejos y sin embargo siempre darme tu amor.

Gracias a todos y que Dios los Bendiga.

Gorki Ortega Larrea

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este punto tan especial en mi vida profesional, por sostenerme y darme fortaleza cuando estuve a punto de caer.

A mi padre Ángel por ser mi ejemplo a seguir, porque gracias a él sé que la responsabilidad se la debe vivir como compromiso de dedicación y esfuerzo y que cuando uno cae siempre debe levantarse.

A mi madre Leonor, que me ha enseñado que cerca de Dios todo es posible y que para llegar a la meta se necesita fortaleza para aceptar las derrotas y coraje para derribar los miedos.

A mis hermanos: Miguel, Diego, María Sol y Emilia y toda mi familia que la quiero mucho. Porque de una u otra forma, con su apoyo me han incentivado a seguir adelante a lo largo de toda mi vida brindándome su cariño.

A mis amigos que me brindaron su desinteresada amistad, por hacerme compañía con sus sonrisas de ánimo.

A Ximena, por creer en mí siempre y porque durante toda mi carrera me diste fuerzas para seguir adelante.

Y para mis amigos y familiares que no me acompañan hoy y que me ven desde el cielo, especialmente a mi bisabuelita Michita y mis angelitos, poderles decir, esto va por Uds.

Gorki Ortega Larrea

AGRADECIMIENTO

Por su sabiduría, un don que desde que inicio mis estudios jamás lo he defraudado, al Dios y a María Santísima del Quinche por esta dádiva de amor y sacrificio.

Más que un agradecimiento es un Dios le pague de corazón a ti papi, cada lágrima que derramamos juntos en estos años hoy es la alegría más grande nuestra Ingeniería Civil, tu sueño lo he cumplido con amor y sacrificio para jamás olvidar lo que me enseñaste a ser, tu pequeño genio. A ti mami, que en algún momento sentías que me derrotaban más tu amor me cobijó y protegió y hoy tu tercera hija espera llenarte de más alegría y orgullo.

A mis hermanas Marlene y Katherine que con su protección, entrega y ejemplo jamás permiten que decline y me brindan el amor a la vida, hoy nos convertimos en el ejemplo de Johana, Estefany y Sofía, mis nenas que su alegría y compañía llenan mis días. Mi Johana mi amiga compañera de todos los días, Dios le pague por entenderme y estar presente en todas las noches y ser el soporte que necesito.

A ti Arq. Cristián Sandoval, mi ejemplo de sacrificio al sueño que tenemos todos en la vida. Dios te bendiga por todos tus consejos, en mi corazón se guarda cada paso que me ayudaste a dar en este camino.

A mi compañero de tesis, Gorki Ortega, que apporto sin descanso con sus conocimientos y amistad en todo momento del desarrollo de esta investigación y así cerrar una etapa de nuestros estudios.

A mis profesores: Ing. Juan Merizalde, Ing. Freddy Paredes e Ing. Juan Carlos Montero, quienes han colaborado en mi formación profesional a través de su sabiduría.

A mi querida Pontificia Universidad Católica del Ecuador, digna institución que me entrega mi profesión y un sinfín de valores que sabré llevar y defender cada día.

Maribel Pacheco Tonato

DEDICATORIA

Han pasado los años; una etapa concluye y con esta los mejores momentos, lecciones, caídas y logros que la vida me pudo regalar. El trabajo y sacrificio entregado hoy se refleja en este anhelado título, mas es imprescindible dedicar este proyecto a todas a aquellas personas que hicieron posible este sueño, sueño que es una realidad:

Mis queridos padres pilar fundamental en mi vida, quienes con sus consejos, desvelos, sabiduría y firmeza me han guiado desde siempre y me entregan hoy a la vida profesional con el más grande orgullo y amor que un hijo puede sentir. Su mirada y calor en las madrugadas fueron y son mi refugio para no derrotarme y seguir el sendero que su ejemplo ha marcado en mi vida.

Mis hermanas Marlene, Katherine, Johana, Estefany y Sofía, seres que con un abrazo o tan solo una sonrisa me motivaban a seguir sin bajar la mirada ante los problemas. Ese amor y paciencia que jamás faltará en mi corazón.

Mis cuñados Edgar y Wilmer quienes jamás permitieron que los peligros de cada noche me aquejaran, el tiempo que me dedicaron hoy se transforma en esto mi título a ustedes también hermanos.

Como olvidar a esas dos personas que sin ser de mi familia me supieron guiar en cada peldaño de esta carrera Arq. Patricio Sigcha y Arq. Cristián Sandoval, un Dios le pague sincero por sus consejos y fuerza por ustedes hoy su Maricita forma ya parte de su equipo de trabajo.

Mi padrino Dr. Manuel López, esas tardes en donde la nostalgia de ver que en algún momento mi vida se apagaba, no permitía que un lágrima más rodara y me llenaba de amor y paciencia ante los problemas que suscitaban.

Finalmente a ti, quien sacó a flote a esa persona que había olvidado, en tus palabras siempre encontré ese orgullo que sientes por mí y el ánimo de jamás defraudarte. Me regalas hoy la alegría más grande, el amor por una nueva vida.

Maribel Pacheco Tonato

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	XIII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
METODOLOGÍA	2
CAPITULO 1: GENERALIDADES	4
1.1 Importancia de la maquinaria en la construcción	4
1.2.- Importancia del estudio de suelos en la construcción	9
1.2.1.- Importancia del estudio de suelos en el Ecuador	12
1.3.- Excavación de zanjas para alcantarillado	15
1.4.- Incidencia de las características de los suelos arcillosos en la evaluación teórica de la maquinaria pesada	21
1.4.1.- Suelos arcillosos en el Ecuador.-	23
CAPITULO 2: SUELOS ARCILLOSOS	29
2.1.- Definición de los suelos arcillosos	29
2.1.1.- Características de las arcillas	29
2.2.- Parámetros de identificación del suelo arcilloso.-	30
2.2.1.-Granulometría de los suelos.-	30
2.2.2.- Límites de Atterberg.-	32
2.3.- Clasificación de los suelos.-	35
2.3.1.- Clasificación de los suelos arcillosos mediante el sistema SUCS	37
2.3.2.- Clasificación AASHTO	42
2.4.- Ensayos de laboratorio para determinar los parámetros de densidad y resistencia de los suelos arcillosos	46
2.4.1.- Ensayo de Factor de Esponjamiento	46
2.4.2.- Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	47
2.4.3.- Triaxial	48
2.4.4.- Compresión Simple	49
2.4.5.- Peso Unitario	50
2.4.6.- Método del extractor de núcleos.-	51
2.4.7.- Ensayo de cono y arena	52
2.4.8.- Método del balón de agua	53
2.4.9.- Método con el densímetro nuclear.-	54
2.5.- Presentación de los resultados de ensayos de laboratorio PUCE.-	55
2.5.1.- Ensayos que correlacionan densidades sueltas y en banco de los suelos arcillosos.-	56
2.5.2.- Ensayos que correlacionan la resistencia de los suelos arcillosos	63

2.6.- Normativa para excavación en los suelos.-	66
2.6.1.- Especificaciones Técnicas de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito	66
2.6.2.- Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F- 002 TOMO II.-	68
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LA EXCAVACION DE ZANJAS DE ALCANTARILLADO EN SUELOS ARCILLOSOS	70
3.1.- Clasificación de la maquinaria pesada	70
3.1.1.- Maquinaria Pesada	71
3.2.- Partes fundamentales de la maquinaria de construcción	77
3.2.1.- Motor	78
3.2.2.- Sistema de Transmisión	78
3.2.3.- Sistema o tren de rodaje.-	79
3.2.4.- Sistemas de control.-	80
3.2.5.- Chasis	81
3.2.6.- Órganos de trabajo	82
3.3.- Estudio técnico de la maquinaria para excavación de zanjas para alcantarillado.-	83
3.3.1.- Excavadora	83
3.3.2.- Retro-excavadora	90
3.3.3- Mini cargador	93
3.4.- Elección del cucharón para la maquinaria pesada de excavación de zanjas para alcantarillado.-	97
3.5.- Tiempo de ciclo.	101
3.6.- Conceptos básicos de maquinaria y rendimiento	102
3.6.1.- Potencia	102
3.6.2.- Potencia inicial	102
3.6.3.- Potencia nominal	102
3.6.4.- Potencia disponible	102
3.6.5.- Potencia utilizable	102
3.6.6.- Potencia necesaria	103
3.6.7.- Limitaciones de potencias	103
3.6.8.- Altitud	103
3.7.- Mantenimiento de la maquinaria pesada para excavación de zanjas de alcantarillado	104
CAPITULO 4: DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA PESADA EN LA EXCAVACION DE ZANJAS PARA ALCANTARILLADO EN SUELOS ARCILLOSOS	106

4.1.- Definición de rendimiento de la maquinaria	106
4.2.- Tipos de maquinaria por rendimiento	107
4.2.1.- Máquina de Operación Intermitente	107
4.2.2.- Máquinas de Operación Intermedia:	108
4.2.3.- Máquinas de Operación Continua:	108
4.3.- Parámetros de la maquinaria de excavación de zanjas para alcantarillado	109
4.3.1.- Tiempo de ciclo	109
4.3.2.- Pérdida de potencia por altura	110
4.4.- Parámetros de los suelos arcillosos.-	113
4.4.1.- Tablas que correlacionan densidades y resistencias de los suelos arcillosos.	114
4.5.- Cálculo de rendimiento de la maquinaria pesada para excavación de zanjas para alcantarillado.-	118
4.5.1.- Producción (P)	119
4.5.2.- Capacidad de la máquina por ciclo de tierra excavada (Q).-	120
4.5.3.- Número de ciclos por Hora (N).-	120
4.5.4.- Eficiencia de trabajo	121
4.6.- Desarrollo del cálculo de redimiendo en Excel	137
4.6.1.- Factor de Eficiencia del Tiempo (i)	137
4.6.2.- Factor de Operación de la Maquinaria (o)	138
4.6.3.- Factor de Administración de Obra (a)	139
4.6.4.- Factor de Tipo de Material (m)	140
4.6.5.- Factor de Llenado de Cucharón (c)	144
4.6.6.- Factor de Maniobra y Alcance (g)	149
4.6.7.- Factor de imprevistos (l)	152
4.6.8.- Cálculo de la producción.-	153
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163
5.1 Conclusiones	163
5.2 Recomendaciones	166
BIBLIOGRAFÍA.-	167

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1. GENERALIDADES

Figura 1.1 Primera Motoniveladora.-	4
Figura 1.2 Motoniveladora.-	4
Figura 1.3 Primer Bulldozer Reconocible.-	5
Figura 1.4 Bulldozer.-	5
Figura 1.5 Excavaciones.-	7
Figura 1.6 Movimiento de tierras.-	7
Figura 1.7 Construcción de represas.-	7
Figura 1.8 Licuefacción de suelos.	10
Figura 1.9 Falla de muro.	11
Figura 1.10 Falla de alcantarilla por asentamiento diferencial.	11
Figura 1.11 Maquinaria de la mina Pingulmi.	13
Figura 1.12 Maquinaria Proyecto Ruta Viva.	13
Figura 1.13 Derrocamiento Sector Antiguo Aeropuerto.	14
Figura 1.14 Maquinaria en desbanque bodegas del Banco del Pichincha sector Oyambarillo.-	14
Figura 1.15 Archivo fotográfico Construcción de Alcantarillado en el Cantón Paltas Provincia de Loja.-	15
Figura 1.16 Red de alcantarillado.-	16
Figura 1.17 Método escalonado.-	18
Figura 1.18 Ángulo de inclinación.-	18
Figura 1.19 Entibación.-	19
Figura 1.20 Archivo fotográfico Construcción de Alcantarillado en el Cantón Paltas Provincia de Loja.-	20

Figura 1.21 Colocación de tubería para alcantarillado.-	20
Figura 1.22 Suelos Arcillosos en la Región Costa.-	24
Figura 1.23 Suelos Arcillosos en la Región Interandina.-	25
Figura 1.24 Suelos Arcillosos en la Región Amazónica.-	26
Figura 1.25 Suelos Arcillosos en la Región Insular.-	27
Figura 1.26 Los Suelos Arcillosos en el Ecuador.-	28

CAPÍTULO 2. SUELOS ARCILLOSOS

Figura 2.1 Juego de Tamices ASTM C-33.-	31
Figura 2.2 Tamizado por el método del Hidrómetro.-	32
Figura 2.3 Esquema de los Límites de Atterberg.-	33
Figura 2.4 Ensayo de Límite Líquido.-	34
Figura 2.5 Ensayo de Límite Plástico.-	34
Figura 2.6 Ensayo de Límite de retracción o contracción.-	35
Figura 2.7 Carta de Plasticidad – Casagrande.-	41
Figura 2.8 Clasificación AASHTO.-	44
Figura 2.9 Equipo para Ensayo de Factor de Esponjamiento.-	46
Figura 2.10 Correlación entre N y Compresión Simple - Ensayo SPT.-	48
Figura 2.11 Equipo para Ensayo Triaxial.-	49
Figura 2.12 Esquema del ensayo de compresión simple.-	50
Figura 2.13 Esquema del ensayo Extractor de Núcleos.-	52
Figura 2.14 Equipo para el ensayo de cono y arena.-	53
Figura 2.15 Ensayo de balón de agua.-	54
Figura 2.16 Ensayo del densímetro nuclear.-	55

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LA EXCAVACION DE ZANJAS DE ALCANTARILLADO EN SUELOS ARCILLOSOS

Figura 3.1 Maquinaria según la Fuente de Energía.-	74
Figura 3.2 Maquinaria según el Sistema de Traslación.-	75
Figura 3.3 Maquinaria según las Operaciones que realizan.-	76
Figura 3.4 Motor de la maquinaria para excavación.-	78
Figura 3.5 Sistema de transmisión de la Excavadora Hidráulica.	79
Figura 3.6 Tipos de trenes de rodaje. -	80
Figura 3.7 Sistema de control de una retroexcavadora.-	81
Figura 3.8 Chasis de la maquinaria para excavación.-	82
Figura 3.9 Parte de Excavadora.-	83
Figura 3.10 Excavadora tipo Rosario y Tamber.-	85
Figura 3.11 Excavadora Hidráulica.	85
Figura 3.12 Tipos de plumas en las excavadoras, una y dos piezas.-	87
Figura 3.13 Retro excavadoras.-	91
Figura 3.14 Retro excavadora y sus múltiples aditamentos.-	92
Figura 3.15 Mini cargador con martillo hidráulico.	94
Figura 3.16 Mini cargador con brazo excavador.-	95
Figura 3.17 Mini cargador con pala.-	95
Figura 3.18 Mini cargador con rodillo.-	95
Figura 3.19 Aditamento del mini cargador Brazo excavador.-	96
Figura 3.20 Clasificación de los cucharones.-	99

Figura 3.21 Factor de llenado.-	100
---------------------------------	-----

**CAPÍTULO 4. DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DE LA
MAQUINARIA PESADA EN LA EXCAVACION DE ZANJAS PARA
ALCANTARILLADO EN SUELOS ARCILLOSOS**

Figura 4.1 Tipos de Maquinaria por Rendimiento – Ciclo Intermitente – Operación Intermedia – Operación Continua.-	108
---	-----

Figura 4.2 Turboalimentador para la maquinaria de excavación.-	120
--	-----

Figura 4.3 Receptáculo con material al ras de su capacidad.-	130
--	-----

Figura 4.4 Receptáculo con capacidad colmada.-	131
--	-----

Figura 4.5 Cucharón con capacidad colmada.-	131
---	-----

Figura 4.6 Receptáculo a capacidad colmada.-	132
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2. SUELOS ARCILLOSOS

Tabla 2.1 Clasificación Suelo Fino por SUCS.-	38
Tabla 2.2 SUCS - Símbolos de grupo para suelos arenosos.-	39
Tabla 2.3 SUCS - Símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.-	39
Tabla 2.4 Características de los Suelos Arcillosos.-	42
Tabla 2.5 Recopilación de datos de Ensayo Factor de Esponjamiento.-	56
Tabla 2.6 Recopilación de datos de Ensayo Factor de Esponjamiento.-	56
Tabla 2.7 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial.-	57
Tabla 2.8 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial.-	58
Tabla 2.9 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial.-	59
Tabla 2.10 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial.-	59
Tabla 2.11 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial.-	60
Tabla 2.12 Recopilación de datos de Ensayo Cono y Arena.-	60
Tabla 2.13 Recopilación de datos de Ensayo Cono y Arena.-	61
Tabla 2.14 Recopilación de datos de Ensayo Cono y Arena.-	61
Tabla 2.15 Recopilación de datos de Densidad de Campo.-	62
Tabla 2.16 Recopilación de datos de Densidad Natural.-	62
Tabla 2.17 Recopilación de datos de Densidad Natural.-	63
Tabla 2.18 Recopilación de datos de Densidad Natural.-	63
Tabla 2.19 Recopilación de datos de Compresión Simple.-	63
Tabla 2.20 Recopilación de datos de Compresión Simple.-	64
Tabla 2.21 Recopilación de datos de Compresión Simple.-	64
Tabla 2.22 Recopilación de datos de Compresión Simple.-	64
Tabla 2.23 Recopilación de datos de Compresión Simple.-	64
Tabla 2.24 Recopilación de datos de Compresión Simple.-	65
Tabla 2.25 Recopilación de datos de Compresión Simple.-	65
Tabla 2.26 Recopilación de datos de Compresión Simple.-	65

Tabla 2.27 Recopilación de datos de Compresión Simple.-	65
---	----

**CAPÍTULO 4. DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DE LA
MAQUINARIA PESADA EN LA EXCAVACION DE ZANJAS PARA
ALCANTARILLADO EN SUELOS ARCILLOSOS**

Tabla 4.1 Ejemplo de cuantificación de tiempo de ciclo de la maquinaria.-	110
Tabla 4.2 Consistencia de los Suelos Arcillosos.-	114
Tabla 4.3 Correlación entre resistencia.-	114
Tabla 4.4 Correlación entre el N (SPT) – Compresión Simple.-	115
Tabla 4.5 Densidades de las arcillas.-	115
Tabla 4.6 Esponjamiento característico de los Suelos.-	116
Tabla 4.7 Densidades características de las Arcillas.-	116
Tabla 4.8 Densidad y Factor de Esponjamiento de las Arcillas.-	116
Tabla 4.9 Densidad en Banco de las Arcillas.-	117
Tabla 4.10 Eficiencia de tiempo.-	123
Tabla 4.11 Operación de la Maquinaria.-	124
Tabla 4.12 Administración de Obra.-	125
Tabla 4.13 Tipo de Material.-	126
Tabla 4.14 Factor de Tipo de Material para Suelo Arcilloso.-	127
Tabla 4.15 Factores de corrección de excavación.--	133
Tabla 4.16 Factor de maniobra y alcance.-	134
Tabla 4.17 Factor de Maniobra.-	134
Tabla 4.18 Factor de corrección de Maniobra y Alcance.-	135
Tabla 4.19 Factor por eventualidad.-	136
Tabla 4.20 Condiciones del suelo arcilloso.	144

ÍNDICE DE FÓRMULAS

CAPÍTULO 2. SUELOS ARCILLOSOS

Fórmula 2.1 Peso Unitario Húmedo	51
Fórmula 2.2 Peso Unitario Seco	51
Fórmula 2.3 Peso Unitario Saturado	51

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LA EXCAVACION DE ZANJAS DE ALCANTARILLADO EN SUELOS ARCILLOSOS

Fórmula3.1 Carga Útil del Cucharón	100
Fórmula 3.2 Pérdida de potencia por la altura - Motores de aspiración normal	104
Fórmula 3.3 Pérdida de potencia por la altura – Motores turboalimentados	104

CAPÍTULO 4. DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA PESADA EN LA EXCAVACION DE ZANJAS PARA ALCANTARILLADO EN SUELOS ARCILLOSOS

Fórmula 4.1 Producción general de la maquinaria	118
Fórmula 4.2 Producción de la maquinaria	119
Fórmula 4.3 Número de ciclos en horas	120
Fórmula 4.4 Tiempo de ciclo en minutos afectado por pérdida de potencia	121
Fórmula 4.5 Eficiencia de trabajo de la maquinaria de excavación	122
Fórmula 4.6 Capacidad de llenado de cucharón	128
Fórmula 4.7 Porcentaje de afectación por imprevistos	136

RESUMEN

La Guía para la elección de maquinaria pesada en la excavación de zanjas para alcantarillado en suelos arcillosos relaciona las características técnicas de la excavadora, retro excavadora y minicargador con las propiedades únicas que el suelo arcilloso presenta para la obtención de un rendimiento teórico.

Esta guía consta de una hoja de cálculo que determina dicho rendimiento teórico involucrando 11 factores de eficiencia de trabajo, cada uno de ellos directamente proporcionales a este rendimiento o producción.

ABSTRACT

The guide to choose excavation machinery for sewer system ditches in soils that are composed entirely of clay deposits, links the technical features of excavators, backhoe loaders, and compact loaders with the unique properties of clays to obtain a theoretical performance.

This guide includes a worksheet to assess the theoretical performance involving 11 efficiency factors, which are directly proportional to this production value.

INTRODUCCIÓN

Considerando la gran incidencia que tiene la maquinaria pesada en la excavación de zanjas para alcantarillado y observando la importancia de esta en la construcción, es fundamental para el Ingeniero Civil o Constructor elegir la maquinaria óptima para estos tipos de proyectos. El equipo pesado es un componente indispensable en la ejecución de una obra, ya que permitirá disminuir tiempos de ejecución de obra elevando la producción y disminuyendo costos.

Muchas empresas constructoras nacionales y extranjeras han emprendido en la contratación de proyectos civiles importantes en el país, por lo que es indispensable plantear propuestas que puedan ayudar a la optimización del conjunto de maquinaria que se están empleando considerando los parámetros de comparación entre el tipo maquinaria para excavación de zanjas para alcantarillado y el suelo arcilloso.

Cabe resaltar que el tipo de suelo y sus respectivas características son factores preponderantes en la selección de un tipo de maquinaria o conjunto de equipos. Por lo tanto para elegir la maquinaria óptima, se analizarán las características físicas mecánicas del suelo arcilloso, utilizando datos provistos por el laboratorio de la PUCE.

Uniendo estos dos conceptos que son la maquinaria pesada y los suelos arcillosos se obtendrá un rendimiento teórico, el mismo que se lo utilizará para el cálculo de la producción de la maquinaria y que podrá ayudar para el cálculo de precios unitarios de ser necesarios por los constructores.

Se denota la importancia que tiene tanto el operador como el ingeniero civil al momento del cálculo de producción, ya que no sería posible el uso de la maquinaria

ni de las técnicas para determinación de los parámetros del suelo sin el talento humano, principal recurso de la construcción.

Cabe recalcar que no se ha considerado marcas de maquinaria ni tampoco algún modelo en particular para que de esta manera la tesis pueda ser funcional para toda la maquinaria de excavación que posea el constructor.

OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una guía de maquinaria pesada que permita al constructor elegir el equipo apropiado cuando trabaje en excavación de zanjas de alcantarillado en suelos arcillosos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar y estudiar los parámetros del suelo que intervienen en el cálculo del rendimiento y los ensayos que permiten identificar dichos parámetros.
- Determinar y analizar los principales factores de la maquinaria pesada que intervienen en la excavación para determinar su rendimiento.
- Calcular el rendimiento de la maquinaria pesada utilizada para la excavación en zanjas para alcantarillado utilizando la fórmula dada por el Manual de Costos de Construcción Pesada del MOP, mediante la implementación de una hoja de cálculo que facilite al usuario su utilización.

METODOLOGÍA

En la parte inicial de la presente investigación se describirá la importancia que ha desarrollado la maquinaria pesada en los proyectos civiles y los correspondientes a la excavación de zanjas para alcantarillado, dando una pauta de la historia y evolución

que han presentado ciertas máquinas y la incidencia de las características de los suelos que se presenta en campo, tomando como referencia los suelos que se encuentran en el Ecuador.

En la segunda etapa de este estudio se definirá las características de los suelos arcillosos, y la respectiva clasificación de éstos mediante los sistemas SUCS y AASHTO. También se describirá los diferentes tipos de ensayos que se pueden realizar tanto en campo como en laboratorio, para determinar los parámetros del suelo que tengan mayor incidencia dentro del cálculo del rendimiento de la maquinaria pesada dentro de la excavación de zanjas para alcantarillado.

En la tercera fase de estudio se analizarán cada una de las máquinas que se emplean en la excavación de zanjas de alcantarillado. Se estudiará sus características técnicas y las variedades que pueden presentar, partiendo para el estudio de la investigación con las siguientes maquinas: Excavadora Hidráulica, Retroexcavadora y Mini Cargador, ya que esta es la maquinaria de principal uso en el país, tomándolos como maquinaria estacionaria debido a que para la excavación, dicha maquinaria no debería moverse.

En la parte final de la investigación se determinará el rendimiento de la maquinaria considerando todos los factores que inciden en este, tal es el caso de la pérdida de potencia por altitud y la eficiencia de trabajo. Parra este último término se empleará la expresión del Manual de Costos de Construcción Pesada MOP, en la que se encuentra la mayor incidencia de coeficientes como son: maquinaria, las características del suelo antes especificadas y los factores humanos, datos predominantes en cualquier cálculo de rendimiento.

Finalmente, se realizará una hoja de cálculo que permita realizar de manera eficaz y eficiente el cálculo de rendimiento de la maquinaria pesada para la excavación de zanjas para alcantarillado, recopilando todos los datos predominantes de los capítulos 2 y 3, proporcionando de esta manera una herramienta y una guía al constructor que le permita optimizar el tiempo, aumentar el rendimiento, considerando los factores que inciden de manera directa a la excavación.

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 Importancia de la maquinaria en la construcción

Para hablar de la maquinaria en la construcción, se debe remontar a sus orígenes, los cuales se dieron en Estados Unidos, ya que fueron los primeros en desarrollar innovaciones, dando como resultado un ahorro significativo en el costo de mano de obra y en tiempos de ejecución, los que se dieron en el campo de la agricultura y posteriormente en el campo de la construcción. La figura 1.1 y 1.2 ilustran el cambio de una Motoniveladora.¹



Figura 1.1 Primera Motoniveladora - Mamani, Richard. *Fichas Maquinarias*. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf



Figura 1.2 Motoniveladora - <http://wikimedia.org/wiki/File:Motoniveladora>

¹ Mamani Richard. *Fichas Maquinarias*. Internet. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf. Acceso: 6 de junio de 2013.

En Europa se nota un atraso en lo que es el desarrollo de la maquinaria, ya que en este continente se utilizaba abundante mano de obra, porque realizaban obras de menor escala. Pese a esto, Europa creó en el siglo XVIII la rueda de cadena u oruga, y fueron los precursores de las máquinas a vapor.

En sus inicios la maquinaria fue movilizada por animales, posteriormente debido a la cantidad de animales que se requerían para el acarreo de estas máquinas, se utiliza la caldera de vapor, la cual fue sustituida en 1908 por el motor a combustión interna.²



Figura 1.3 Primer Bulldozer Reconocible - Mamani, Richard. *Fichas Maquinarias*. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf



Figura 1.4 Bulldozer - <http://wikimedia.org/wiki/File:CAT-D10N-pic001.jpg>

² Mamani Richard. *Fichas Maquinarias*. Internet. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf. Acceso: 6 de junio de 2013.

El avance más notorio en el desarrollo de la maquinaria radica entre 1880 hasta finales de la primera guerra mundial, donde aumentaron de tamaño los motores, aparece el motor a diésel, también los sistemas hidráulicos. Al principio de la segunda guerra mundial la maquinaria había llegado a tener su forma actual.³

En países desarrollados se viene utilizando desde hace varios años la metodología de que los trabajos de obras públicas se realicen con máquinas, mientras que en los países en vías de desarrollo, la mano de obra representa un elemento de construcción que todavía se utiliza con gran intensidad.

El progresivo reemplazo en la utilización de la mano de obra de los trabajos, viene también impuesta por un mejor nivel de vida y por la posibilidad de sustituir al hombre por máquinas, por su notorio ahorro en el tiempo de ejecución de la obra.

El desarrollo industrial acelerado de muchos países, ha desatado que se le confíe al hombre trabajos que requieren mayor precisión o habilidad.⁴

Por lo tanto, la relación entre la maquinaria y la Ingeniería Civil es fundamental. El campo de aplicación de esta profesión es amplio y la gran parte de los proyectos de Ingeniería Civil emplea la maquinaria pesada. Se enlista algunos ejemplos de dichos trabajos:

- Movimientos de tierras
- Presas
- Túneles
- Dragado
- Excavaciones
- Cimentaciones profundas

³ *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

⁴ Díaz del Río Manuel, *Manual de Maquinaria de la Construcción*, Madrid, McGraw-Hill, 2da edición, 2007. Pag1.



Figura 1.5 Excavaciones - http://blog.aguacanal.es/2009_12_01_archive.html



Figura 1.6 Movimiento de tierras - <http://www.hondoex.com/grandes/big.jpg>



Figura 1.7 Construcción de represas - <http://technoproject.com.mx/Site6.html>

Es importante indicar la importancia de la maquinaria en la construcción y realizar un estudio de la misma al momento de elaboración de ofertas, ya que su buen empleo determinará no solamente la obtención de mayores ganancias, sino también un ahorro significativo en el tiempo de ejecución de obra.

Tomando en cuenta que la construcción es uno de los sectores económicos más importantes en nuestro país y que involucra la utilización de diversos tipos de maquinaria, los constructores ven la necesidad de consultar catálogos de proveedores de estos equipos para tener una idea clara de cómo emplear esta maquinaria en la ejecución de los proyectos civiles. El éxito de un proyecto dependerá de la adecuada elección de la máquina, su correcta operación y la experiencia de sus operarios, ya que si se tiene una mala distribución, puede terminar en una aceleración del deterioro de la máquina.⁵

"Actualmente los ingenieros civiles y demás profesionales de la construcción no cuentan con una guía o compendio que permita conocer, de manera concreta y abreviada, el panorama existente de la maquinaria pesada que debe utilizarse en las diferentes actividades que componen la construcción".⁶

⁵ Bohórquez Solano Nestor Augusto. *Maquinaria para la Construcción de Vías*. Internet. <http://apuntesdeinvestigacion.upbbga.edu.co/wp-content/uploads/Esp.-Vias-XI-Nestor-Boh%C3%B3rquez.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

⁶ Bohórquez Solano Nestor Augusto. *Maquinaria para la Construcción de Vías*. Internet. <http://apuntesdeinvestigacion.upbbga.edu.co/wp-content/uploads/Esp.-Vias-XI-Nestor-Boh%C3%B3rquez.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

1.2.- Importancia del estudio de suelos en la construcción

Todo proyecto de construcción civil requiere estudios de cada rama de la ingeniería, para establecer estructuras basadas en diseños óptimos que garanticen su funcionamiento y seguridad durante el tiempo útil que se estima durará cada estructura u obra civil.

“La Geotecnia y la Mecánica de Suelos es la ciencia mediante la cual se integran de forma sistemática y organizada los estudios que permiten obtener datos firmes y confiables del suelo. Estos datos proveen al ingeniero civil una concepción razonablemente exacta de las propiedades físicas del suelo, para ser consideradas en las distintas etapas de un proyecto (Sower, 1979)”⁷

La mecánica de suelos está directamente ligada con el diseño y construcción de proyectos de la Ingeniería Civil, puesto que proporciona los parámetros necesarios para llevar a cabo el análisis de los puntos de apoyo o cimentaciones, granulometrías, clasificación de suelos por los sistemas establecidos, capacidad de carga del suelo de soporte, resistencia al corte, cohesión, ángulo de fricción entre otros valores y características propios de los suelos que se encuentren para cada proyecto.

La importancia del estudio de suelos depende del tipo del proyecto que se va a realizar y de la magnitud de éste. ⁸Con los resultados de los estudios de suelos se pueden tomar decisiones, como por ejemplo: llevar material de reposición cuando las condiciones del suelo natural son demasiado pobres, el mejoramiento de los suelos,

⁷ Capa Vicente. *Importancia de la Mecánica de Suelos en el Desarrollo de los proyectos de Construcción de Obras Civiles*. Internet. <http://cronica.com.ec/index.php/opinion/item/65347-importancia-de-la-mec%C3%A1nica-de-suelos-en-el-desarrollo-de-los-proyectos-de-construcci%C3%B3n-de-obras-civiles>. Acceso: 20 de junio de 2013.

⁸ Arquigrafico. *Estudio de Suelos en la Construcción, para evitar desplomes en los edificios*. Internet. <http://www.arquigrafico.com/estudio-de-suelos-en-la-construccion-para-evitar-desplomes-en-los-edificios/>. Acceso: 22 de junio del 2013.

la profundidad de las cimentaciones. Permite también pronosticar si a lo largo de la vida útil de cualquier obra civil sufrirá asentamientos.

“El no realizar un estudio de suelos y permitir que el ingeniero encargado del diseño asuma parámetros de los suelos a su criterio es una falla grave y por ningún motivo será un ahorro económico, en un caso extremo puede llevar a problemas serios de estabilidad de la estructura principal y con la generación posterior de gastos para el reforzamiento o reemplazo total de la estructura. Se debe tener claro que el comportamiento de los suelos no es igual y por tal motivo el estudio de suelos es propio de cada proyecto.”⁹

Los problemas más comunes que se pueden mencionar por la falta de un estudio de suelos previo a la construcción de las estructuras u obras civiles son: falla de la cimentación, asentamientos diferenciales, colapso de muros, licuefacción de los suelos, mismos que se ilustran en las siguientes figuras 1.8, 1.9 y 1.10:



Figura 1.8 Licuefacción de suelos - <http://imgres.upload.wikimedia.org/wikipedia>.

⁹ Capa Vicente. *Importancia de la Mecánica de Suelos en el Desarrollo de los proyectos de Construcción de Obras Civiles*. Internet. <http://cronica.com.ec/index.php/opinion/item/65347-importancia-de-la-mec%C3%A1nica-de-suelos-en-el-desarrollo-de-los-proyectos-de-construcci%C3%B3n-de-obras-civiles>. Acceso: 20 de junio de 2013.



Figura 1.9 Falla de muro - <https://.licuefaccion+de+suelos.b44oHABg&sqi=2&ved>.



Figura 1.10 Falla de alcantarilla por asentamiento diferencial - <https://ASENTAMIENTO+de+suelos.isch&sa=X>

“Los suelos son el material de construcción más antiguo y complejo, debido a su gran diversidad y a sus características mecánicas, las cuales se ven afectadas directamente por factores externos, presentes en el lugar donde se localizan.”¹⁰

“El suelo es el estrato físico sobre el cual todas las estructuras de grande o pequeña envergadura se asientan y que soporta todas las cargas transmitidas y distribuidas por las mismas.”¹¹

¹⁰ Geldstein Sergio. *Introducción a Obras Civiles*. Internet: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_m_r/capitulo1.pdf, Acceso: 20 de junio de 2013.

¹¹ Geldstein Sergio. *Introducción a Obras Civiles*. Internet: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_m_r/capitulo1.pdf, Acceso: 20 de junio de 2013.

Es preponderante realizar el estudio de suelos en la presente investigación para determinar:

- La clasificación del suelo, basándose en la granulometría y límites de Atterberg.
- Densidad suelta y en banco.
- Resistencia a la compresión simple que presenta ante la excavación con la maquinaria pesada.

Lo que determinará el tipo y estado del material a excavar; que se constituyen como factores que afectan directamente el rendimiento de la excavadora, retro excavadora y mini cargador. Entendiéndose que el rendimiento es la cantidad de unidades de una tarea, en este caso de estudio serían los metros cúbicos de material excavado en un tiempo determinado.

1.2.1.- Importancia del estudio de suelos en el Ecuador

La Ingeniería Civil en la última década ha desarrollado grandes cambios en el sector de la construcción. Las rutas de acceso, la implementación de centros de desarrollo, el reordenamiento de centros de abastos, cada uno con la importancia del caso, muestra que el Ecuador está preparado para realizar obras civiles de pequeña y gran envergadura, por lo que es necesario emprender con diferentes y nuevas líneas de acción en la ejecución de proyectos.

Con base a las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F-2002, se puede decir que el estudio de suelo no ayuda a la selección de la maquinaria pesada para la construcción por lo que no tiene la relevancia necesaria para la ejecución de los proyectos, siendo esta una de las más importantes decisiones cuando se trabaja en un proyecto civil, puesto que la elección correcta de la maquinaria representa un ahorro o un retraso de la obra tanto en rubros como en tiempo.

La guía de elección de la maquinaria pesada para la excavación de zanjas de alcantarillado que se presenta se basa en los estudios de suelos arcillosos y las especificaciones técnicas y mecánicas del equipo empleado.

A continuación se presenta imágenes 1.11, 1.12, 1.13, 1.14 y 1.15 de la maquinaria pesada en obras visitadas que indican que la maquinaria debe ser seleccionada de acuerdo al tipo de proyecto:



Figura 1.11 Maquinaria de la mina Pingulmi. Autores: Ortega Gorki, Pacheco Maribel

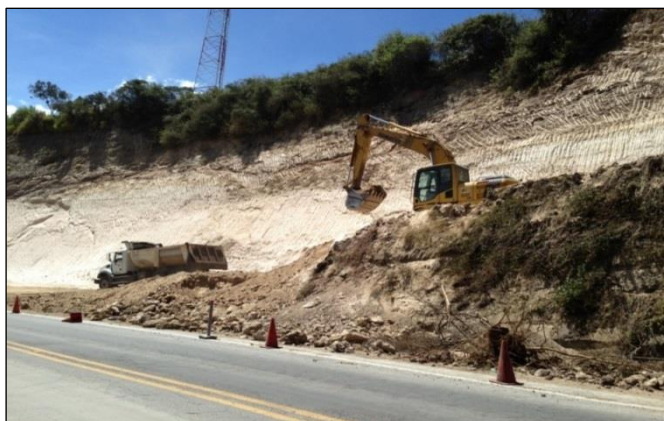


Figura 1.12 Maquinaria Proyecto Ruta Viva. Autores: Ortega Gorki, Pacheco Maribel



Figura 1.13 Derrocamiento Sector Antigo Aeropuerto. Autores: Ortega Gorki, Pacheco Maribel



Figura 1.14 Maquinaria en desbanque bodegas del Banco del Pichincha sector Oyambarillo. Autores: Ortega Gorki, Pacheco Maribel



Figura 1.15 Archivo fotográfico Construcción de Alcantarillado en el Cantón Paltas Provincia de Loja. Autores: Ortega Gorki, Pacheco Maribel

1.3.- Excavación de zanjas para alcantarillado

Los organismos públicos se constituyen en los promotores de importantes inversiones en la realización de proyectos que corresponden al interés público, donde se pueden incluir los alcantarillados, vías, hidroeléctricas, infraestructura para educación, vivienda, salud, puentes, etc. Esto ayuda a subir los estándares de vida de las personas en todas las regiones, poniendo énfasis en proyectos que permitan a los usuarios gozar de servicios básicos.¹²

Los alcantarillados son sistemas o estructuras de recolección y transporte tanto de aguas residuales como aguas lluvias, desde el lugar donde se generan hasta el lugar donde se tratan, por lo que la realización de estos tipos de obras es de vital importancia para una población, ya que la falta de estos o sus vetustas condiciones pueden provocar daños a la salud de los pobladores y al medio ambiente, en el caso

¹² Ramón Máximo. *Maquinaria y Equipo de Construcción*, Quito, 2008. Pag19.

de las aguas residuales. En el caso de las aguas lluvias si estas no se conducen de una manera eficiente pueden producir inundaciones, taponamientos, deslizamientos si estas se encuentran en pendientes, provocando igualmente daños a las comunidades.¹³

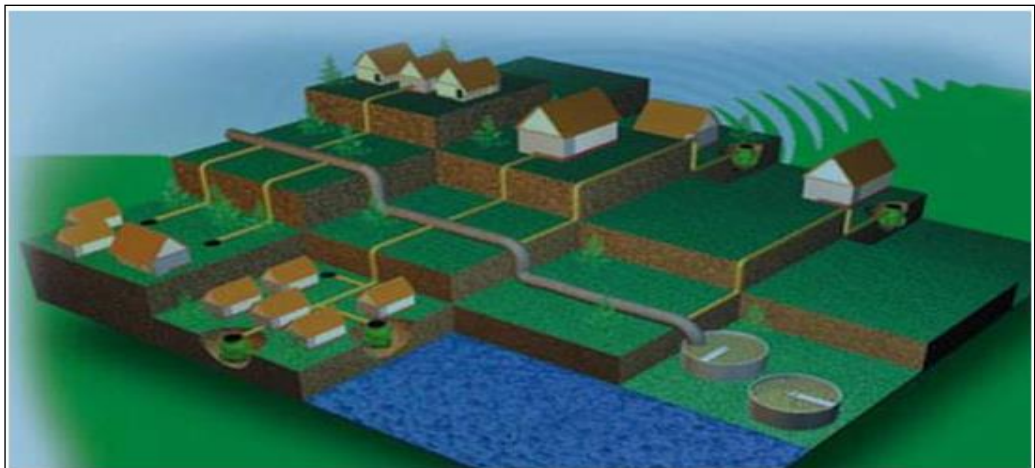


Figura 1.16 Red de alcantarillado

<http://www.monografias.com/trabajos93/vertimientos/vertimientos.shtml>

La investigación que se presenta se basa en el estudio de la maquinaria pesada para la excavación de la zanja y la relación que tiene esta con el suelo arcilloso que se encuentre en cada proyecto. Por lo tanto, es necesario definir el trabajo que la maquinaria realizará, es decir la excavación larga y estrecha que se hace en un terreno o vía para la colocación de la tubería que conduce los tipos de aguas antes mencionados.

La excavación de zanjas consiste en remover el material, colocar la tubería y volver a depositar el material en el sitio, es por lo tanto indispensable el uso de la maquinaria pesada para excavación ya que esta se ideó para que sus partes constitutivas penetren en el material a moverse y conformar la zanja.

¹³ Blake. *Drenaje y Sanidad*. México. D. F. Editorial Continental. 1964. Pag354.

Las funciones de la maquinaria de excavación son múltiples, una de estas es que puede realizar una zanja bien definida, usualmente con un fondo curvo, que es muy útil para la colocación de la tubería.

Es también importante la maquinaria de excavación ya que permite colocar el material removido a una distancia suficiente, para no representar peligro a los obreros y agilite la realización de la obra. Por lo general esta distancia es como mínimo desde el borde a la mitad de la profundidad de la excavación, medida que en la mayoría de los casos no son efectuadas por los constructores o por los operarios, ya que al caer el material nuevamente a la zanja provocaría un retraso en la ejecución.

Otra de las ventajas que se presenta en el uso de la maquinaria es la profundidad de excavación que puede alcanzar gracias a la longitud del brazo que poseen, que dependiendo de los tipos de maquinaria de excavación pueden llegar a grandes profundidades facilitando el trabajo y resguardando la seguridad de los trabajadores, de la misma manera son muy útiles cuando es necesario realizar excavaciones con pendientes, lo cual combinado con los diferentes giros de la maquinaria ayudan a un eficaz y eficiente trabajo.

Cabe mencionar que para los cortes mayores 1.5 m que se realicen con la maquinaria y las características de los suelos arcillosos se puede presentar sistemas de protección para la zanja de alcantarillado, ejemplos¹⁴:

¹⁴ *Riesgo de Sepultamiento en Trabajos de Zanjas y Entibaciones*. Internet. http://www.cem-malaga.es/portalcem/novedades/2009/PRL_CEM/docs/zanjas.pdf. Acceso: 16 de agosto de 2013.

- **Escalonado.-** Es un método de protección de derrumbes mediante la excavación de los bordes de manera que formen peldaños, estos procedimientos son recomendados en suelos tipo C (arcillosos).

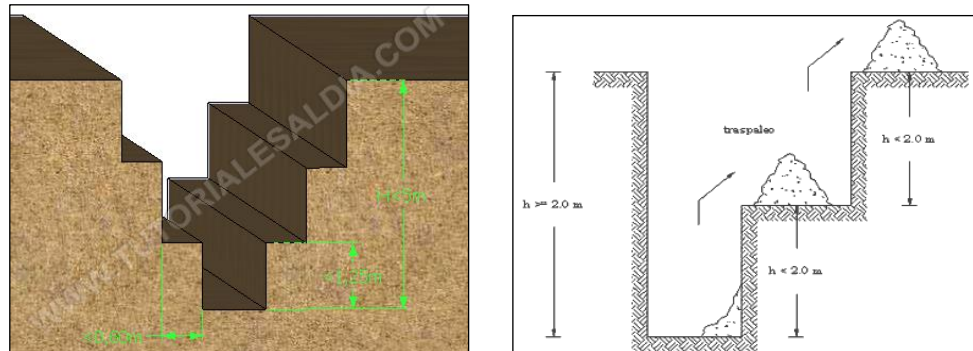


Figura 1.17 Método escalonado - <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/01/excavacion.html>

- **Ángulo de Inclinación.-** Es un corte de la pared de la zanja en ángulo hacia fuera de la excavación.

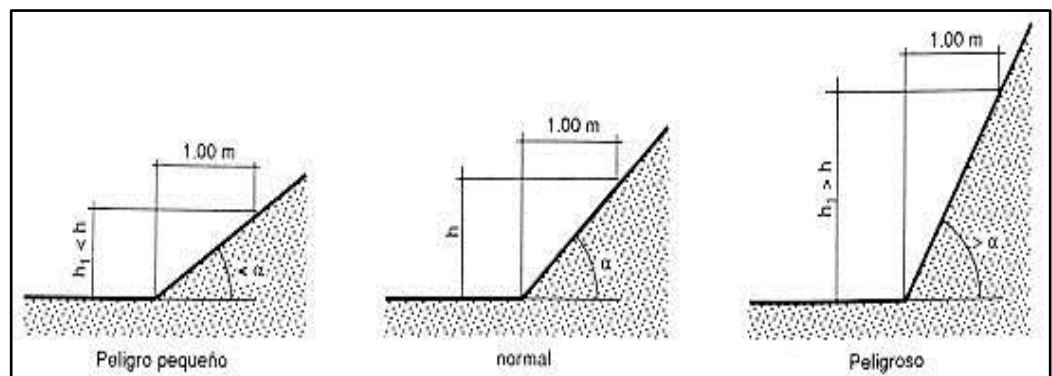


Figura 1.18 Ángulo de inclinación - <https://www.google/sistemadecortesdezanjasescalonadozanjas>

- **Entibación.-** Sistemas tipo trincheras que protegen al personal dentro de la zanja, este diseño debe considerar factores como: clasificación del suelo, profundidad de corte, contenido de agua del suelo, sobrecarga, etc.¹⁵

¹⁵ *Riesgo de Sepultamiento en Trabajos de Zanjas y Entibaciones.* Internet. http://www.cem-malaga.es/portalcem/novedades/2009/PRL_CEM/docs/zanjas.pdf. Acceso: 16 de agosto de 2013.

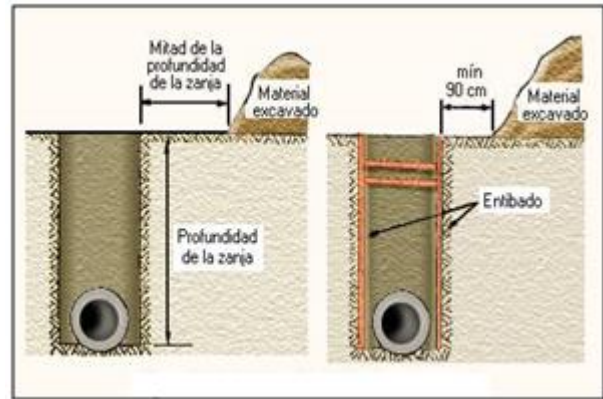


Figura 1.19 Entibación - <http://www.cem-malaga.es/portalcem/novedade/docs/zanjas.pdf>

Finalmente, esta maquinaria ayuda al momento de colocación de la tubería, ya que existe gran variedad en lo concerniente a diámetros y materiales de estas, por lo podría representar dificultad para la colocación a la mano de obra y retraso a la obra civil; la maquinaria agiliza esta colocación sin que la tubería sufra golpes o sea maltratada por la gran fuerza hidráulica que posee en su brazo, trabajo que de igual manera debe ser vigilado por el ingeniero a cargo.

Cada una de estas características y ventajas que presenta la maquinaria para excavación de zanjas de alcantarillado se abordará con mayor información en el capítulo tercero, Análisis de la maquinaria utilizada en la excavación de zanjas de alcantarillado en suelos arcillosos.

Aunque no solo se debe ver en la maquinaria de construcción una manera de tener más ganancias, si es verdad que es un medio para llegar a esto, también se la debe tomar como una herramienta que facilite el trabajo a la mano de obra y que de igual manera ayude para poder resguardar la integridad de los trabajadores.

A continuación se indica imágenes sobre la maquinaria de excavación:



Figura 1.20 Archivo fotográfico Construcción de Alcantarillado en el Cantón Paltas Provincia de Loja. Autores: Ortega Gorki, Pacheco Maribel



Figura 1.21 Colocación de tubería para alcantarillado - <http://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/39014-La-carta-de-la-ciudad-sin-zanjas.html>

1.4.- Incidencia de las características de los suelos arcillosos en la evaluación teórica de la maquinaria pesada

Las características o propiedades de los suelos toman un papel fundamental en el momento de la elección de la maquinaria pesada a emplearse en cualquier ejecución de obra civil, ya que el suelo cambia drásticamente sus propiedades con los cambios de condición del esfuerzo, trabajo al cual este sometido y condiciones climáticas del lugar.

No existe un solo tipo de suelo por lo que es lógico indicar que para cada tipo de suelo existen diferentes propiedades que los caracterice, en el caso de esta investigación, el suelo arcilloso presenta ciertas particularidades que son importantes para la elección de la maquinaria para la excavación de zanjas de alcantarillado.

Las características más importantes de un suelo arcilloso son la expansión o contracción, densidades y resistencias que pueden llegar a presentar.

Por lo tanto es necesario indicar brevemente las propiedades mencionadas para entender el comportamiento de los suelos arcillosos.

Expansión o contracción.- “Las fuerzas entre partículas y las capas adsorbidas pueden alcanzar equilibrio en condiciones de presión y temperaturas ambientales constantes, debido al movimiento de las moléculas de agua que salen o entran de la capa adsorbida.

Cualquier alteración de las condiciones ambientales producirá cambios en el contenido de agua. Si el agua se integra a la estructura laminar y el suelo está confinado se desarrollará una presión de expansión. Cuando la capa de agua

adsorbida se comprime, se produce una contracción en el suelo, lo mismo sucede cuando un efecto de succión reduce el contenido de agua. La magnitud de la expansión y contracción depende de la humedad inicial y el estado natural del suelo.

»¹⁶

Por lo tanto se puede concluir que la expansión en un suelo arcilloso es un fenómeno preponderante mucho más cuando se habla o se presenta una arcilla expansiva puesto que el factor de esponjamiento puede llegar a valores considerables lo que sin lugar a duda afecta a la producción del equipo pesado para la excavación.

También es necesario indicar que las condiciones naturales de los suelos, en este caso de investigación los suelos arcillosos, son principales datos que se debe conocer puesto que de ello depende la capacidad que requiera la maquinaria para poder cortar el suelo, es decir excavar el ancho y profundidad de la zanja necesario para cada proyecto de alcantarillado; por lo tanto la expansión de un suelo arcilloso está relacionado con la densidad en banco y densidad suelta que presente este material, ya que dicha relación determina el factor de esponjamiento, coeficiente que en la eficiencia de trabajo de la maquinaria se conoce como estado del material. Este factor es directamente proporcional a la eficiencia y por ende a la producción o rendimiento que se calcule en el equipo pesado a investigarse.

Los suelos arcillosos son además partículas muy finas menores a los de los limos (0,002 mm), que presentan un aumento de cohesión cuando existe disminución de la humedad y por lo tanto la permeabilidad de este es baja.

¹⁶ Vela Petra. *Comportamiento de los Suelos Arcillosos*. Internet. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3028/Capitulo1.pdf>. Acceso: 18 de junio del 2013.

Resistencia.- Un suelo arcilloso en condiciones naturales es difícil de conocer su capacidad o resistencia que presenta a las condiciones o factores externos que está expuesto, por lo tanto es necesario investigar con ensayos o estudios de suelos para poder hallar dichas características. Un suelo arcilloso presenta diferentes consistencias dependiendo del valor de resistencia a la compresión simple, es decir se puede encontrar desde una arcilla muy blanda, blanda, firme, consistente, muy resistente hasta un suelo arcilloso muy duro. Cabe mencionar que esta característica es importante conocerla puesto que esta determina el factor de llenado de cucharón, mismo que afecta a la eficiencia de trabajo de la excavadora, retro excavadora y mini cargador, maquinaria pesada que se estudiará en los capítulos posteriores.¹⁷

Finalmente, cabe notar que para la elección de la maquinaria pesada a emplearse en la excavación de zanjas para alcantarillado es fundamental el conocimiento del estudio de suelos, en este caso de investigación de los suelos arcillosos puesto que las características que presenta son las que determina el tipo y conjunto de accesorios que necesitará el equipo de trabajo por las propiedades que posee este suelo.

1.4.1.- Suelos arcillosos en el Ecuador.-

El Ecuador está dividido en cuatro regiones naturales, cada una de estas con características diversas y únicas. Tanto el relieve como la geografía del Ecuador son muy irregulares por lo que se puede concluir que los tipos de suelos que se encuentren en el país son diversos y únicos en sus propiedades.

¹⁷ Sowers George, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México, Limusa, 1972. Pag154.

Se puede observar que la región del litoral es donde más predomina este tipo de suelo por lo que la aplicación de la investigación propuesta será aplicativa en esta zona.

Región Interandina.-

Lava andesítica, cangagua, piedra pómez, ceniza, piroclásticos, tobas, lavas, sedimentos, calizas, lutitas, esquistos, cuarcitas, aluviones, brechas, areniscas, piedra caliza, gneises y cuarzo.

En la siguiente imagen se puede observar que la Sierra no posee suelos arcillosos, puesto que en esta zona predominan las arenas, limos y sus combinaciones.



Figura 1.23 Suelos Arcillosos en la Región Interandina
http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/latinamerica/images/maps/download/ec12005_ge.jpg

Región Amazónica.-

Arcillas, arenas, terrazas, piedras areniscas y marga.

El Oriente ecuatoriano presenta también suelos arcillosos que se pueden diferenciar su ubicación con el color amarillo en el mapa que se presenta, además presenta variedades de suelos como sucede en el resto del país.

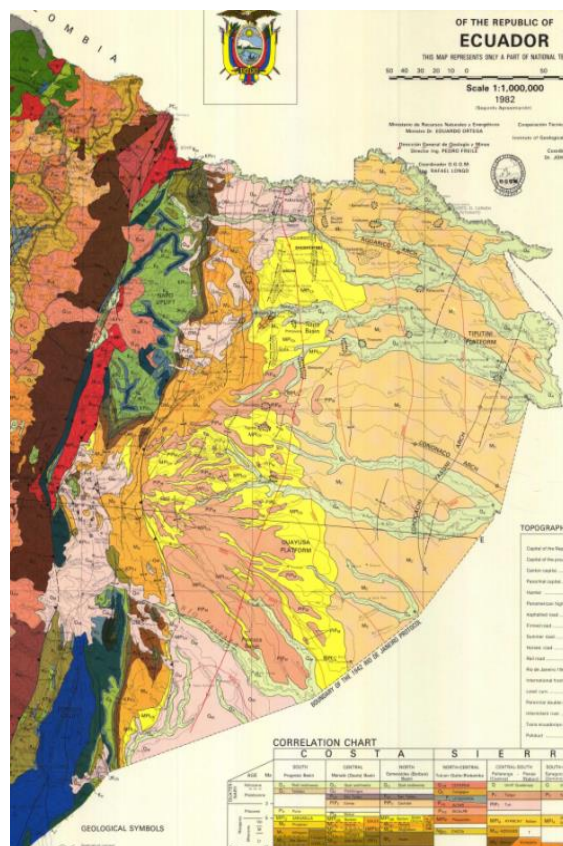


Figura 1.24 Suelos Arcillosos en la Región Amazónica

http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/latinamerica/images/maps/download/ec12005_ge.jpg

Región Insular.-

Basalto y piroclásticos.

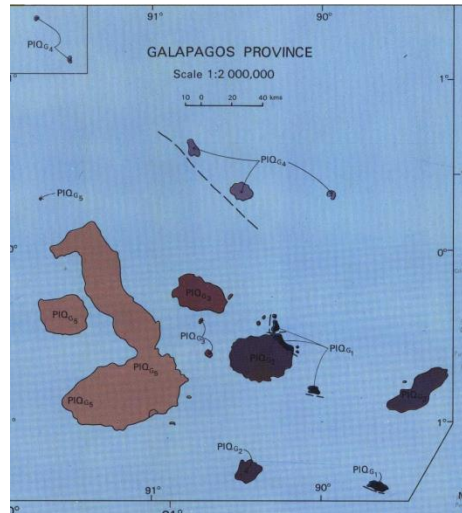


Figura 1.25 Suelos Arcillosos en la Región Insular -

http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/latinamerica/images/maps/download/ec12005_ge.jpg

Finalmente en las Islas Galápagos no se presenta o no se observa la presencia de los suelos arcillosos.

Por lo tanto una parte del país tiene suelos arcillosos de diferentes clases y combinaciones, por lo que la guía que se propone será aplicativa para todas las obras que se ejecuten en el Ecuador.

Se presenta un cuadro general donde se podrá visualizar el país y la ubicación de los suelos arcillosos.

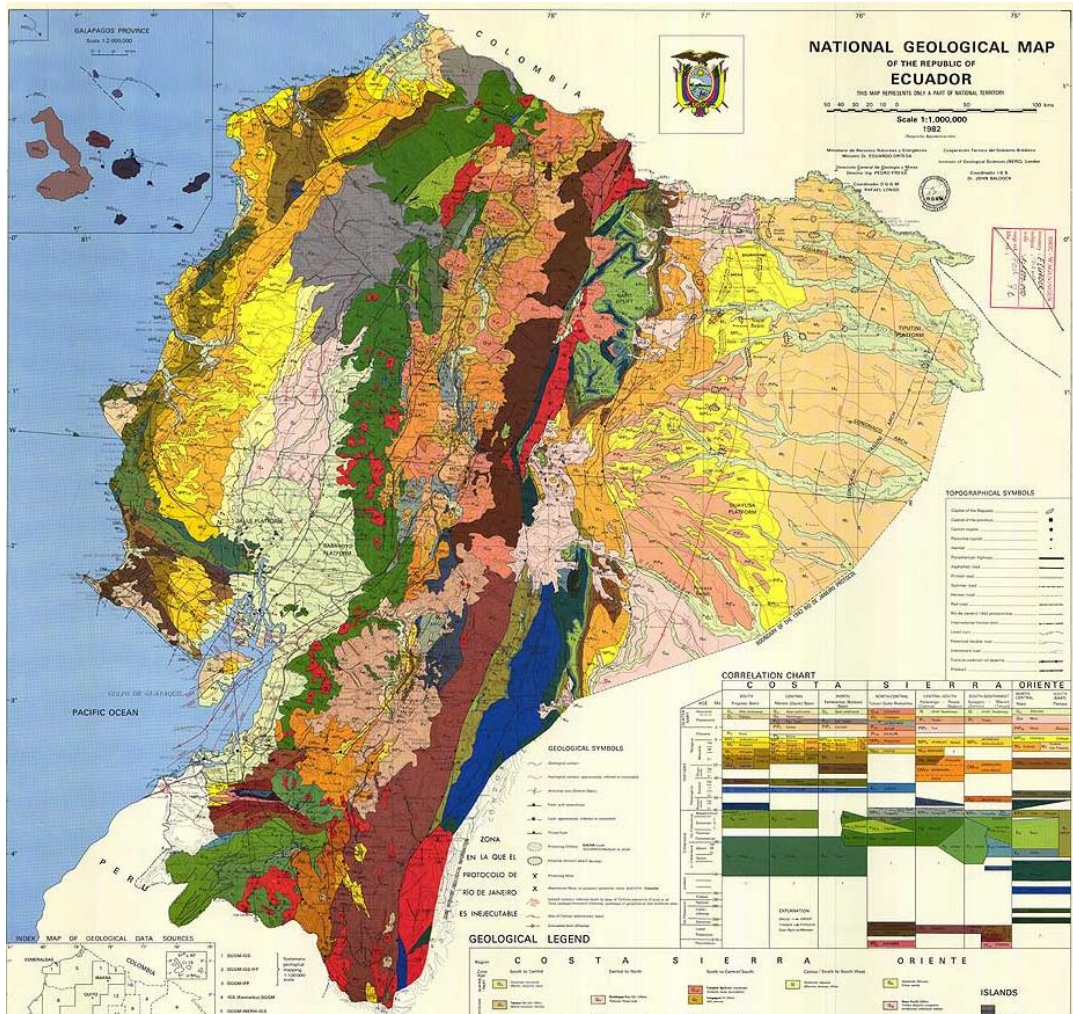


Figura 1.26 Los Suelos Arcillosos en el Ecuador - http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/latinamerica/images/maps/download/ec12005_ge.jpg

CAPITULO 2: SUELOS ARCILLOSOS

2.1.- Definición de los suelos arcillosos

El suelo arcilloso son partículas que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua y de tamaño comprendido entre 0,2 a 5 micras, partículas ínfimas que necesita de transformaciones de los minerales piroxenos, anfíboles, micas y feldspatos para llegar a éstas dimensiones.

También se puede definir al suelo arcilloso como material secundario ya intemperizado, y que está formado principalmente por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, unidas por enlaces covalentes débiles entre los cuales pueden ingresar moléculas de agua, produciendo aumentos reversibles de volumen. Todo ello hace que la capacidad de retención de agua sea muy grande en la arcilla debido a una gran superficie específica la cual retiene mucha agua, por lo que son generalmente los materiales más problemáticos para realizar trabajos civiles debido a tiempos muy elevados de consolidación o de expulsión de agua bajo esfuerzos.¹⁸

2.1.1.- Características de las arcillas

La arcilla contiene cierta cantidad de agua; que va del 10 al 50% por peso. La característica diferenciante del suelo arcilloso es la cohesión o resistencia cohesiva que aumenta al disminuir la humedad.

¹⁸ Nadeo Julio. *Introducción a algunas Propiedades Fundamentales de los Suelos*. Internet. <http://www.ing.unlp.edu.ar/constr/g1/Propiedades%20caracteristicas%20de%20los%20suelos.pdf>. Acceso: 9 de agosto de 2013.

La permeabilidad de la arcilla es muy baja, por lo tanto difícil de compactar en estado húmedo e imposible de drenar por métodos ordinarios; compactado es resistente a la erosión, no es susceptible a hinchamiento por efecto de la helad”. Está sometido a expansión y retracción con las variaciones de humedad.¹⁹

“Las propiedades dependen no solo del tamaño y forma, sino también por su composición mineral, es decir, el tipo de mineral arcilloso y el medio químico o la capacidad de intercambio iónico. En general el mineral arcilloso montmorilinita tiene el mayor efecto sobre las propiedades, siendo este efecto mínimo en caso de la illita y la caolinita”.²⁰

2.2.- Parámetros de identificación del suelo arcilloso.-

Todo material, en el caso de esta investigación el suelo arcilloso, necesita de parámetros que permita su identificación, clasificación y la determinación de sus propiedades. Por lo tanto se enuncia a continuación los conceptos necesarios para su identificación de manera general:

2.2.1.-Granulometría de los suelos.-

“La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo como se determina por la norma ASTM C-136. El tamaño de las partículas finas del suelo se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Estos tamices son siete cedazos estándar que se establece en la norma ASTM C-33, mismos que tiene aberturas que varían desde la malla N° 100 (150micras) hasta 9.52mm.”²¹

¹⁹ Sowers George, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México, Limusa, 1972. Pag34.

²⁰ Farid Ricardo. *Sistemas de entibación para la Excavación de Zanjas*. Internet. http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/saqueel_sillard_2009.pdf. Acceso: 10 de agosto de 2013.

²¹ Sánchez Néstor. *Granulometría de los Suelos*. Internet: <http://civilgeeks.com/2013/11/25/granulometria-de-suelos-ing-nessor-luis-sanchez-incluye-planilla-descargable-para-los-tamices/>. Acceso: 14 de agosto del 2013

Hay que considerar que el suelo en estudio; el suelo arcilloso, presenta un tamaño de partículas comprendido entre 0.2 a 5 micras; diámetro mucho menor al de la malla N° 100; por lo tanto para el análisis granulométrico se deberá emplear el método de hidrómetro mismo que se explica a continuación.



Figura 2.1 Juego de Tamices ASTM C-33

<https://www.google/definicion+de+suelo+en+ingenieria+civilFGRANULOMETRIA.pdf>

2.2.1.1.- Granulometría por Hidrómetro

Cuando los suelos no poseen partículas gruesas granulares, sino que tienen tamaños de grano muy finos no se puede emplear el análisis granulométrico por mallas para determinar el porcentaje de peso de los diferentes tamaños de los granos que posea este suelo. Por lo que es necesario aplicar el método del hidrómetro ya que determina el tamaño de las partículas de acuerdo a la velocidad de sedimentación.

“La ley fundamental para realizar análisis granulométrico por hidrómetro es formulada por Stokes, esta ley enuncia que si una partícula esférica cae dentro del

agua adquiere pronto una velocidad uniforme que depende del diámetro de la partícula, de la densidad y de la viscosidad del agua”.²²

Por lo tanto, este es el método que se emplea para determinar el tamaño exacto de las partículas arcillosas presente en el suelo de estudio ya que el tamaño de las partículas es del orden de 0.2 a 5 micras. En las siguientes figuras 2.2 se ilustra el método de tamizado por el hidrómetro.



Figura 2.2 Tamizado por el método del Hidrómetro
<https://www.google/definicion+de+suelo+en+ingenieria+civilgranulometriahidrometro>

2.2.2.- Límites de Atterberg.-

“Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El concepto que se emplea es que los suelos finos pueden encontrarse en diferentes estados: sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido, dependiendo del contenido de agua que el suelo arcilloso contenga.”²³

²² *Caracterización Física y Mecánica del Suelo*. Internet. <http://suelosyestudio.blogspot.com/2010/06/ensayo-de-granulometria-por-hidrometro.html>. Acceso: 2 de septiembre de 2013.

²³ *Mecánica de Suelos – Límites de Consistencia*. Internet: <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica4.htm>. Acceso: 2 de septiembre del 2013.

La arcilla, suelo en estudio al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

Cabe notar que el contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico.²⁴

Los límites de Atterberg son propiedades con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación SUCS de un suelo por lo que es necesario en la siguiente investigación explicarlos.

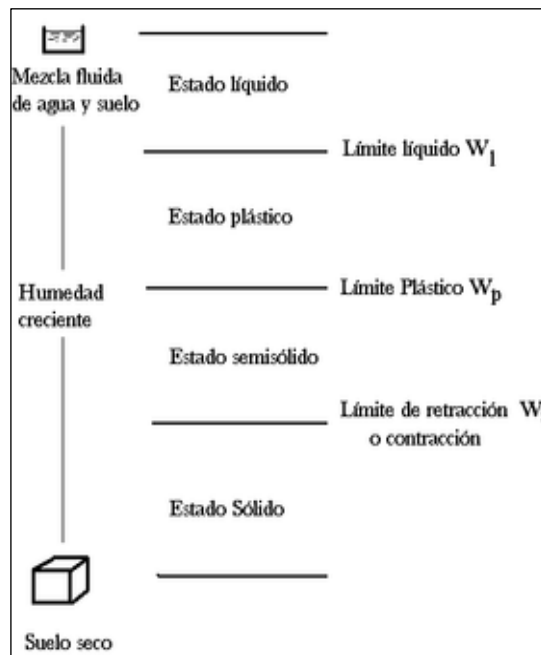


Figura 2.3 Esquema de los Límites de Atterberg - https://www.google/definicion+de+suelo+en+ingenieria+civil+limites_de_Atterberg

2.2.2.1.- Límite Líquido.-

El límite líquido se define como la humedad en relación al peso del suelo seco, que le convierte en suelo líquido.²⁵

²⁴ Sowers George. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México, Limusa, 1972. Pag51.

²⁵ Sanz José. *Mecánica de Suelos*. Barcelona. Ediciones técnicos asociados. 1975. Pag38.

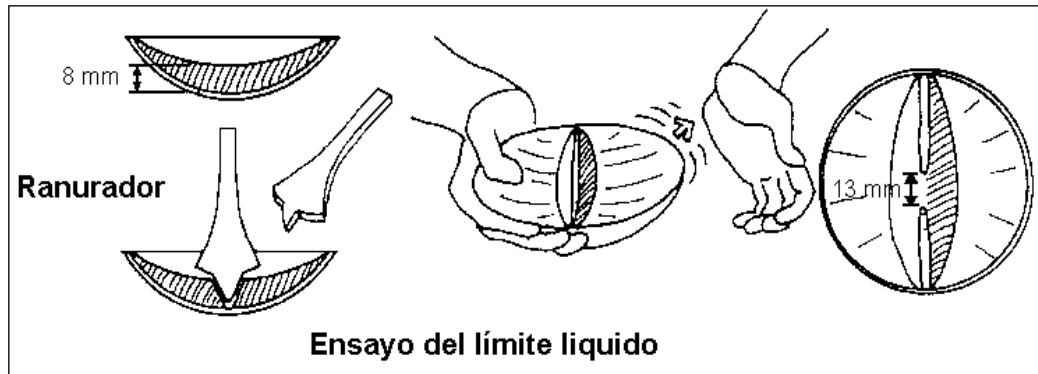


Figura 2.4 Ensayo de Límite Líquido - <https://www.google/definicion+de+suelo+en+ingenieria+civil.limite-liquido-en-suelos>

2.2.2.2.- Límite Plástico.-

Se define como la humedad para la cual la muestra de suelo en ensayo se convierte en plástico, es decir cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

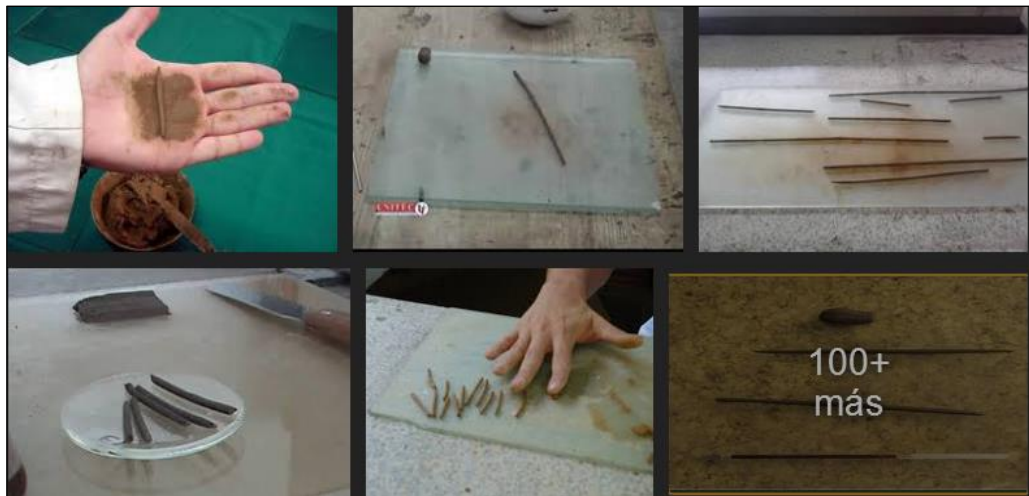


Figura 2.5 Ensayo de Límite Plástico - <https://www.google/definicion+de+suelo+en+ingenieria+civil.limite-plastico-en-suelos>

2.2.2.3.- Límite de retracción o contracción

Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.²⁶

²⁶ Sanz José. *Mecánica de Suelos*. Barcelona. Ediciones técnicos asociados. 1975. Pag40.



Figura 2.6 Ensayo de Límite de retracción o contracción -
<https://definicion+de+suelo+en+ingenieria+civil.limite-contraccion-en-suelos>

2.2.2.4.- Índice de plasticidad.-

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. “Un IP grande corresponde un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso.”²⁷

2.3.- Clasificación de los suelos.-

La clasificación de los suelos se conoce como la agrupación de estos según sus semejanzas en sus comportamientos, correlacionar propiedades con los grupos de un sistema de clasificación, el mismo que es un proceso práctico que permite resolver problemas sencillos referentes a suelos.²⁸

"Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y

²⁷ Sanz José. *Mecánica de Suelos*. Barcelona. Ediciones técnicos asociados. 1975. Pag40.

²⁸ Duque, G. Escobar, C. *Mecánica de Suelos*. Internet. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/6/cap5.pdf>. Acceso: 20 de junio de 2013.

plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Estos son el sistema de clasificación AASHTO y SUCS."²⁹

"El propósito de cualquier clasificación es ser capaz de organizar el conocimiento de tal modo de que las propiedades de los objetos puedan ser recordados y sus relaciones entendidas más fácilmente para un objetivo específico. El proceso de formación de clases por agrupamiento de objetos se hace sobre la base de sus propiedades comunes. En cualquier sistema de clasificación, lo más trascendente no es acerca de cuál es el número más grande, sino que sean más precisos, y se puedan deducir más conclusiones importantes de los objetivos y así sirvan de mejor manera al propósito clasificatorio".³⁰

Una adecuada clasificación permitirá al profesional tener una idea inicial acerca del comportamiento que se espera tenga el suelo como soporte de estructuras, normalmente suele ser suficiente conocer características como: la granulometría y plasticidad de un suelo para prever su comportamiento mecánico.³¹

Sin embargo el ingeniero debe tener cuidado al momento de la clasificación y no confiarse en la caracterización del suelo solo por su granulometría y plasticidad, ya que si solo se basan en estos conceptos básicos, puede ocasionar resultados catastróficos como por ejemplo problemas de flujo, asentamiento, estabilidad, etc.³²

²⁹ Braja M. Das. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, México, D. F., International Thomson Editores, 2001. Pag35.

³⁰ López Marck. *Principios Básicos de Clasificación de Suelo*, Soil Science, 1949. Pag. 2: 81-91.

³¹ Bañón Luis. *Manual de Carreteras*. Internet. http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010103.pdf. Acceso: 20 de junio de 2013.

³² Duque, G. Escobar, C. *Mecánica de Suelos*. Internet. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/6/cap5.pdf>. Acceso: 20 de junio de 2013.

2.3.1.- Clasificación de los suelos arcillosos mediante el sistema SUCS

Este sistema de clasificación de suelos fue propuesto por Arturo Casagrande en 1942.

Se fundamenta en la granulometría del material y los límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico); conceptos tratados anteriormente, por lo que clasifica a los suelos en dos amplios grupos:

GRUPO 1.- Suelos de grano grueso, sí menos del 50% del peso del material pasa el tamiz #200 (0.075 mm). Se subclasifica en grava o arena empleando el tamiz #4, y sus símbolos comienzan con los prefijos:

G = Grava o suelo gravoso

S = Arena o suelo arenoso

GRUPO 2.- Suelo de grano fino, sí más del 50% del peso del material pasa el tamiz #200 (0.075 mm). Se subclasifica en limos o arcillas empleando los Límites de Atterberg, y sus símbolos comienzan con los prefijos:

M = Limo orgánico

C = Arcilla inorgánica³³

O = Limos y arcillas orgánicas

Pt = Turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos

Para un mejor detalle de lo antes expuesto sobre la clasificación SUCS y los dos grupos en que este sistema divide al suelo, se presenta la tabla 2.1:

³³ Braja M. Das. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, México, D. F., International Thomson Editores, 2001. Pag39.

Tabla 2.1 Clasificación Suelo Fino por SUCS - George Sowers. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México. Limusa. 1972

No 200				
El material se considera grueso si se retiene más del 50%		El material se considera fino si pasa más del 50%		
ES RETENIDO		0.075 mm	PASA	
Grava		Arena	Limo o Arcilla	
Si más del 50% de la fracción gruesa queda retenida en el Tamiz No 4		Si más del 50 % de la fracción gruesa pasa por el Tamiz No 4	El suelo fino es:	
			Limo	(M)
			Arcilla	(C)
			Orgánico	(O)

Otros símbolos son también usados para la clasificación de los suelos que se basan en los criterios antes mencionados:

Plasticidad (Límites de Atterberg)

L = baja plasticidad (límite líquido menor que 50)

H = alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

Gradación (Análisis granulométrico)

W = bien graduado

$C_u > 4$ (Gravas)

$C_u > 6$ (Arenas)

P = mal graduado

A continuación se expone los símbolos de grupos para suelos gruesos y finos.

Tabla 2.2 SUCS - Símbolos de grupo para suelos arenosos - George Sowers. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México. Limusa. 1972

Símbolo del Grupo	Criterio
SW	Menos del 5% pasa la malla #200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 12% pasa la malla #200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla #200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la Línea A (figura 1) o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más del 12% pasa la malla #200, los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 1); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla #200; los límites de Atterberg caen en el área sobre marcada CL-ML en la figura 1
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla #200 ésta entre 5 y 12; cumple los criterios para SW
SW-SP	Porcentaje que pasa la malla #200 ésta entre 5 y 12; cumple los criterios para SW
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla #200 ésta entre 5 y 12; cumple los criterios para SP
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla #200 ésta entre 5 y 12; cumple los criterios para SP

Tabla 2.3 SUCS - Símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos - George Sowers. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México. Limusa. 1972

Símbolo de grupo	Criterio
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la figura 1)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI < 4$; o se grafica debajo de la línea A (véase la zona ML en la figura 1)
OL	Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0,75$; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura 1)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la zona CH en la figura 1)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica debajo de la línea A (véase la zona CH en la figura 1)
OH	Orgánico $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0,75$; $LL \geq 50$ (véase zona OH en figura 1)
CL-ML	Inorgánicos; se grafica en la zona sombreada en la figura 1
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

Para una clasificación apropiada con este sistema, debe conocerse algo o todo de la información siguiente:

- 1.- Porcentaje de grava, es decir la fracción que pasa la malla de 76.2 mm y es retenida en la malla N° 4 (abertura de 4.75mm)
- 2.- Porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa la malla N° 4 (abertura de 4.75mm) y es retenida en la malla N°200 (abertura de 0.075 mm)
- 3.- Porcentaje de limo y arcilla, es decir, la fracción de finos que pasan la malla N° 200 (abertura de 0.075 mm)
- 4.- Coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_z)
- 5.- Límite líquido e índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla N° 40

La presente investigación tiene por objetivo clasificar a los suelos arcillosos y conocer sus características físico – mecánicas, lo que permitirá definir los parámetros necesarios para la maquinaria pesada a emplearse en la excavación de zanjas de alcantarillado.³⁴

2.3.1.1.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos para Arcillas.-

De lo detallado con anterioridad, se conoce que si más del 50% del peso del suelo en análisis pasa el tamiz # 200 se clasifica como un grupo dos, es decir un suelo fino, con la respectiva subdivisión de limos o arcillas.

Los límites de Atterberg son los indispensables para poder clasificar al suelo fino en limo o arcilla. La carta de plasticidad es lo que permitirá establecer el grupo, puesto que conjuga el límite líquido y el índice de plasticidad.

³⁴ Braja M. Das. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México, D. F. International Thomson Editores. 2001. Pag36.

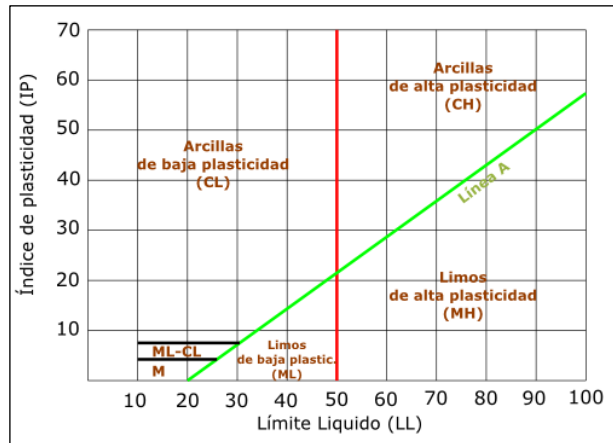


Figura 2.7 Carta de Plasticidad – Casagrande - Bañón, Luis. *Manual de Carreteras*.
http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010103.pdf. Acceso: 20 de junio de 2013.

A continuación se presenta la correspondiente clasificación SUCS para los suelos arcillosos con sus respectivas características particulares y símbolos con lo que se los designa:

- Limos y Arcilla (Límite Líquido $LL < 50$).

CL.- Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.

OL.- Arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.

- Limos y Arcillas (Limite Líquido $LL > 50$).

CH.- Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.

OH.- Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta.³⁵

Cada uno de estos subgrupos se define con las correspondientes características a la resistencia en su estado seco, dilatancia y tenacidad, por lo cual se indica las mismas en la siguiente tabla 2.4:

³⁵ Braja M. Das. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México, D. F. International Thomson Editores. 2001. Pag41.

Tabla 2.4 Características de los Suelos Arcillosos - Laboratorio de Suelos I. Ing. Ricardo Salvador e Ing. Juan Carlos Montero

Tipo de suelo	Resistencia al secado (a la desintegración)	Dilatancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico)
CL	Media a Alta	Nula a Muy lenta	Media
OL	Ligera a Media	Lenta	Ligera
CH	Alta a Muy alta	Nula	Alta
OH	Media a Alta	Nula a Muy lenta	Ligera a Media

2.3.2.- Clasificación AASHTO

"AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), se lo conoce como un organismo que establece normas, que publica especificaciones, hace pruebas de protocolo y guías usadas en diseño de autopistas, a pesar de su nombre, no solo representan carreteras si no también transporte aéreo, ferrocarril, agua y transporte público."³⁶

A partir de los años 20 nace en EEUU uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, el cual se inventó para conocer las características donde se cimentarían las carreteras, es así que en 1945 nace el sistema AASHO, el cual se deriva en la actualidad como Sistema de Clasificación AASHTO.³⁷

Fue desarrollada por los ilustres geotécnicos Terzagui y Hogentogler, está basado en características de estabilidad de los suelos empleados en la construcción de caminos.

La clasificación AASHTO establece 7 grupos de suelos y agregados con base en la determinación de propiedades como son: granulometría, el límite líquido y el límite

³⁶ Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales. Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/American_Association_of_State_Highway_and_Transportation_Officials_. Acceso: 26 de junio de 2013.

³⁷ Farías Daniel. *Clasificación de Suelos*. Internet. http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/Ing_construccion/40025.pdf. Acceso: 10 de julio de 2013.

plástico, también podemos hablar de un grupo más de suelos (octavo) que en este caso vienen a ser los suelos orgánicos. Esta clasificación usualmente usada para la construcción de carreteras, requiere una clasificación geotécnica precisa.³⁸

De acuerdo con esto, los suelos se clasifican en los siguiente grupos: A-1 al A-7, donde los suelos de los grupos A-1, A-2 y A-3, se los considera granulares, donde el material que pasa por el Tamiz No. 200 es igual al 35% o menor. Los suelos donde el material que pase el tamiz No. 200 es mayor al 35% son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, la mayoría de los cuales están formados por materiales tipo limo y arcillas.

El sistema se basa en los siguientes criterios para la clasificación.

1. Tamaño del grano:

- Grava: material que pasa el tamiz de 75mm y es retenido en el tamiz No. 10.
- Arena: material que pasa el tamiz No. 10 y es retenido en el tamiz No. 200.
- Limo y arcilla: material que pase el tamiz No. 200.

2. Plasticidad

- El término limoso se utiliza para la fracción de material de finos que tiene el suelo un índice de plasticidad de 10 o menor.
- El término arcilloso se utiliza para la fracción de finos cuyo índice de plasticidad es de 11 o mayor a este.

3. Si encontramos cantos rodados en el material a analizar, estos deben ser separados de la muestra a clasificar, sin embargo, el porcentaje de ese material debe ser registrado.³⁹

³⁸ *Clasificación de Suelos y Agregados para la Construcción.* Internet. <http://www.unalmed.edu.co/~geotecni/GG-11.pdf>. Acceso: 20 de junio de 2013.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO											
Clasific. General	Suelos Granulares (≤ 35% pasa 0,08 mm)						Suelos Finos (> 35% Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*			A-7-5** A-7-6**	
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35			≥ 36				
WL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
	** A - 7 - 5 : IP ≤ (WL - 30)						** A - 7 - 6 : IP > (WL - 30)				
	$IG = (B / 0,08 - 35)(0,2 + 0,005 (WL - 40)) + (B / 0,08 - 15)(IP - 10) \times 0,01$										
	* Para A - 2-6 y A - 2-7 : $IG = (B / 0,08 - 15)(IP - 10) \times 0,01$ Si el suelo es NP → $IG = 0$; Si $IG < 0$ → $IG = 0$										

Figura 2.8 Clasificación AASHTO. Farías, Daniel. Clasificación de Suelos.http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/Ing_construccion/40025.pdf.

Basándose en las referencias anteriores de suelos, a continuación se presentan los grupos de suelos, donde los grupos incluidos por los suelos granulares son:

- A-1: “Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (fina y gruesa) y finos no plásticos o muy plásticos, de la misma forma mezclas bien gradadas de gravas y arenas sin finos”⁴⁰.
- A-3: Corresponde suelos conformados por arena fina de playa o duna, sin finos arcillosos limosos o con una pequeña cantidad de estos últimos no plásticos.
- A-2: Un grupo en el cual los suelos contienen un 35% o menos de material que ha pasado el tamiz No. 200, el cual no se lo puede clasificar dentro de los grupos anteriores por poseer una cantidad de finos o alta plasticidad de estos

³⁹ Braja M. Das. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, México, D. F., International Thomson Editores, 2001. Pags: 35,37.

⁴⁰ *Clasificación AASHTO*. Internet. http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO. Acceso: 20 de junio de 2013.

por encima de los límites fijados para estos grupos, por lo que en este grupo tienen mucha incidencia los finos.⁴¹

Los grupos incluidos por los suelos finos son los siguientes:

- A-4: Corresponde a un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, el cual posee un 75% o más de material que ha pasado el tamiz No. 200.
- A-5: este grupo se asemeja al grupo A-4 con la discrepancia de tener carácter micáceo, lo que los convierte en suelos muy compresibles por su elevado límite líquido.
- A-6: El suelo típico de este grupo es el arcilloso plástico, que tiene un 75% o más de material que ha pasado el tamiz No. 200. Estos suelos experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados secos y húmedos.
- A-7: En este grupo se incluyen suelos con índices de plasticidad moderados con respecto a sus límites líquidos lo que conlleva a que estos se consideren altamente compresibles, además de estar sujeto a importantes cambios de volúmenes.⁴²

⁴¹ *Clasificación AASHTO*. Internet. http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO. Acceso: 20 de junio de 2013.

⁴² *Clasificación AASHTO*. Internet. http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO. Acceso: 20 de junio de 2013.

2.4.- Ensayos de laboratorio para determinar los parámetros de densidad y resistencia de los suelos arcillosos

Los ensayos que se describen a continuación permiten obtener las densidades sueltas y en banco y la resistencia de los suelos arcillosos, para posteriormente determinar los factores de tipo de material y factor de llenado de cucharón.

2.4.1.- Ensayo de Factor de Esponjamiento

“Los terrenos al ser excavados sufren un aumento de volumen. El aumento de volumen, causado por la absorción de agua o vapor, por encima de su volumen normal cuando está seco expresado en porcentaje del volumen en sitio, se llama esponjamiento.”⁴³

El ensayo consiste en tomar dos lecturas, la densidad en banco, campo o conocido también “in situ” y la densidad suelta es decir una vez que el material ha sido removido de su lugar de origen.

El factor de esponjamiento es un aspecto muy importante en el análisis de los volúmenes de transporte y disposición final del material, puesto que de este depende la cantidad real de material a ser excavado o removido.⁴⁴



Figura 2.9 Equipo para Ensayo de Factor de Esponjamiento
[https://www.google.com.ec/suelos+ingenieria+civil.instrumentos esponjamiento.pdf](https://www.google.com.ec/suelos+ingenieria+civil.instrumentos+esponjamiento.pdf)

⁴³ Vega Tadeo. *Factor de Esponjamiento*. Internet. <http://es.scribd.com/doc/142741566/Factor-de-Esponjamiento>. Acceso: 15 de septiembre del 2013.

⁴⁴ Cabello Andrés. *Factor de Esponjamiento*. Internet: <http://www.buenastareas.com/ensayos/El-Esponjamiento/2352413.html>. Acceso: 15 de septiembre del 2013.

2.4.2.- Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El ensayo SPT (Standar Penetration Test), se conoce entre todos los procedimientos exploratorios preliminares, como el que rinde los mejores resultados en la práctica y proporciona información más útil con respecto al subsuelo y no solo referente a la descripción.⁴⁵

El ensayo consiste en contar en número de golpes que se necesita para introducir dentro de un estrato un toma-muestras de 30cm de largo a diferentes profundidades, aunque este tiene la limitación de ensayos hasta una profundidad de 30m.

Este procedimiento es perfecto mientras no se encuentre con nivel freático, ya que el empuje de Arquímedes reduce el peso de la masa y, el agua ofrece resistencia al desplazamiento, por lo que por lo general este ensayo se recomienda para suelos arenosos y de arcilla blanda.

También permite con la toma de muestras realizar ensayo como, contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, peso específico.

Además, mediante este ensayo se puede llegar a determinar la compacidad y la capacidad de soporte del suelo, resistencia de penetración y carga admisible.⁴⁶

Para suelos cohesivos Terzaghi y Peck han dado unas correlaciones entre N y la Compresión Simple.

⁴⁵ Juárez Eulalio. *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*, México D.F, Editorial Limusa, 1976. Pag. 620, 623.

⁴⁶ *Ensayo SPT*. Internet. <http://noticias.espe.edu.ec/hfbonifaz/files/2012/09/ENSAYO-SPT.pdf>. Acceso: 20 de junio de 2013.

CONSISTENCIA (Suelos Cohesivos)	N (S.P.T.)	qu (Kg./cm²) Resistencia a la Compresión Simple
Muy blanda	< 2	< 0,25
Blanda	2 a 4	0,25 a 0,50
Mediana	4 a 8	0,50 a 1,00
Compacta	8 a 15	1,00 a 2,00
Muy compacta	15 a 30	2,00 a 4,00
Dura	> 30	> 4

Figura 2.10 Correlación entre N y Compresión Simple - Ensayo SPT.
<http://noticias.espe.edu.ec/hfbonifaz/files/2012/09/ENSAYO-SPT.pdf>.

2.4.3.- Triaxial

El ensayo permite determinar el ángulo de rozamiento interno y la cohesión del suelo; y establecer la resistencia al corte, con la aplicación de esfuerzos verticales y laterales a las probetas para producir los esfuerzos a los que está sometido el suelo en condiciones naturales.

Este ensayo es el más empleado para determinar las características de esfuerzo – deformación y de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

“La resistencia al esfuerzo cortante de un suelo en función de los esfuerzos totales se determina usando la Ley de Coulomb. La representación de los resultados en el diagrama de Mohr está constituida por una serie de círculos, cuya envolvente permite obtener los parámetros del suelo estudiado en el intervalo de esfuerzos considerado.”⁴⁷

⁴⁷ *Ensayo Triaxial – ASTM D 2850*. Internet. <http://noticias.espe.edu.ec/hfbonifaz/files/2012/09/ENSAYO-TRIAXIAL.pdf>. Acceso 15 de septiembre del 2013.

Este ensayo también proporciona el valor de densidad seca y densidad húmeda, lo que ayudará a determinar el rango de densidades presentes en las arcillas.

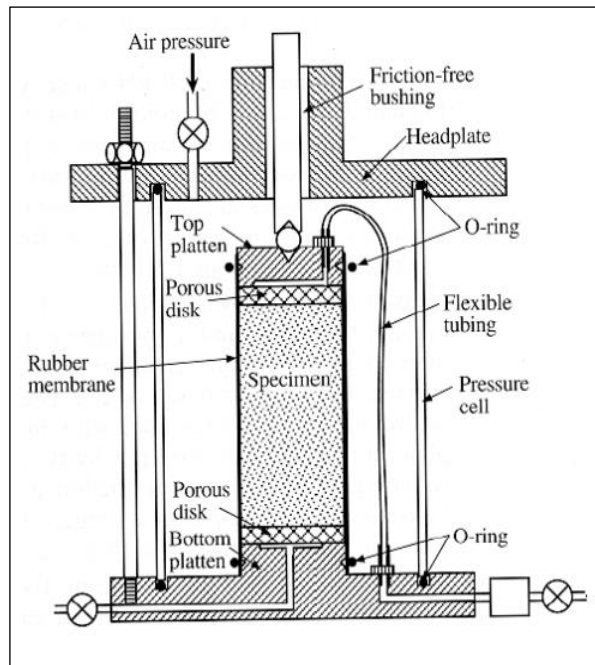


Figura 2.11 Equipo para Ensayo Triaxial - <https://equipo+ensayo+triaxial&source=ensayo-triaxial.html%3B320%3B316>

2.4.4.- Compresión Simple

El procedimiento tal vez más intuitivo y más simple de valorar la resistencia de un material consiste en someterlo a un esfuerzo axial llevado hasta rotura. Este ensayo es muy importante ya que permite obtener un valor de carga última del suelo, el cual se relaciona de manera directa con la resistencia al corte del suelo.⁴⁸

Este método es aplicable solo a materiales cohesivos que no expulsan agua durante la etapa de carga del ensayo, y que mantienen su resistencia intrínseca después de

⁴⁸ *Ensayos de Laboratorio-Resistencia a la Compresión Simple.* Internet. <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-1/>. Acceso: 6 de junio de 2013.

remover las presiones de confinamiento, más usualmente se los usa en suelos predominantemente arcillosos que están saturados o casi saturados.

El objetivo principal del ensayo es determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión no confinada (q_u), e indirectamente la resistencia al corte (q_c).⁴⁹

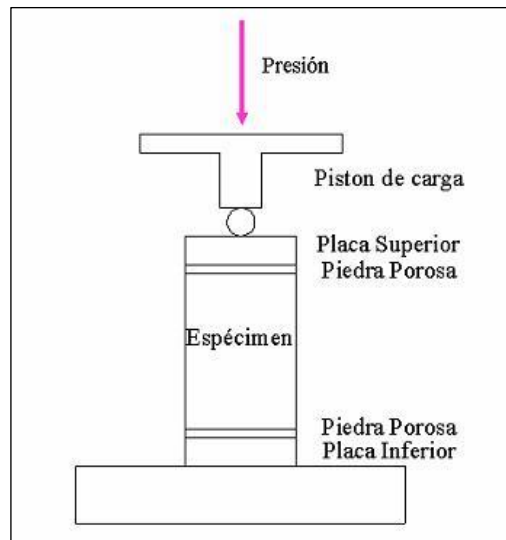


Figura 2.12 Esquema del ensayo de compresión simple. *Mecánica de Suelos – Tomo 1*, JUÁREZ BADILLO

2.4.5.- Peso Unitario

El peso unitario es una medida cuantitativa que nos deja conocer la relación existente entre la masa y el volumen de un suelo, matemáticamente se conoce el peso unitario como la relación entre la masa de suelo y el volumen del mismo, por lo que se considera como la densidad que tiene el suelo.⁵⁰

⁴⁹ *Ensayos de Laboratorio-Resistencia a la Compresión Simple*. Internet. <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-1/>. Acceso: 6 de junio de 2013

⁵⁰ Brochero, J. López, W. Llerena Andrés. Sandoval, J. Sierra, J. *Ensayo de Humedad Natural, Gravedad Específica, Peso Unitario y Tamizado*. Internet. <http://www.scribd.com/doc/32091590/ENSAYO-DE-HUMEDAD-NATURAL-GRAVEDAD-ESPECIFICA-PESO-UNITARIO-Y-TAMIZADO>. Acceso: 20 de junio de 2013.

Existen tres tipos de pesos unitarios:⁵¹

- **Peso Unitario Húmedo.**- Es definido como el peso de la masa no saturada por unidad de volumen, donde los vacíos de suelos contienen tanta agua como aire.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Fórmula 2.1

Peso Unitario Húmedo

- **Peso Unitario Seco.**- Es el peso sin contenido de agua por unidad de volumen.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Fórmula 2.2

Peso Unitario Seco

- **Peso Unitario Saturado.**- Es el peso saturado por unidad de volumen, donde todos los espacios están llenos de agua.

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V}$$

Fórmula 2.3

Peso Unitario Saturado

2.4.6.- Método del extractor de núcleos.-

Este método es adecuado para suelos cohesivos sin piedra y consiste en hacer penetrar en el suelo un cilindro de acero que tiene un filo endurecido, empleando un martinete de acero de diseño especial. Se extrae el cilindro y se recorta los extremos del suelo adherido para tener un volumen exacto. Puesto que se conoce el volumen

⁵¹ Ochoa Alf. *Peso Unitario de los Suelos*. Internet. <http://www.scribd.com/doc/93847499/Pesos-Unitarios-de-Suelos>. Acceso: 20 de junio de 2013.

del cilindro y la masa que se extrae se puede determinar pesándola, resulta fácil calcular la densidad total.⁵²

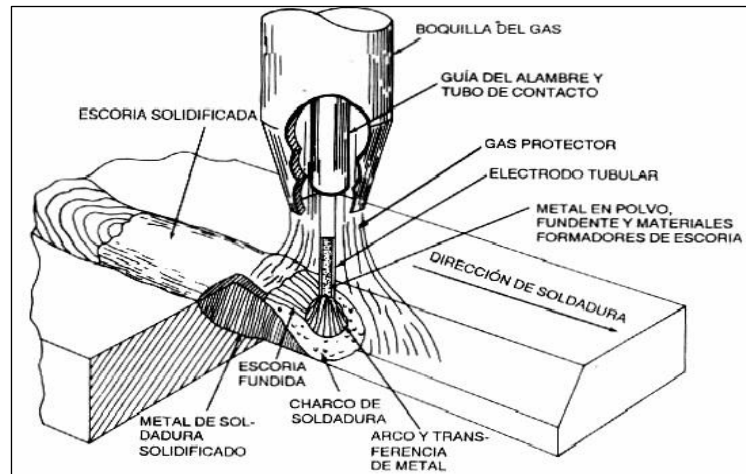


Figura 2.13 Esquema del ensayo Extractor de Núcleos - <https://esquema+del+ensayo+de+extractor+de+nucleos-suelos-con-muestrador-de.html%3B500%3B410>

2.4.7.- Ensayo de cono y arena

Se saca una muestra del material, realizando un hoyo en la superficie por medio de un escoplo y con suficiente cuidado para no perder el material.

Este material se pesa antes y después de su secado. El volumen del hueco se lo mide con arena calibrada o bien por medio de un balón elástico relleno con agua.⁵³

⁵² *Equipos de Ensayo para la Industria de la Construcción*, Internet: https://www.google.com.ec/?gws_rd=cr&ei=eDuWUqXXEtS2sASh2oCQCA#q=ensayo+de+extractor+de+n%C3%BAcleos. Acceso: 15 de septiembre del 2013.

⁵³ Milla Patrick. *Ensayo de Cono y Arena*. Internet. <http://www.slideshare.net/hugogradiz/metodo-cono-de-arena>. Acceso: 15 de septiembre del 2013.



Figura 2.14 Equipo para el ensayo de cono y arena - <https://ensayo+de+cono+y+arena&tFinsituM5.htm%3B640%3B480>

2.4.8.- Método del balón de agua

“A través de este método, se obtiene directamente el volumen del agujero dejado por el suelo que se ha extraído. Por medio de un cilindro graduado, se lee el volumen de agua bombeado que llena la cavidad protegida con el balón de caucho que impide la absorción del agua del terreno.

Este método resulta ser más directo y rápido que el cono y arena, pero las desventajas se encuentran la posibilidad de ruptura del balón o la imprecisión en adaptarse a las paredes del agujero producto de cavidades irregulares o proyecciones agudas lo que lo hace poco utilizado.”⁵⁴

⁵⁴ *Mejoramiento Mecánico de los Suelos.* Internet: http://ingenieriacivil-emi.blogspot.com/2013_07_01_archive.html. Acceso: 15 de septiembre del 2013.

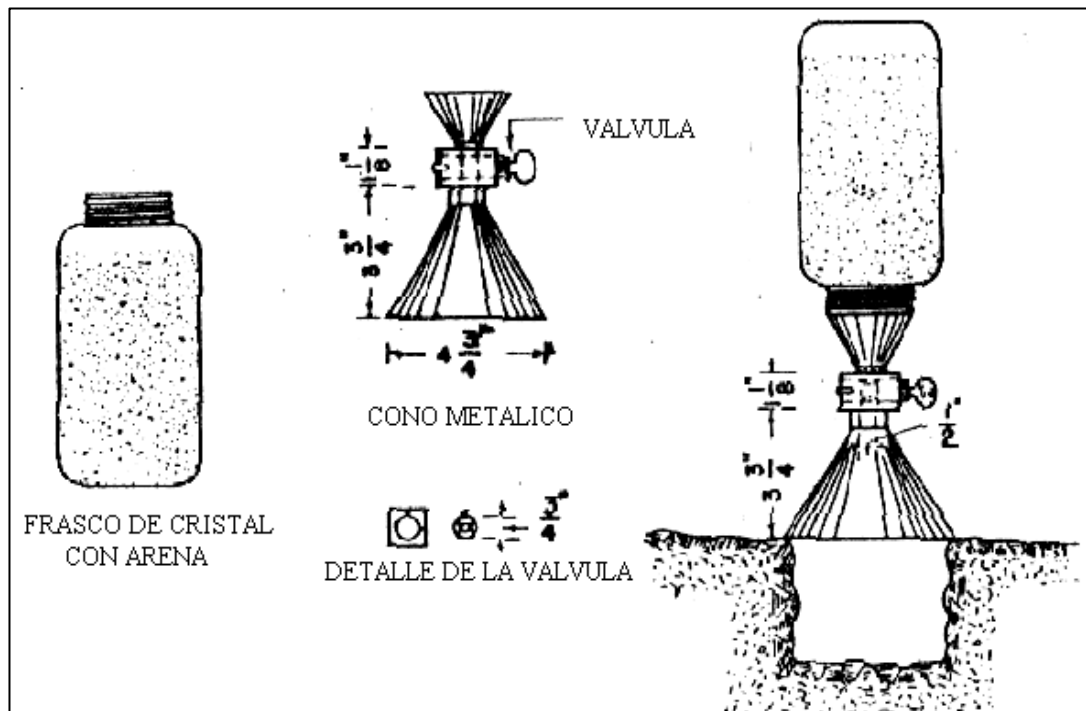


Figura 2.15 Ensayo de balón de agua - <https://ensayo+de+balon+de+agua-html%3B624%3B404>

2.4.9.- Método con el densímetro nuclear.-

La determinación de la densidad total o densidad húmeda a través de este método, está basada en la interacción de los rayos gamma provenientes de una fuente radiactiva y los electrones de las órbitas exteriores de los átomos del suelo, la cual es captada por un detector gamma situado a corta distancia de la fuente emisora, sobre, dentro o adyacente al material a medir.⁵⁵

⁵⁵ *Método con el Densímetro Nuclear.* Internet. http://ingeconuvdocs.weebly.com/uploads/8/9/4/7/8947127/gua_densidad_cono_arena.pdf. Acceso: 15 de septiembre del 2013

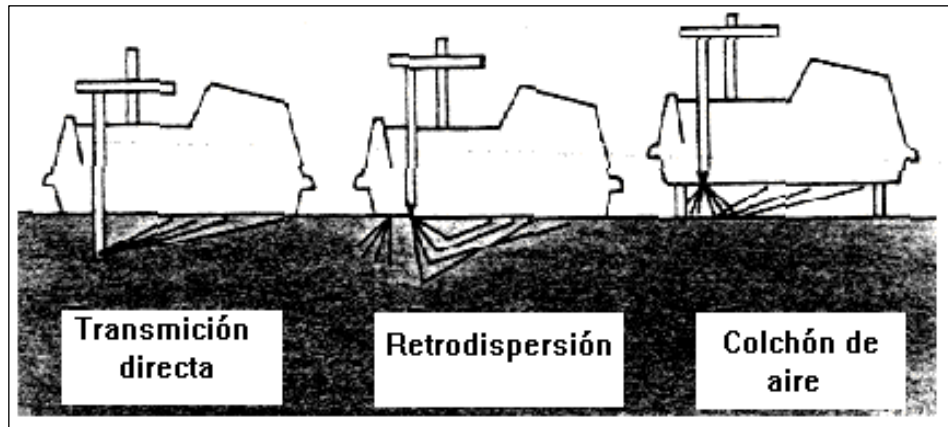


Figura 2.16 Ensayo del densímetro nuclear - Métodos de ensayo. Manual de compactación CAT, 1990.

2.5.- Presentación de los resultados de ensayos de laboratorio PUCE.-

A continuación se presentan los resultados de los ensayos que se han realizado en el laboratorio PUCE y que son proporcionados para la correspondiente correlación de datos y establecer los rangos de máximos y mínimos valores que los suelos arcillosos pueden alcanzar en las características de densidades y compresión simple. Es importante mencionar que los informes que se estudiaron son de proyectos reales por lo que las tablas de los datos expuestos son específicamente de los suelos arcillosos, también es de notar que la investigación no se basa en realizar los ensayos si no exponerlos y encontrar los datos de los informes que se han mencionado. Finalmente se indican los datos recolectados:

2.5.1.- Ensayos que correlacionan densidades sueltas y en banco de los suelos arcillosos.-

2.5.1.1.- Ensayo de Factor de Esponjamiento

Tabla 2.5 Recopilación de datos de Ensayo Factor de Esponjamiento. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO FACTOR DE ESPONJAMIENTO			
PROYECTO 1 FE.			
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	ESTADO NATURAL	ESTADO SUELTO
Masa	gr	86.87	3001.00
Volumen	cm ³	49.96	3169.69
Densidad	gr/cm ³	1.739	0.947
FACTOR DE ESPONJAMIENTO : 45.55%			

Ubicación: Urbanización San Luis - Alangasí

Tipo de Arcilla: Arcilla – Limosa

Tabla 2.6 Recopilación de datos de Ensayo Factor de Esponjamiento. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO FACTOR DE ESPONJAMIENTO			
PROYECTO 2 FE.			
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	ESTADO NATURAL	ESTADO SUELTO
Masa	gr	127560	107086
Volumen	cm ³	64971.41	64971.41
Densidad	gr/cm ³	1.963	1.648
FACTOR DE ESPONJAMIENTO : 31.49%			

Ubicación: Pastaza

Tipo de Arcilla: Arcilla – Limosa

2.5.1.2.- Ensayo Triaxial.-

Tabla 2.7 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO TRIAXIAL		
PROYECTO 1 TR.		
MUESTRA 1		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.46
Densidad seca	gr/cm ³	1.12
Humedad inicial	%	30.61
MUESTRA 2		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.54
Densidad seca	gr/cm ³	1.16
Humedad inicial	%	32.13
MUESTRA 3		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.49
Densidad seca	gr/cm ³	1.16
Humedad inicial	%	28.76

Ubicación: Zamora Chinchipe
 Tipo de Arcilla: Suelo Arcilloso

Tabla 2.8 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO TRIAXIAL		
PROYECTO 2 TR.		
MUESTRA 1		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.608
Densidad seca	gr/cm ³	0.948
Humedad inicial	%	69.54
MUESTRA 2		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.566
Densidad seca	gr/cm ³	0.921
Humedad inicial	%	70.10
MUESTRA 3		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.598
Densidad seca	gr/cm ³	0.938
Humedad inicial	%	70.45

Ubicación: Orellana

Tipo de Arcilla: Suelo Arcilloso

Tabla 2.9 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO TRIAXIAL		
PROYECTO 3 TR.		
MUESTRA 1		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.924
Densidad seca	gr/cm ³	1.538
Humedad inicial	%	25.06
MUESTRA 2		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.929
Densidad seca	gr/cm ³	1.530
Humedad inicial	%	26.03
MUESTRA 3		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.906
Densidad seca	gr/cm ³	1.524
Humedad inicial	%	25.03

Ubicación: Tesis Muros Anclados
 Tipo de Arcilla: Arcilla

Tabla 2.10 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO TRIAXIAL		
PROYECTO 4 TR.		
MUESTRA 1		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.439
Densidad seca	gr/cm ³	0.840
Humedad inicial	%	71.32

Ubicación: Vía Laguna San Marcos
 Tipo de Arcilla: Suelo Arcillos

Tabla 2.11 Recopilación de datos de Ensayo Triaxial. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO TRIAXIAL		
PROYECTO 5 TR.		
MUESTRA 1		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.483
Densidad seca	gr/cm ³	0.769
Humedad inicial	%	92.82

Ubicación: Zamora Chinchipe
 Tipo de Arcilla: Arcilla - Limosa

2.5.1.3.- Ensayo Cono y arena

Tabla 2.12 Recopilación de datos de Ensayo Cono y Arena. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO CONO Y ARENA						
PROYECTO 1 CA.						
MUESTRA 1	RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	RESULTADO 4
	Densidad seca	gr/cm ³	1.258	1.220	1.237	1.246
	Densidad húmeda	gr/cm ³	1.675	1.622	1.632	1.647
	Densidad seca máxima	gr/cm ³	1.338	1.338	1.338	1.338
	Humedad inicial	%	33.09	32.97	31.98	32.19
	Humedad óptima	%	33.17	33.17	33.17	33.17

Tabla 2.13 Recopilación de datos de Ensayo Cono y Arena. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

MUESTRA 2	RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADO 1	RESULTADO 2
	Densidad seca	gr/cm ³	1.407	1.408
	Densidad húmeda	gr/cm ³	1.705	1.728
	Densidad seca máxima	gr/cm ³	1.479	1.479
	Humedad inicial	%	21.16	22.67
	Humedad óptima	%	25.13	25.13

Tabla 2.14 Recopilación de datos de Ensayo Cono y Arena. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

	RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDA D	RESULTADOS					
			1	2	3	4	5	6
MUESTRA 3	Densidad seca	gr/cm ³	1.419	1.390	1.423	1.362	1.409	1.443
	Densidad húmeda	gr/cm ³	1.638	1.663	1.707	1.582	1.686	1.722
	Densidad seca máxima	gr/cm ³	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479
	Humedad inicial	%	15.48	19.68	19.93	16.15	19.65	19.35
	Humedad óptima	%	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13

Ubicación: Barrio Nueva Aurora

Tipo de Arcilla: Arcilla

2.5.1.4.- *Ensayo de Densidad en Campo*

Tabla 2.15 Recopilación de datos de Densidad de Campo. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO DENSIDAD EN CAMPO			
PROYECTO 1 DN.			
PERFORACION	% HUMEDAD	UNIDADES	DENSIDAD HUMEDA
1	37.80	gr/cm ³	1.773
2	36.80	gr/cm ³	1.647
3	37.40	gr/cm ³	1.705
4	36.00	gr/cm ³	1.697
5	37.00	gr/cm ³	1.755
6	32.60	gr/cm ³	1.827
7	38.00	gr/cm ³	1.627
8	28.70	gr/cm ³	1.722
9	34.80	gr/cm ³	1.752
10	34.40	gr/cm ³	1.717
11	34.80	gr/cm ³	1.684
12	32.30	gr/cm ³	1.659
13	30.5	gr/cm ³	1.649
14	29.70	gr/cm ³	1.715
15	30.50	gr/cm ³	1.687

Ubicación: El Oro
 Tipo de Arcilla: Arcilla

2.5.1.5.- *Ensayo de Densidad Natural.-*

Tabla 2.16 Recopilación de datos de Densidad Natural. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO DE DENSIDAD NATURAL		
PROYECTO 1 DN.		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Masa	gr	266.91
Volumen	cm ³	151.51
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.762

Ubicación: Zamora Chinchipe
 Tipo de Arcilla: Arcilla - Limosa

Tabla 2.17 Recopilación de datos de Densidad Natural. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO DE DENSIDAD NATURAL		
PROYECTO 2 DN.		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Masa	gr	202.54
Volumen	cm ³	115.58
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.752

Ubicación: Zamora Chinchipe
 Tipo de Arcilla: Arcilla

Tabla 2.18 Recopilación de datos de Densidad Natural. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO DE DENSIDAD NATURAL		
PROYECTO 3 DN.		
RELACIONES FUNDAMENTALES	UNIDADES	RESULTADOS
Masa	gr	189.59
Volumen	cm ³	121.41
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.562

Ubicación: Zamora Chinchipe
 Tipo de Arcilla: Arcilla – Limosa

2.5.2.- Ensayos que correlacionan la resistencia de los suelos arcillosos

2.5.2.1.- Ensayos de Compresión Simple

Tabla 2.19 Recopilación de datos de Compresión Simple. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO COMPRESION SIMPLE		
PROYECTO 1 CS.		
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA	kg/cm ²	0.95

Ubicación: Santo Domingo
 Tipo de Arcilla: Suelo Arcilloso

Tabla 2.20 Recopilación de datos de Compresión Simple. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO COMPRESION SIMPLE		
PROYECTO 2 CS.		
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA	kg/cm ²	2.1

Ubicación: Santo Domingo
 Tipo de Arcilla: Arcilla - Limosa

Tabla 2.21 Recopilación de datos de Compresión Simple. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO COMPRESION SIMPLE		
PROYECTO 3 CS.		
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA	kg/cm ²	1.43

Ubicación: Zamora Chinchipe
 Tipo de Arcilla: Suelo Arcilloso

Tabla 2.22 Recopilación de datos de Compresión Simple. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO COMPRESION SIMPLE		
PROYECTO 4 CS.		
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA	kg/cm ²	0.45

Ubicación: Manta
 Tipo de Arcilla: Arcilla - Limosa

Tabla 2.23 Recopilación de datos de Compresión Simple. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO COMPRESION SIMPLE		
PROYECTO 5 CS.		
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA	kg/cm ²	0.75

Ubicación: Manta
 Tipo de Arcilla: Suelo Arcilloso

Tabla 2.24 Recopilación de datos de Compresión Simple. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO COMPRESION SIMPLE		
PROYECTO 6 CS.		
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA	kg/cm ²	1.03

Ubicación: Manta

Tipo de Arcilla: Suelo Arcilloso

Tabla 2.25 Recopilación de datos de Compresión Simple. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO COMPRESION SIMPLE		
PROYECTO 7 CS.		
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA	kg/cm ²	1.02

Ubicación: Manta

Tipo de Arcilla: Suelo Arcilloso

Tabla 2.26 Recopilación de datos de Compresión Simple. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO COMPRESION SIMPLE		
PROYECTO 8 CS.		
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA	kg/cm ²	1.20

Ubicación: Manta

Tipo de Arcilla: Suelo Arcilloso

Tabla 2.27 Recopilación de datos de Compresión Simple. Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE.

ENSAYO COMPRESION SIMPLE		
PROYECTO 9 CS.		
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA	kg/cm ²	0.07

Ubicación: Muestra Sheelby - Sacha

Tipo de Arcilla: Suelo Arcilloso

2.6.- Normativa para excavación en los suelos.-

Se ha mencionado las propiedades de los suelos arcillosos, los diferentes ensayos que se pueden ejecutar para encontrar dichas propiedades y los resultados de los ensayos proporcionado por el laboratorio PUCE para cada tipo y combinación de este suelo, pero también es relevante enunciar la norma que establece o rige en el Ecuador para conocer sobre las excavaciones de zanjas en el suelo.

2.6.1.- Especificaciones Técnicas de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito

2.6.1.1.- Definición de excavación

“Se entiende por excavaciones en general, el remover y quitar la tierra u otros materiales con el fin de conformar espacios para alojar mamposterías, canales y drenes, elementos estructurales, alojar las tuberías y colectores; incluyendo las operaciones necesarias para: compactar o limpiar el replantillo y los taludes, el retiro del material producto de las excavaciones, y conservar las mismas por el tiempo que se requiera hasta culminar satisfactoriamente la actividad planificada.

2.6.1.2.- Especificaciones

La excavación será efectuada de acuerdo con los datos señalados en los planos, en cuanto a alineaciones pendientes y niveles, excepto cuando se encuentren inconvenientes imprevistos en cuyo caso, aquellos pueden ser modificados de conformidad con el criterio técnico del Ingeniero Fiscalizador.

El fondo de la zanja será lo suficientemente ancho para permitir el trabajo de los obreros y para ejecutar un buen relleno. En ningún caso, el ancho interior de la zanja será menor que el diámetro exterior del tubo más 0.50 m, sin entibados: con entibamiento se considerará un ancho de la zanja no mayor que el diámetro exterior del tubo más 0.80 m., la profundidad mínima para zanjas de alcantarillado y agua potable será 1.20 m más el diámetro exterior del tubo.

En ningún caso se excavará, tan profundo que la tierra de base de los tubos sea aflojada o removida.

Las excavaciones deberán ser afinadas de tal forma que cualquier punto de las paredes no difiera en más de 5 cm de la sección del proyecto, cuidándose de que esta desviación no se haga en forma sistemática.

La ejecución de los últimos 10 cm de la excavación se deberá efectuar con la menor anticipación posible a la colocación de la tubería o fundición del elemento estructural. Si por exceso de tiempo transcurrido entre la conformación final de la zanja y el tendido de las tuberías, se requiere un nuevo trabajo antes de tender la tubería, éste será por cuenta de Constructor.

Se debe vigilar que desde el momento en que se inicie la excavación, hasta que termine el relleno de la misma, incluyendo la instalación y prueba de la tubería, no transcurra un lapso mayor de siete días calendario, salvo en las condiciones especiales que serán absueltas por el Ingeniero Fiscalizador.

Cuando a juicio del Ingeniero Fiscalizador, el terreno que constituya el fondo de las zanjas sea poco resistente o inestable, se procederá a realizar sobre excavación hasta

encontrar terreno conveniente; este material inaceptable se desalojará, y se procederá a reponer hasta el nivel de diseño, con tierra buena, replantillo de grava, piedra triturada o cualquier otro material que a juicio del Ingeniero Fiscalizador sea conveniente.

Si los materiales de fundación natural son aflojados y alterados por culpa del constructor, más de lo indicado en los planos, dicho material será removido, reemplazado, compactado, usando un material conveniente aprobado por el Ingeniero Fiscalizador, y a costo del contratista.

Cuando los bordes superiores de excavación de las zanjas estén en pavimentos, los cortes deberán ser lo más rectos y regulares posibles.”⁵⁶

2.6.2.- Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F- 002 TOMO II.-

“El ancho de la zanja que se excave para una alcantarilla o un conjunto de alcantarillas estará de acuerdo a lo indicado a los planos o como indique el Fiscalizador. El ancho no podrá ser aumentado por el Contratista para su conveniencia de trabajo.

En caso de que el lecho para la cimentación de las alcantarillas resulte ser de roca u otro material muy duro, se realizará una profundización adicional de la excavación a partir del lecho, hasta 1/20 de la altura del terraplén sobre la alcantarilla; pero, en todo caso, no menor a 30 cm, ni mayor a 1 metro. El material removido de esta sobre

⁵⁶ *Especificaciones Técnicas de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito - COTO-EMAAP-Q-20-2010*. Internet. www.aguaquito.gob.ec/RespaldoJoomla/index.php?option=com. Acceso: 23 de septiembre del 2013

– excavación será reemplazado con material de relleno para estructuras, que será compactado por capas de 15 cm, de acuerdo a lo previsto en esta sección y en la subsección 305-2.

Si el material de cimentación no constituye un lecho firme debido a su blandura, esponjamiento u otras características inaceptables, este material será retirado hasta los límites indicados por el fiscalizador. El material retirado será reemplazado con material seleccionado de relleno que se compactará por capas de 15 cm de espesor, conforme a lo estipulado en la subsección 305-2 hasta alcanzar el nivel de cimentación fijado.

El lecho de la zanja deberá ser firme en todo su ancho y longitud. De ser así señalado en los planos o requerido por el Fiscalizador, se dará al lecho una flecha longitudinal en el caso de alcantarillas tubulares transversales.

Cuando se lo especifique en los planos, se efectuará la excavación para alcantarillas tubulares a ser colocadas en la zona del terraplén, después de haberse terminado el terraplén y hasta cierta altura por encima de la cota de alcantarilla, de acuerdo a lo indicado en los planos u ordenado por el Fiscalizador.⁵⁷

⁵⁷ *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F- 002 TOMO II.* Sección 601.3.01. Pag. VI-166

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LA EXCAVACION DE ZANJAS DE ALCANTARILLADO EN SUELOS ARCILLOSOS

3.1.- Clasificación de la maquinaria pesada

Uno de los puntos importantes con respecto a los trabajos de construcción, son los correspondientes a la correcta elección y utilización de la maquinaria a emplear en ellos.

La rapidez de cambio y desarrollo de la maquinaria aumenta constantemente, por lo que las técnicas para el uso provechoso de la maquinaria cada vez son más complejas, gracias a esto se debe tener cuidado en que cada una de estas máquinas se las utilice para lo que fueron diseñadas.

Se conoce un sin número de maquinaria pesada, por lo que es importante realizar una clasificación considerando el trabajo que realizan, o, teniendo en cuenta el tipo de construcción en las que se utiliza.

Para lo cual se conoce los siguientes tipos de maquinaria dentro de la construcción.

- Maquinaria Pesada.
- Vehículo Pesado.
- Vehículo Semipesado.
- Vehículos Livianos.

- Vehículo según el Número de Ejes.⁵⁸

3.1.1.- Maquinaria Pesada

Se la considera así a la maquinaria de grandes proporciones geométricas comparadas con vehículos livianos, los cuales tienen un peso y volumen considerable, los mismos que requieren operadores capacitados para su funcionamiento, por lo que estos se subdividen en dos clases:

- Maquinaria para Construcción Ligera.
- Maquinaria para Construcción Pesada⁵⁹

3.1.1.1.- Maquinaria para Construcción Ligera.-

Estos son considerados como maquinaria utilizada en obras civiles referentes a edificación, como son:

1. Construcción de casas.
2. Edificios.
3. Bodegas.
4. Talleres.
5. Parques.
6. Áreas deportivas, etc.

Dentro de estas máquinas ligeras podemos encontrar:

1. Bombas.
2. Vibradores.
3. Compresores.

⁵⁸ Mamani Richard. *Fichas Maquinarias*. Internet. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf. Acceso: 6 de junio de 2013.

⁵⁹ *Clasificación, Descripción y uso de la Maquinaria para la Construcción*. Internet. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5199/Capitulo2.pdf>. Acceso: 20 de julio de 2013.

4. Bombas de agua.
5. Equipo para soldadura.
6. Cortadoras.⁶⁰

3.1.1.2.- *Maquinaria de Construcción Pesada.-*

En este grupo se encuentra maquinaria que abarca una variedad de obras como:

1. Movimientos de tierras.
2. Carreteras.
3. Presas.
4. Túneles.
5. Dragado.
6. Excavación.
7. Cimentaciones profundas.

Los principales equipos utilizados en estos tipos de trabajos son:

1. Tractores.
2. Cargadores.
3. Excavadoras.
4. Motoconformadoras.
5. Perforadoras.

Dentro de la maquinaria pesada también podemos encontrar la **Maquinaria Semipesada**, que en este caso son maquinaria de tamaño mediano utilizado en la construcción como son:

1. Volquete

⁶⁰ *Clasificación, Descripción y uso de la Maquinaria para la Construcción.* Internet. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5199/Capitulo2.pdf>. Acceso: 20 de julio de 2013.

2. Carros Cisterna

3. Camiones Escalera.⁶¹

Donde el peso y volumen de la maquinaria es mediano.

Se puede realizar una clasificación de la maquinaria tomando en cuenta otros factores importantes como son:

- Según se Fuente de Energía
- Según el Sistema de Traslación
- Según las Operaciones que Realizan

⁶¹ *Clasificación, Descripción y uso de la Maquinaria para la Construcción.* Internet. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5199/Capitulo2.pdf>. Acceso: 20 de julio de 2013.

1. Según fuente de Energía.

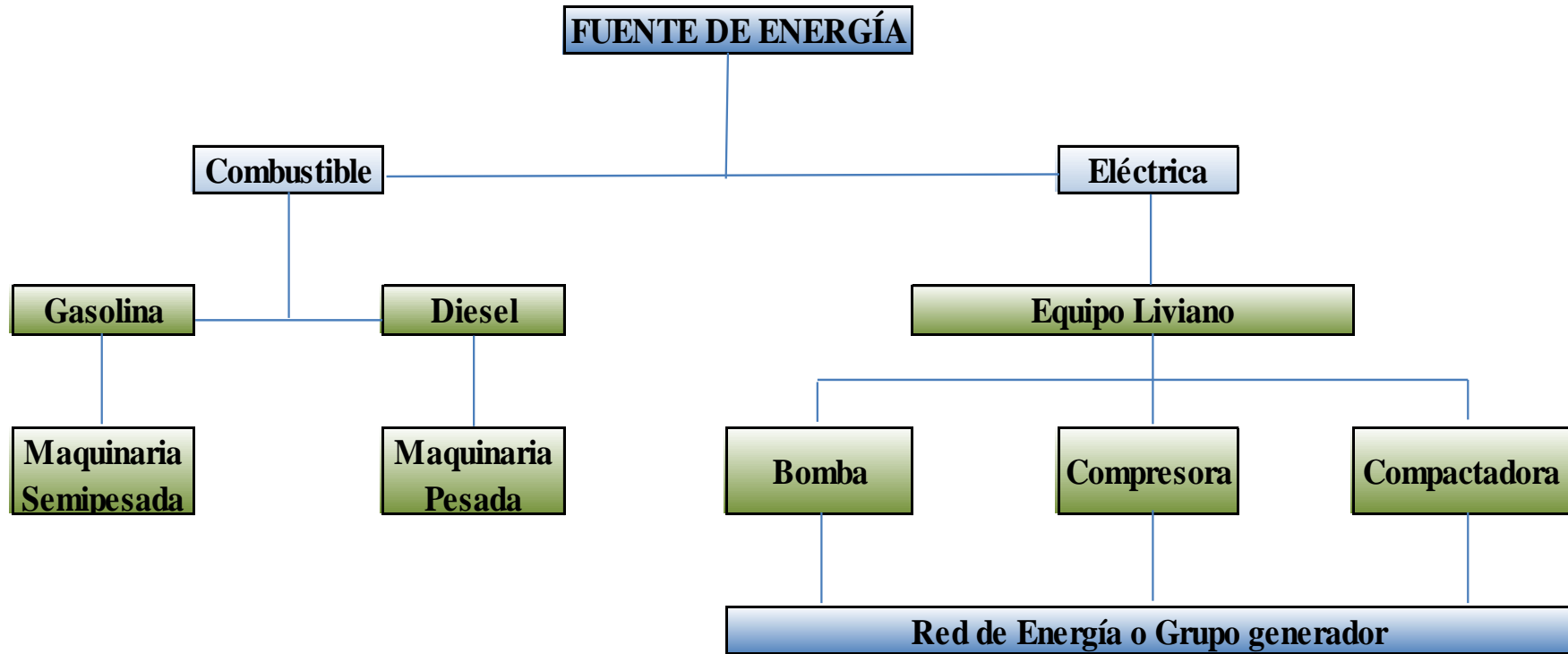


Figura 3.1 Maquinaria según la Fuente de Energía- Mamani, Richard. Fichas Maquinarias. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf

2. Según el sistema de Traslación.

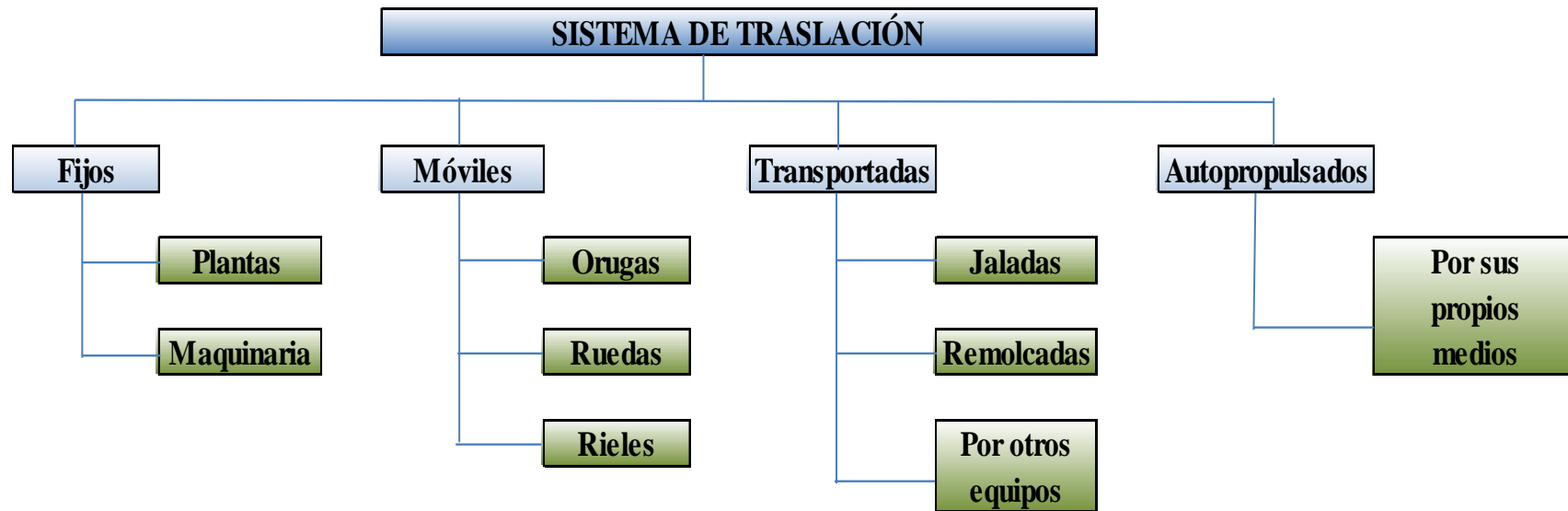


Figura 3.2 Maquinaria según el Sistema de Traslación- Mamani, Richard. Fichas Maquinarias. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf

3. Según las Operaciones que Realizan

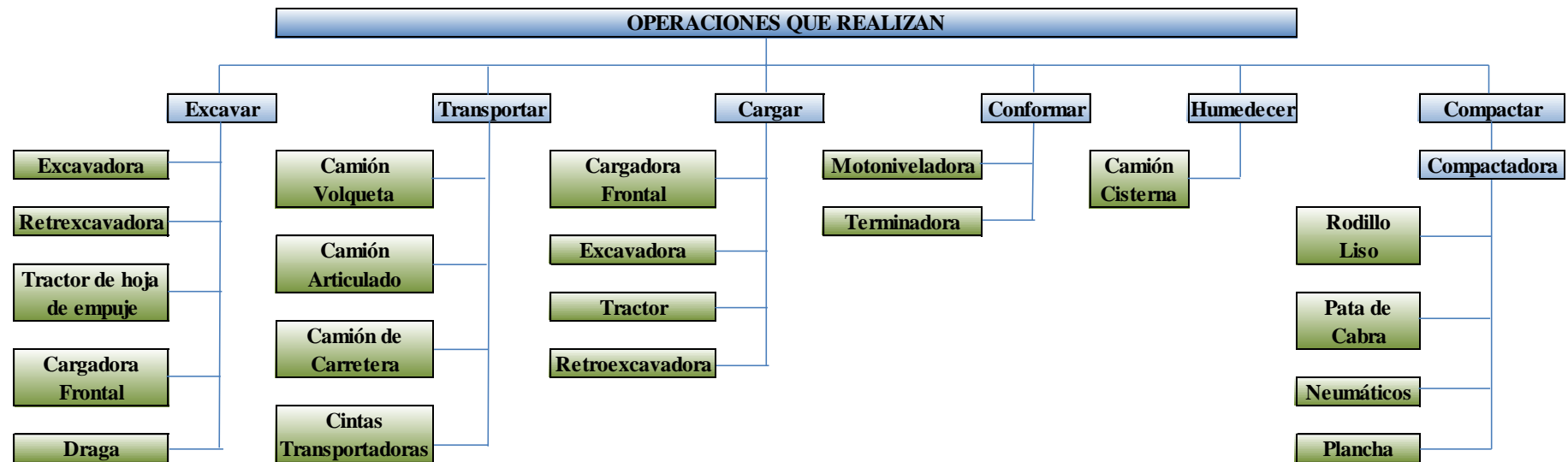


Figura 3.3 Maquinaria según las Operaciones que realizan- Mamani, Richard. Fichas Maquinarias. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf

La maquinaria en las últimas décadas ha tenido una tendencia de desarrollo relacionada con:

- Uso creciente de materiales más ligeros y resistentes.
- Aumento de la Potencia Nominal de los motores.
- Uso mayoritario de motores a Diésel.
- Empleo de mandos y transmisiones hidráulicos.
- Mayor maniobrabilidad.
- Mayor versatilidad.
- Mayor confort.
- Forma y diseño aerodinámico.⁶²

3.2.- Partes fundamentales de la maquinaria de construcción

Es importante conocer las partes fundamentales de la maquinaria y describirlos brevemente a cada uno de estos, los mismos que deben ser objeto de conocimiento:

- Motor
- Sistema de transmisión.
- sistema o tren de rodaje.
- Sistema de control.
- Chasis.
- Órganos de trabajo.

⁶² *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

3.2.1.- Motor

Es el principal elemento en todo equipo de construcción, ya que es el componente generador de potencia que necesitan estas máquinas para cumplir sus funciones. Estos se los encuentra de diferentes formas, potencias y también pueden funcionar con diferentes formas de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), la misma que se convierte en energía mecánica para la realización de los trabajos.⁶³

La mayoría de las máquinas son construidas con motores de combustión interna y generalmente se utiliza para este tipo de máquinas motores a diésel, por las comodidades económicas que representa al constructor.

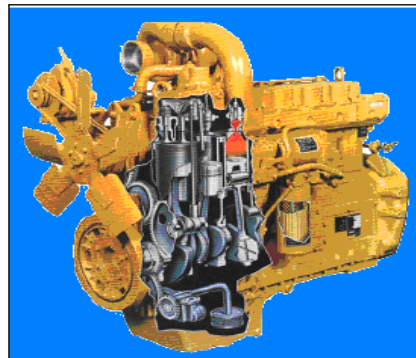


Figura 3.4 Motor de la maquinaria para excavación- *Equipos y Técnicas Constructivas*.
<http://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y- tecnicas-constructivas.pdf>

3.2.2.- Sistema de Transmisión

Este mecanismo es el encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina, la misma que debe llegar del motor al sistema de rodaje y los órganos de trabajo del equipo.⁶⁴

⁶³ *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y- tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

⁶⁴ Komatsu. *Excavadora Hidráulica*. Internet. <http://www.multipino.es/offer218819.html>. Acceso: 10 de julio de 2013

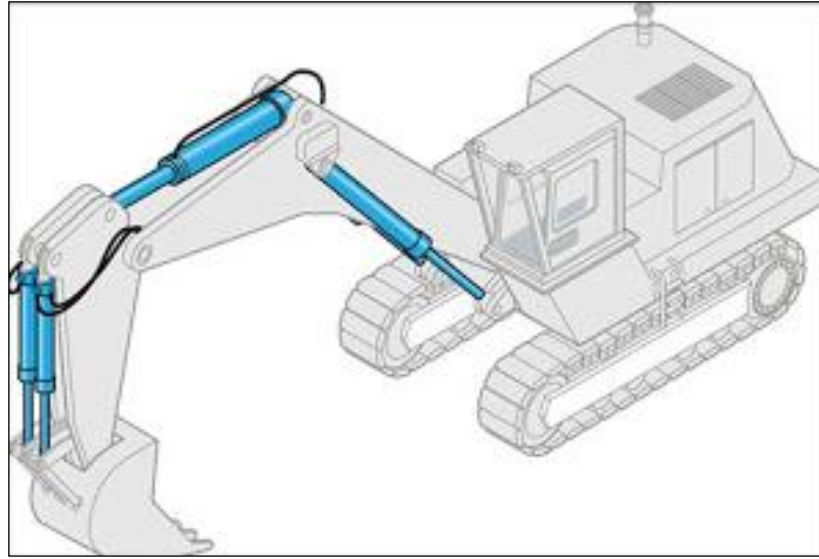


Figura 3.5 Sistema de transmisión de la Excavadora Hidráulica -
<http://www.viarural.com.ec/agroindustria/maquinaria-construccionm315c.htm>

3.2.3.- Sistema o tren de rodaje.-

Es un sistema integrado que sirve para mover la maquinaria en cualquier terreno.

El tren de rodaje es una mezcla de 2 sistemas los cuales son el de rodamiento y transmisión.

Los trenes de rodaje se clasifican en:

1. Neumáticos o ruedas de goma
2. Trenes de rodaje de orugas
3. Patines o rieles

Cuando se emplea el primer sistema, la maquinaria posee mayor movilidad y desarrolla mayor velocidad. El segundo sistema es conveniente para áreas de trabajo

que no poseen caminos, suelos de poca resistencia y para desarrollar mayores esfuerzos de tracción.⁶⁵

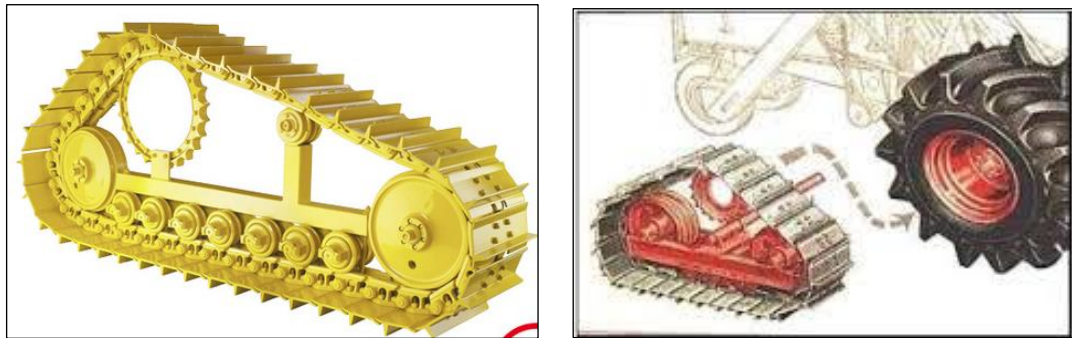


Figura 3.6 Tipos de trenes de rodaje - <http://www.multipino.es/offer218819.html>

3.2.4.- Sistemas de control.-

Es el sistema que permite controlar el funcionamiento de la maquinaria, es también conocido como los “mandos del equipo” mediante los cuales los operadores dirigen la máquina.

Por medio de estos se consigue la transmisión y velocidad tanto en movimientos lineales como de rotación.

Los sistemas de control se clasifican en:

- Los sistemas de control óleo – hidráulicos.- Están basados en la transmisión de la energía mediante circuitos hidráulicos, en los que se emplean aceites especiales.
- Los sistemas de control neumático.- Esta tecnología se refiere a compresores, bombas de vacío, neumática móvil y a frenos de aire y herramientas neumáticas.⁶⁶

⁶⁵ *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y- tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

Otra clasificación a partir de la construcción de los controles es:

- Mandos de cable
- Hidráulicos
- Neumáticos
- Combinados



Figura 3.7 Sistema de control de una retroexcavadora -
<http://maquinariapesadacol.blogspot.com/2012/04/2006-retroexcavadora-new-holland-b95.html>

3.2.5.- Chasis

Es la parte del equipo que soporta las piezas y carrocería del equipo y además debe poseer la suficiente rigidez para no deformarse en la realización de los trabajos. No posee forma definida variando según el tipo y modelo del equipo de que se trate.⁶⁷

⁶⁶ Díaz del Río Manuel. *Manual de Maquinaria de la Construcción*, Madrid, McGraw-Hill, 2da edición, 2007. Pags: 252-254.

⁶⁷ *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

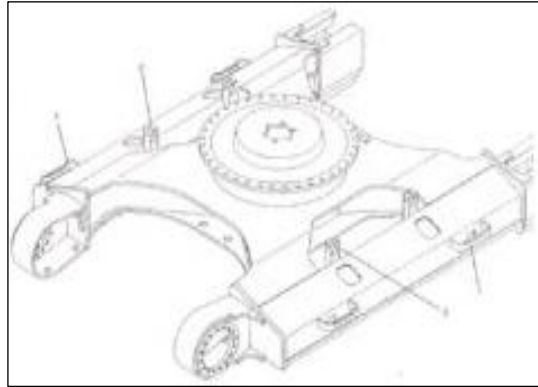


Figura 3.8 Chasis de la maquinaria para excavación - <http://www.metalfabrication.es/1-1-4-steel-chassis.htm>

3.2.6.- Órganos de trabajo

Todo equipo posee órganos de trabajo con diferentes formas y dimensiones: hojas con cuchillas, cubos o palas, escarificados, camas o depósitos.

Estos órganos son accionados por los sistemas de control antes mencionados, imponiéndose los de mando hidráulico por tener mayor precisión para acometer las labores, sobre todo en aquellos que operan con cuchillas.⁶⁸

⁶⁸ *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

3.3.- Estudio técnico de la maquinaria para excavación de zanjas para alcantarillado.-

3.3.1.- Excavadora

Se conoce como excavadora a una máquina estacionaria, autopropulsada que normalmente va montada sobre orugas, neumáticos y camiones.

Estas máquinas pueden realizar giros de 360 grados o parciales, la cual cumple las tareas esenciales como son excavar, cargar, girar y descargar los diferentes tipos de materiales por la acción del órgano de ataque muy comúnmente cucharón, la cual está fijada a un conjunto de brazo y pluma, sin que el chasis o estructura portante se desplace.⁶⁹

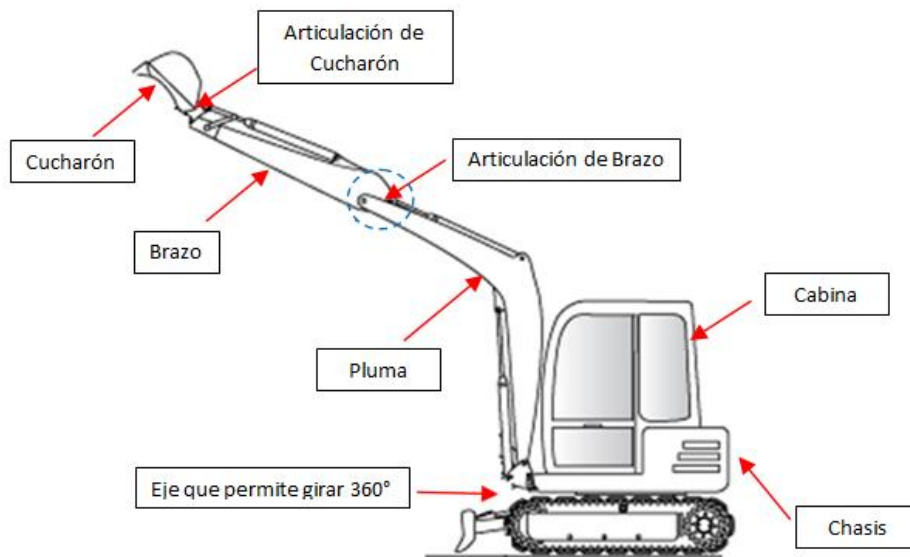


Figura 3.9 Parte de Excavadora- <http://solorobotica.blogspot.com/2011/12/robotica-facil-excavadora-hidraulica.html>

⁶⁹ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

Estas están constituidas principalmente por una unidad giratoria (superestructura), la cual posee una cabina metálica asentada sobre una plataforma de acero, en donde el operador puede manipular la máquina.

La unidad de tránsito sirve para el desplazamiento y sobre esta encontramos el motor, la transmisión, la superestructura, la cabina del operador, etc.⁷⁰

Estas pueden ser aplicadas en los siguientes campos de la construcción:

- Excavación de Zanjas.
- Peinado de Taludes.
- Excavación para Estructuras.
- Excavación de Materiales, etc.

Las excavadoras pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

- Según su Accionamiento:
 1. Excavadoras de Cable o Mecánicas.
 2. Excavadoras Hidráulicas.
- Según el sistema de Traslación:
 1. Excavadoras montadas sobre Cadenas
 2. Excavadoras montadas sobre Neumáticos
 3. Excavadoras montadas sobre Rieles
 4. Excavadoras montadas sobre Barcos
- Según el Tipo de Operación:
 1. Excavadoras normal o Standar
 2. Excavadoras de Mordazas.
 3. Excavadoras de Tamber.
 4. Excavadoras de Rosario.⁷¹

⁷⁰ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.



Figura 3.10 Excavadora tipo Rosario y Tamber- Morales, Rodolfo. Maquinaria de Construcción. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>.

Para el análisis de la tesis se utilizará la Excavadora Hidráulica montada sobre Cadenas de tipo de Operación Estándar, misma que se ilustra en la figura 3.11.



Figura 3.11 Excavadora Hidráulica - <http://www.google.com.ec/search?q=excavadora%20hidraulica>

⁷¹ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

También conocida como retroexcavadora por el movimiento que realiza su brazo que para cargar el cucharón, debe estirar este de adelante hacia atrás para poder cargarlo, dándole así su nombre de retroexcavadora por el movimiento que realiza.

Estas máquinas se las utiliza comúnmente para excavar abajo del nivel del terreno, la misma que está formada de un brazo mecánico con un cucharón retroexcavador, el cual funciona mediante un sistema hidráulico, acoplado a una estructura metálica montada sobre orugas.

Estas máquinas han sido diseñadas para satisfacer las diversas dificultades que se pueden presentar en una obra al momento de excavar, para poder realizar este trabajo a un menor costo y una mayor productividad. De igual manera estas fueron diseñadas para trabajar en lugares donde excavadoras de mayores dimensiones no pueden entrar, las cuales de ser posibles reducirían el tiempo de trabajo como las dragas, pero el inconveniente es que solo mueven material suelto no compacto como el que se encuentra en la naturaleza para lo cual se diseñó la excavadora hidráulica cuyo campo de acción está en excavaciones medianas y pequeña profundidad en diferentes tipos de suelos y condiciones de trabajo, por lo que se la considera una maquinaria muy versátil.⁷²

La excavadora de orugas consta de los siguientes órganos principales como son:

Pluma.- Es un elemento estructural en forma de cuello de ganso, el mismo que se une en su parte inferior al bastidor de la máquina mediante una articulación y puede

⁷² Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

estar formado de una o dos piezas para las cuales se deben tener las siguientes consideraciones:

- Se utilizará la pluma de una pieza para trabajos donde se necesita alcance y grandes profundidades, es de gran ayuda para abrir zanjas, debido a su largo alcance, profundidad, menor peso y capacidad de levantamiento.
- Las plumas de dos piezas se las utiliza donde el trabajo exige adaptabilidad, donde la sección trasera se extiende o se retrae para alcanzar mayor profundidad. Se las utiliza para usar cucharones más grandes y para lograr más alcance y profundidad.⁷³



Figura 3.12 Tipos de plumas en las excavadoras, una y dos piezas - <http://www.google.com.ec/search/plumas%20hidraulica>

Brazo.- Es el elemento designado para la excavación, el mismo que va articulado ubicado en la parte superior de la pluma, y en el otro extremo encontramos el cucharón, el mismo que se controla por cilindros hidráulicos, podemos encontrar los siguientes tipos de brazos:

⁷³ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

- Brazo Corto.- Este se utiliza cuando se requiere mayor fuerza de penetración y capacidad máxima de levantamiento.
- Brazo Mediano.- El más utilizado en la mayoría de trabajos, debido a que provoca un máximo rendimiento en todos los campos de construcción, por la variabilidad de las condiciones de trabajo.
- Brazo Largo.- Este se lo utiliza generalmente para abrir zanjas de gran profundidad con cucharones de poca capacidad, debido a las ventajas que ofrece de mayor alcance y gran profundidad.
- Brazo de Largo Alcance.- Este tipo de brazos se han desarrollado en los últimos tiempos, utiliza para el dragado y conservación de ríos.
- Brazo Telescópico.- Para excavaciones verticales, comúnmente se adapta al cucharón de almeja.⁷⁴

Hay que tomar factores para la correcta elección del brazo como son: fuerza de corte necesaria, capacidad de levantamiento, tamaño del cucharón y tipo de material.

Durante el trabajo la máquina realiza los movimientos siguientes con su brazo:

- Movimiento descendente del brazo auxiliar a la profundidad deseada.
- Movimiento para efectuar la excavación y carga del cucharón.
- Giro lateral para depositar el material excavado.

Tipos de trabajos que se pueden realizar con la Excavadora:

- Zanjas para tubería.
- Excavaciones de canales.
- Colocación de tubería.

⁷⁴ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

- Excavación de cunetas y drenes.
- Dragado y limpieza de canales.
- Talar y acarrear árboles.
- Separar y acarrear chatarra.
- Trabajo en cantera, etc.⁷⁵

Para una correcta elección de maquinaria se debe tener en cuenta también otros factores propios de cada obra para los cuales la maquinaria debe satisfacer de la manera más económica y productiva posible, por lo que se deben tomar en cuenta ciertas características del trabajo como son:

1. Volúmenes de obra

- Grandes
- Regulares
- Pequeños

2. Tipo de Materiales

- Duros
- Suaves⁷⁶

3. Profundidad de corte

- Muy profundo
- Poco profundo

4. Tipo de superficie y Movilidad

- Sobre orugas

⁷⁵ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

⁷⁶ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

- Sobre neumáticos

5. Otros

- Condiciones de la obra
- Altura de descarga
- Facilidad de adquisición de la máquina⁷⁷

3.3.2.- Retro-excavadora

La retroexcavadora o conocida como retroexcavadora mixta es una tipo de maquinaria esencial para casi cualquier proyecto de construcción, debido que está provista de una pala capaz de realizar movimientos de tierras considerables y en el lado posterior de esta encontramos una pala con brazo articulado, que puede realizar muchos trabajos entre los que se destacan zanjas, trabajos en taludes, etc.⁷⁸

Estas máquinas pueden ser:

Según su accionamiento:

- Retroexcavadoras de cable o mecánicas.
- Retroexcavadoras hidráulicas.

Según el sistema de Traslación:

- Retroexcavadoras de neumáticos.

⁷⁷ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

⁷⁸ Mamani Richard. *Fichas Maquinarias*. Internet. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf. Acceso: 6 de junio de 2013



Figura 3.13 Retro excavadoras - <http://www.scribd.com/doc/92100866/Retroexcavadora>

Estas máquinas pueden ser utilizadas para diferentes tipos de trabajos como:

- Excavaciones de Zanjas.
- Excavaciones de Cimientos.
- Limpieza y nivelación.
- Desmonte, carga y descarga de materiales.
- Escarificar.
- Construcción de canales de drenaje y riego.
- Explotaciones en ríos.
- Apilado de material, etc.

Una de las características muy importantes de esta máquina es la cantidad de trabajos que puede realizar, gracias a que se le puede cambiar los dos órganos de trabajo que posee haciendo de esta manera una de las máquinas más versátiles que existe⁷⁹

⁷⁹ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

Para el análisis de la tesis se utilizará la Retroexcavadora Mixta montada sobre neumáticos.



Figura 3.14 Retro excavadora y sus múltiples aditamentos - http://www.clasificadosviales.com/images/anuncios/698c11514f08bb6f756b50ebd963d13a_retroexcavadora-40941.jpg

Todo esto se ha logrado uniendo en una sola máquina tres diferentes tipos de estas que son: una cargadora frontal, una excavadora y un tractor, por lo que, el tractor permite a la máquina moverse rápidamente y con seguridad, la parte frontal permite transportar grandes cantidades de material, inclusive se puede utilizar para el empuje de material y la parte posterior, trabaja semejante a una excavadora.

Unidas todas estas características y tomando en cuenta el reducido volumen de esta y su diseño es capaz de moverse en terrenos difíciles. La hace imprescindible para toda empresa de movimiento de tierras al momento de realizar excavaciones de zanjas, ya que se complementa a sí misma con sus aditamentos.⁸⁰

La máquina estará fijada al suelo por unos estabilizadores, que disminuyen la tensión trasladando la mayoría del peso en la máquina y sus neumáticos.

En lo concerniente al llenado del cucharón y los movimientos que realiza esta máquina en el cálculo de tiempo de ciclo son similares a los de la excavadora, ya que

⁸⁰ Cargadora Retroexcavadora. Internet. http://www.es.ritchiewiki.com/wikies/index.php/Cargadora_retroexcavadora. Acceso: 13 de agosto de 2013.

para la tesis a realizarse lo importante son los movimientos que se realicen para la excavación de zanjas.⁸¹

3.3.3- Mini cargador

Es una máquina de construcción que consta de un chasis rígido con cabina cubierta desmontable sobre el cual se acopla aditamentos de pequeña capacidad.

El único motor a diesel de esta máquina suele estar acoplado en la parte trasera. Cuenta con un sistema hidráulico para la elevación o montaje de los accesorios que se pueden acoplar. El chasis se desplaza sobre un sistema de orugas o de neumáticos, siendo más habitual este último con una distribución de cuatro neumáticos de igual diámetro repartidos equitativamente a los lados.⁸²

Los mini cargadores son los equipos más versátiles por la gran variedad de aditamentos que cuentan. De manera general es un equipo de gran ayuda para realizar tareas de:

- Excavación
- Demolición
- Fresado de pavimentos
- Carga de camiones
- Nivelación de terrenos
- Limpieza de parcelas
- Traslado de materiales
- Retiro de escombros
- Otras.⁸³

⁸¹ *Cargadora Retroexcavadora*. Internet. http://www.es.ritchiewiki.com/wikies/index.php/Cargadora_retroexcavadora. Acceso: 13 de agosto de 2013.

⁸² IIASA CAT, *Minicargadores*. Internet. <http://www.iiasacat.com.ec/productos/equipos/nuestros-equipos/detalle/catalogo/minicargadores?gclid=CJmoxKnmhbsCFct9Ogod2W8AhQ>. Acceso: 30 de agosto del 2013.

⁸³ Volvo, *Construction Equipment – Minicargadoras*. Internet. <http://www.volvoce.com/constructionequipment/brazil/br-es/products/skidsteerloaders/MC115C/Pages/featuresandbenefits.aspx>. Acceso: 30 de agosto del 2013

3.3.3.1.- Aditamentos de los minicargadores.-

Los aditamentos más sobre salientes que se pueden encontrar y de mayor uso son los siguientes:

- Martillo Hidráulico
- Brazo Excavador
- Barredera encajonada
- Montacargas
- Rodillo compactador
- Fresadora de pavimentos
- Plantadora de árboles
- Bomba de concreto
- Zanjadora⁸⁴

A continuación se presenta imágenes de lo antes expuesto:



Figura 3.15 Mini cargador con martillo hidráulico - - <http://huechuraba.olx.cl/arriendo-de-minicargadores-distintos-modelos-iiid-386883688>

⁸⁴ *Aditamentos.com*. Internet. <http://meritmachinery.com/details.aspx?attachment=1423>. Acceso: 30 de agosto del 2013



Figura 3.16 Mini cargador con brazo excavador - <https://minicargador+con+brazo+excavador> - Minicargador_con_Brazo_Excavador



Figura 3.17 Mini cargador con pala



Figura 3.18 Mini cargador con rodillo

[https:// MINICARGADOR-CON-PALA-con-pala-iid-115026496%3B400%3B300](https://MINICARGADOR-CON-PALA-con-pala-iid-115026496%3B400%3B300); - [https:// RODILLO-COMPACTADOR-FINICHER-compactador-finicher-iid-134612164%3B625%3B469](https://RODILLO-COMPACTADOR-FINICHER-compactador-finicher-iid-134612164%3B625%3B469)

3.3.3.2.- Minicargadores con acople para excavación

Cuando se tiene tareas donde el espacio es el factor importante, y la maquinaria; excavadora y retroexcavadora se encuentran sobredimensionadas, las características del minicargador son las ideales para ejecutar estas obras.

Para la investigación que se realiza, el aditamento que se necesita para la excavación de zanjas de alcantarillado, es el brazo excavador, por lo tanto se realiza el análisis correspondiente, mismo que se detalla a continuación:

Brazo excavador.- Es el elemento excavador que va articulado a la parte superior de la pluma, y en su parte inferior va unido el cucharón, mismo que es controlado a través de cilindros hidráulicos.

Este implemento transforma al minicargador en una potente retro excavadora, para abrir zanjas, cargar y descargar en espacios reducidos.

Para cada modelo y marca existen diferentes longitudes de brazos, la elección adecuada depende de los siguientes factores:

- Fuera de corte necesaria
- La capacidad de levantamiento
- El tamaño del cucharón
- El tipo de material

El aditamento principal de esta máquina es el cucharón excavador. Los hay de diferentes tipos y capacidades, mismo que están en función del tamaño del equipo.⁸⁵



Figura 3.19 Aditamento del mini cargador - Brazo excavador
<http://lacasadelbobcat.com/ventas/brazos-excavadores/brazos-excavadores-euroimplementos-para-minicargadores-brazos-excavadores-para-bobcats-47.htm>

⁸⁵ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

Método de trabajo.- Los minicargadores se asemejan en su función a una excavadora o retroexcavadora, con una gran diferencia: su reducido tamaño. Esta máquina se utiliza principalmente en obras con una superficie de trabajo reducida donde no es rentable o viable utilizar máquinas de mayor tamaño o capacidad, por lo que es común encontrarlos en ciudades.

Su función principal es la excavación, carga, transporte y descarga de volúmenes reducidos de material. Se desplaza a una velocidad de 10 km/h aproximadamente. La excavación puede realizarse en alturas no muy profundas, cargar el material con el cucharón cargador y descargar en el sitio designado. El cucharón puede tener cuchilla o dientes y puede montar martillos hidráulicos o brazos retroexcavadores de pequeño tamaño en su parte trasera, por lo tanto es una máquina muy versátil, aunque limitada por su escasa potencia. Debido a su distribución de peso esta máquina tiende al vuelco si eleva mucho su brazo.⁸⁶

“El giro se obtiene en este tipo de máquinas por el bloqueo de las dos ruedas de una misma lateral mientras continua la tracción en las otras dos. El sistema de tracción de estas máquinas de chasis rígido difiere de las grandes cargadoras, siendo cada lateral independiente. Algunos modelos tienen cadenas de goma en vez de ruedas.”⁸⁷

3.4.- Elección del cucharón para la maquinaria pesada de excavación de zanjas para alcantarillado.-

Otro factor que se debe considerar para el correcto trabajo de la maquinaria, es no forzarla a realizar trabajos donde su fuerza no es suficiente o está siendo mal utilizada, por lo que hay que tener en cuenta la capacidad de levantamiento.

Este parámetro se lo debe tomar en cuenta ya que en muchas obras de redes de agua y alcantarillado, la maquinaria pesada realiza trabajos de levantamiento de tubería y colocación de la misma, por lo que en muchos casos, la capacidad de levantamiento

⁸⁶ *La Retroexcavadora.docx*. Internet. <http://es.scribd.com/doc/142854267/La-retroexcavadora-docx>. Acceso: 30 de agosto del 2013

⁸⁷ *La Retroexcavadora.docx*. Internet. <http://es.scribd.com/doc/142854267/La-retroexcavadora-docx>. Acceso: 30 de agosto del 2013

es tan importante que es un factor decisivo en el momento de elección de una máquina para un trabajo.⁸⁸

Esta capacidad depende de su peso y de la ubicación del centro de gravedad de la máquina, de la posición del punto de levantamiento y la capacidad hidráulica

Este factor para términos del trabajo a realizarse debe tomarse en cuenta para el levantamiento de material excavado, que en este caso puede provocar que la maquinaria pierda su equilibrio estático, que sucede cuando los rodillos posteriores se separan de las cadenas, para lo cual se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- “La carga nominal no pase del 75% de la carga límite de equilibrio estático.
- La carga nominal no debe exceder el 87% de la capacidad hidráulica de la excavadora.
- La carga nominal tampoco debe superar la capacidad estructural de la máquina.”⁸⁹

Tomado en cuenta los factores anteriores se conoce como la herramienta principal de toda maquinaria a su cucharón el mismo que debe ir equipado con: 3 o más dientes o puntas, cuchillas para tener más capacidad de corte, con los cuales se puede encontrar diferentes tipos de cucharones dependiendo de la maquinaria que se vaya a utilizar como son:

- Cucharón Estándar.- Para todo uso
- Cucharón Trapezoidal.- Para excavaciones de canales.
- Cucharón de Aplicación Especial.- Para cargar roca y materiales duros.
- Cucharón para Zanjeo Pesado.- Para retención de material excavado y realizar este trabajo donde existe poco espacio.

⁸⁸ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

⁸⁹ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

Otras consideraciones que se debe tener para la elección del cucharón:

- Tener en cuenta el radio de plegado, especialmente en suelos duros.
- Utilizar para terrenos fáciles de excavar cucharones anchos y para difíciles cucharones estrechos.
- Cucharones con menor radio de plegado tienen mayor fuerza.
- Ancho del fondo de la zanja.⁹⁰

Se debe tener en cuenta para el cucharón los factores que tienen que ver con sus capacidades como son:

- “Capacidad a Ras.- Este se conoce como el volumen de material que se encuentra dentro sin tomar en cuenta los dientes ni cuchillas laterales.
- Capacidad Colmada.- Es el volumen a ras más un volumen de material con un ángulo de reposo de 1:1, sin contar dientes ni cuchillas laterales.”⁹¹

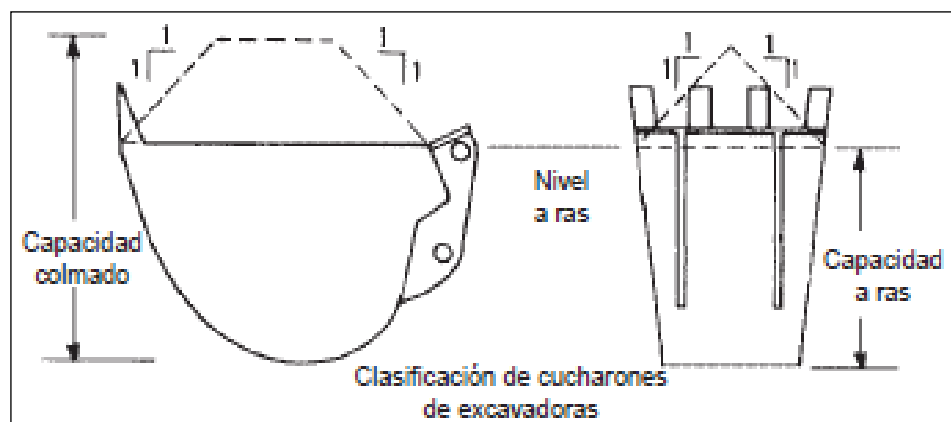


Figura 3.20 Clasificación de los cucharones - Manual de Rendimiento Caterpillar 39.

<http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/PerformanceHandbookEspanolNew.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

⁹⁰ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

⁹¹ *Manual de Rendimiento Caterpillar 39*. Internet.

<http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/PerformanceHandbookEspanolNew.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

Si bien se conoce que el cucharón puede tener una capacidad de llenado al ras y colmada se debe tener en cuenta la capacidad de carga útil del cucharón, la cual es afectada por tamaño, forma, fuerza de plegado y características propias del suelo, como el factor de llenado, del cual depende la capacidad colmada del cucharón.⁹²

Material	Factor de llenado (porcentaje de la capacidad colmada del cucharón)
Marga mojada o arcilla arenosa	A — 100-110%
Arena y grava	B — 95-110%
Arcilla dura y compacta	C — 80-90%
Roca bien fragmentada por voladura	60-75%
Roca mal fragmentada por voladura	40-50%

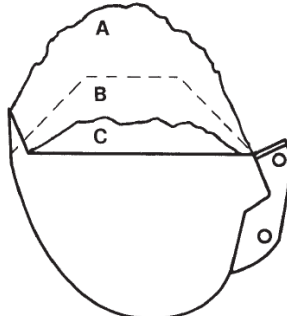


Figura 3.21 Factor de llenado - Manual de Rendimiento Caterpillar 39

<http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/PerformanceHandbookEspanolNew.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

$$\text{Carga Útil} = (\text{capacidad colmada}) \times (\text{factor de llenado})$$

Fórmula 3.1

Carga Útil del Cucharón

⁹² Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

3.5.- Tiempo de ciclo.

Un factor que se conoce indispensable y del cual varía la productividad es el TIEMPO DE CICLO, tomando en cuenta que el ciclo es el conjunto de operaciones que se repiten periódicamente para la ejecución de un trabajo, por lo que se puede considerar que el tiempo de ciclo es el tiempo que invierte una máquina en hacer el trabajo completo en un viaje de ida y vuelta.

Estos tiempos de ciclo para cada trabajo serán diferentes, pero los mismos pueden ser calculados fácilmente mediante una inspección visual para su determinación.

El tiempo de ciclo tiene dos componentes que son:

- Tiempo Fijo.
- Tiempo Variable.

Entendiendo por tiempo fijo, el tiempo que se demora la maquinaria en realizar el conjunto de operaciones: carga, descarga y maniobras. Estos tiempos son dados por el fabricante, tomando en cuenta que estos se han calculado en condiciones óptimas.

Mientras que el tiempo se lo considera variable dependiendo del tiempo que necesite para acarreo y la distancia de la zona de desalojo.⁹³

Para el cálculo del tiempo de ciclo de la maquinaria en análisis se debe tomar en cuenta que el ciclo de estas constará de las siguientes cuatro etapas para poder tener una mejor producción y que no existe un tiempo variable puesto que la maquinaria pesada ejecuta la excavación de modo estacionario:

- Excavación y Carga.
- Giro con Carga.
- Descarga.
- Giro sin Carga.

⁹³ Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

Estos serían los movimientos básicos de las máquinas de excavación, los mismo que pueden variar dependiendo del tamaño de la maquinaria y de las condiciones de la obra, como pueden ser: dureza del material, profundidad de excavación, de la ubicación de la pila de material, ya que a mayor giro se aumentará el tiempo, por lo que se tiene como tope un giro de 90° referente a la excavación.

Una de la razones para el estudio de los ciclos, es la posibilidad de reducirlo por medio del mejor planeamiento y organización de trabajo.⁹⁴

3.6.- Conceptos básicos de maquinaria y rendimiento

3.6.1.- Potencia

Es la capacidad de realizar un trabajo en un tiempo determinado. Es la rapidez con la que se realiza un trabajo. Es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.

3.6.2.- Potencia inicial

Es la potencia producida por el motor de la máquina.

3.6.3.- Potencia nominal

Es la potencia dada por el fabricante. Es la potencia máxima demandada por la máquina bajo “condiciones ideales”

3.6.4.- Potencia disponible

Es la potencia suministrada por la máquina para ejecutar un trabajo, y como la potencia es una relación de trabajo y tiempo, se debe tomar en cuenta la velocidad con que se mueve y efectúa una operación determinada.

Esto determina la capacidad de una máquina.

3.6.5.- Potencia utilizable

Es la potencia limitada principalmente por el peso sobre las ruedas propulsoras, o en el caso de las máquinas sobre carriles (orugas), por el peso total de la máquina.

94 Morales Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

También se considera las limitaciones de trabajo que dificultan la transferencia de potencia disponible de modo efectivo. Estas son la altitud y el agarro.

Una máquina no puede ejercer más tracción que la equivalente al peso sobre las ruedas o carriles propulsores.

3.6.6.- Potencia necesaria

Cubre las necesidades mínimas de potencia para que la máquina pueda desplazarse.

Es necesario considerar el efecto de condiciones especiales del suelo que dificultan la transferencia de potencia disponible de modo efectivo.⁹⁵

3.6.7.- Limitaciones de potencias

Antes se mencionó factores que disminuyen o afectan a las diferentes potencias que se desarrollan en la maquinaria, cabe mencionar que estas limitaciones son acumulativas de acuerdo a las condiciones presentes en cada zona de trabajo.

Por lo tanto, se analiza cada uno de los factores para establecer posteriormente la producción y rendimiento de la maquinaria pesada en análisis considerando que la maquinaria propuesta ejecuta su excavación de zanjas para alcantarillado de modo estacionario, por lo tanto

3.6.8.- Altitud

La disminución de la presión atmosférica y el enrarecimiento del aire conforme aumentan la altitud, producen una disminución en la potencia en cada una de las marchas.

Para compensar las variaciones de la presión atmosférica se utiliza el turboalimentador.

Los motores de aspiración natural pierden el 1 % por cada 100m de altitud a partir de los primeros 700 m y los motores turboalimentados a partir de los 3000 m.

⁹⁵ Ramón Máximo. *Maquinaria y Equipo de Construcción*. Quito. 2008. Pag34.

$$\Delta\bar{P} = (h - 700) * 0.01$$

Fórmula 3.2

Pérdida de potencia por la altura - Motores de aspiración normal

$$\Delta\bar{P} = (h - 3000) * 0.01$$

Fórmula 3.3

Pérdida de potencia por la altura – Motores turboalimentados

Dónde:

h= Altura donde la maquinaria se encuentre operando.

Cabe mencionar que los fabricantes establecen tablas en el manual de producción para determinar con mayor exactitud este factor.⁹⁶

3.7.- Mantenimiento de la maquinaria pesada para excavación de zanjas de alcantarillado

La maquinaria siempre debe estar en condiciones de trabajar, ya que un equipo en reparación no genera dinero, sino que consume el mismo sin mencionar el retraso de la obra.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se encuentra los siguientes tipos de mantenimientos, donde se anotarán las medidas que se deben realizar:

- Preventivo
- Predictivo
- Correctivo

PREVENTIVO

- Verificación de lubricantes y grasas antes de trabajar.
- Disponibilidad de filtros en almacén.
- Disponibilidad de lubricantes en almacén.⁹⁷

⁹⁶ Ramón Máximo. *Maquinaria y Equipo de Construcción*. Quito. 2008. Pag32.

- Verificar puntos de engrase.
- Aumentos y cambios de aceite.
- Revisar periódicamente la hoja de mantenimiento de la maquinaria, que entrega el fabricante.

PREDICTIVO

- Toma de muestras de cambio de aceite.
- Verificación de recomendaciones mecánicas.
- Si es de ruedas control de presión.

CORRECTIVO

- Prever el cambio de puntas (uñas).
- Acondicionamiento de cucharón.
- Cambio de partes.
- Tablero de control.

Se debe de tener en cuenta otros mantenimientos correctivos, los cuales se deben aplicar de ser el caso como: tener talleres de reparación, tener lista de repuestos más utilizados, etc.⁹⁸

Para poder realizar trabajos en este tipo de maquinaria se debe tomar en cuenta lo concerniente a seguridad industrial, para lo que se tiene que usar:

- Casco resistente.
- Gafas de seguridad.
- Vestido Reflectivo.
- Zapatos de seguridad.
- Protectores de oídos.⁹⁹

⁹⁷ Mamani Richard. *Fichas Maquinarias*. Internet. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf. Acceso: 6 de junio de 2013

⁹⁸ Mamani Richard. *Fichas Maquinarias*. Internet. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf. Acceso: 6 de junio de 2013

⁹⁹ Mamani Richard. *Fichas Maquinarias*. Internet. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf. Acceso: 6 de junio de 2013

CAPITULO 4: DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA PESADA EN LA EXCAVACION DE ZANJAS PARA ALCANTARILLADO EN SUELOS ARCILLOSOS

4.1.- Definición de rendimiento de la maquinaria

Se conoce, teóricamente y en términos generales, el rendimiento de una máquina o conjunto de máquinas, es la cantidad de unidades de una tarea determinada producida en un tiempo determinado, donde el material puede presentarse en diferentes estados. La unidad de tiempo generalmente utilizada es la hora.¹⁰⁰

También se conoce de una forma más directa como el cociente entre el trabajo total entregado a la máquina en un intervalo de tiempo determinado y el trabajo total entregado a la máquina en ese intervalo.

En la industria de la construcción se utiliza la palabra PRODUCCIÓN con el mismo significado que RENDIMIENTO y la cantidad de unidades producidas se debe referir al trabajo útil ejecutado, el mismo que será susceptible de ser medido y pagado.

La productividad de las máquinas de construcción se puede expresar en diferentes unidades como son: m/h, m²/h, m³/h. La más usual esta última debido a que su cálculo está basado en el volumen que es capaz de producir la máquina en cada ciclo de trabajo, lo cual depende principalmente de sus dimensiones, y del número de ciclos que es capaz de ejecutar por hora.¹⁰¹

Dentro de la maquinaria pesada de construcción de obra civil podemos encontrar los siguientes tipos de rendimiento o la siguiente clasificación.

¹⁰⁰ Merino Wilfrido. *Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes. MOP*, 1992. Pag108.

¹⁰¹ Ramón Máximo. *Maquinaria y Equipo de Construcción*, Quito, 2008. Pag38.

4.2.- Tipos de maquinaria por rendimiento

En la construcción civil se puede encontrar tres tipos de maquinaria dependiendo de la operación que realizan, para las cuales se enfoca el estudio de su rendimiento o su producción, ya que este es el trabajo útil ejecutado durante las diferentes etapas en una obra de la maquinaria.¹⁰²

Estas máquinas son las siguientes:

- Máquinas de Operación Intermitente.
- Máquinas de Operación Continua.
- Máquinas de Operación Intermedia.

4.2.1.- Máquina de Operación Intermitente

En este grupo podemos encontrar máquinas que se utilizan en la parte inicial de toda construcción que son las excavaciones, la mayoría de estas poseen un cucharón o caja, la cual se mueve y se vacía para nuevamente repartir este ciclo de trabajo.

Al grupo completo de operaciones que realiza la máquina se lo define como ciclo de trabajo, el rendimiento en estas máquinas dependerá del tamaño y eficacia del elemento para excavar y el tiempo del ciclo completo, mientras que el tiempo de ciclo dependerá de la rapidez de carga del órgano de ataque, velocidad con que se mueve, descarga y regresa a su punto de carga.

Ejemplos de estas máquinas son:

- Palas Cargadoras.
- Tractores.
- Camiones.
- Excavadoras.
- Mototrailla, etc.¹⁰³

¹⁰² *Rendimiento de las Principales Máquinas de Construcción.* Internet. <http://www.sisman.utm.edu.ec/libros/FACULTAD%20DE%20CIENCIAS%20MATEM%C3%81TICAS%20F%C3%8DICAS%20Y%20QU%C3%8DMICAS/INGENIER%C3%8DA%20CIVIL/07/CONSTRUCCIONES%20CIVILES%20II/RENDIMIENTOS%20DE%20MAQUINARIAS..pdf>. Acceso: 13 de agosto de 2013

¹⁰³ *Rendimiento de las Principales Máquinas de Construcción.* Internet. <http://www.sisman.utm.edu.ec/libros/FACULTAD%20DE%20CIENCIAS%20MATEM%C3%81TICAS%20F%>

Dado que estos tipos de máquinas son los más utilizados en la construcción y analizados en la presente investigación, a continuación se da ejemplos de Máquinas de Operación Intermedia y Continua.

4.2.2.- Máquinas de Operación Intermedia:

- Perforadoras.
- Aplanadoras.
- Desgarradoras.
- Tolvas, etc.

4.2.3.- Máquinas de Operación Continua:

- Bandas Transportadoras.
- Trituradoras.
- Cribadoras.
- Compresores.
- Dragas, etc.¹⁰⁴



Figura 4.1 Tipos de Maquinaria por Rendimiento – Ciclo Intermitente – Operación Intermedia – Operación Continua;

<https://www.google.com.ec/search?um=1&riz=1C1TSNF-> <https://www.trituradora-piedra.comg>

C3%8DSICAS%20Y%20QU%C3%8DMICAS/INGENIER%C3%8DA%20CIVIL/07/CONSTRUCCIONES%20CIVILES%20II/RENDIMIENTOS%20DE%20MAQUINARIAS..pdf. Acceso: 13 de agosto de 2013
¹⁰⁴ Rendimiento de las Principales Máquinas de Construcción. Internet. <http://www.sisman.utm.edu.ec/libros/FACULTAD%20DE%20CIENCIAS%20MATEM%C3%81TICAS%20F%C3%8DSICAS%20Y%20QU%C3%8DMICAS/INGENIER%C3%8DA%20CIVIL/07/CONSTRUCCIONES%20CIVILES%20II/RENDIMIENTOS%20DE%20MAQUINARIAS..pdf>. Acceso: 13 de agosto de 2013

4.3.- Parámetros de la maquinaria de excavación de zanjas para alcantarillado

Después del análisis que se presentó en el capítulo anterior correspondiente a la maquinaria pesada para la excavación, se considera los siguientes términos para el cálculo del rendimiento de cada una de las máquinas estudiadas; los cuales son detallados a continuación:

4.3.1.- Tiempo de ciclo

Para la excavadora, retro excavadora y mini cargador, el tiempo de ciclo que se considera es un tiempo fijo; puesto que las 4 operaciones o acciones que realizan es de modo estacionario.

Por lo tanto las cuatro acciones para la excavación de la zanja para alcantarillado son las siguientes:

1. Carga de cucharón
2. Giro con carga
3. Descarga del cucharón
4. Giro sin carga

Cabe resaltar que existen datos tabulados con los tiempos ciclos que este tipo de maquinaria desarrolla en un obra; pese a tener esta información cabe señalar que el usarla sería un error; puesto que no se sabe con seguridad las condiciones en las que fueron tomados dichos tiempos. Para la duración de un ciclo es preponderante conocer la dureza del suelo, profundidad de excavación, tamaño de cucharón que se ha empleado y ángulos de giro que la maquinaria desarrolla.¹⁰⁵

Por lo tanto, para la presente investigación se determina que los tiempos de ciclos deben ser tomados y tabulados en campo y con las condiciones propias de cada proyecto.

105 Ramón Máximo. Maquinaria y Equipo de Construcción, Quito, 2008. Pag40.

Finalmente se presenta una tabla en la cual se determina las operaciones que se desarrollan para la excavación de zanjas para alcantarillado en suelos arcillosos y los tiempos fijos que cada una de las máquinas ejecuta.

Tabla 4.1 Ejemplo de cuantificación de tiempo de ciclo de la maquinaria

Autores: Ortega Gorki, Pacheco Maribel

TIEMPO DE CICLO (TIEMPO FIJO)	
ACCION	SEGUNDOS – MINUTOS
Carga del cucharón	Tomado en campo
Giro con carga	Tomado en campo
Descarga del cucharón	Tomado en campo
Giro sin carga	Tomado en campo

4.3.2.- Pérdida de potencia por altura

Los suelos arcillosos se localizan en todo el país, siendo preponderante en la región Costa y Oriente, por lo tanto se debe considerar que la maquinaria estudiada trabajará a diferentes alturas atmosféricas lo que genera pérdida de potencia en el motor de la excavadora, retro excavadora y mini cargador.

La potencia nominal se establece considerando la entrada de aire a presión atmosférica, por lo que si la presión del aire aumenta o disminuye se ve afectada la potencia de la máquina directamente.¹⁰⁶

De lo anteriormente expuesto es necesario considerar este parámetro cuando se realiza el cálculo de rendimiento de la maquinaria pesada para la excavación de zanjas para alcantarillado; ya que el motor no trabaja con la misma potencia por lo que produce un incremento en el tiempo de ciclo.

¹⁰⁶ Rojo Julián. *Manual de Movimiento de Tierras a Cielo Abierto*. España, FUEYO Editores, 2010. Pag126.

En la presente investigación se considera el factor de corrección por pérdida de potencia mediante la fórmulas: 3.2 y 3.3.

Hay que considerar que los motores de aspiración natural pierden el 1 % por cada 100m de altitud a partir de los primeros 700 m y los motores turboalimentados a partir de los 3000 m.¹⁰⁷

Finalmente, la industria de la maquinaria pesada ha contra restado este problema con el implemento del turbo alimentador, por lo que se realiza una pequeña explicación del mismo en el siguiente inciso.

4.3.2.1.- Turboalimentador

Este instrumento permite aumentar la potencia del motor sin la necesidad de aumentar el tamaño del mismo.

Por lo que el trabajo del turboalimentador es proveer de aire extra del que el cilindro de aire proveería normalmente. De esta manera las máquinas que trabajan a gran altura pueden tener un rendimiento igual al que tendrían si trabajasen a nivel del mar.¹⁰⁸

¹⁰⁷ Ramón Máximo. *Maquinaria y Equipo de Construcción*, Quito, 2008. Pag32.

¹⁰⁸ *El Turboalimentador*. Internet. <http://lubritechdr.over-blog.es/article-el-turboalimentador-60823526.html>. Acceso: 9 de septiembre de 2013.



Figura 4.2 Turboalimentador para la maquinaria de excavación- *El Turboalimentador*.
<http://lubritechdr.over-blog.es/article-el-turboalimentador-60823526.html>

Para un buen mantenimiento del mismo se debe considerar los siguientes parámetros.-

- “Tener una presión de aceite suficiente antes de darle arranque a la máquina de aproximados 3 minutos o según las indicaciones del fabricante.
- El aceite contaminado puede provocar la acumulación de sedimentos dentro del turbo, obstruyendo orificios de lubricación, lo que puede conllevar a: rayaduras en el eje, en el armazón central y rodamiento, lo que causaría pérdida de aceite y falla del turbo.
- Revisión periódica del estado de filtros de aire, mangueras y abrazaderas que llegan al turbo, pues la absorción de objetos extraños daña las paletas o aletas de la rueda del turbo y compresor, con lo que produce un desbalanceo, inestabilidad rotacional y falla del turbo.

- No incrementar la potencia del motor, aumentando la cantidad de combustible en la bomba de inyección pues el exceso de combustible eleva la temperatura del motor hasta fundir los pistones y el turbo.”¹⁰⁹

4.4.- Parámetros de los suelos arcillosos.-

Se ha mencionado en toda la investigación que las características y propiedades de los suelos arcillosos son fundamentales y directamente proporcionales al cálculo del rendimiento de la maquinaria pesada para excavación de zanjas.

Por lo tanto es necesario establecer los rangos de densidad y resistencia que presentan los suelos arcillosos. Cabe mencionar que para establecer dichos rangos se ha investigado los datos proporcionados por el laboratorio de la PUCE que se presentaron en el capítulo dos y tablas que denotan límites de las características antes enunciadas.

¹⁰⁹ *El Turboalimentador*. Internet. <http://lubritechdr.over-blog.es/article-el-turboalimentador-60823526.html>. Acceso: 9 de septiembre de 2013.

4.4.1.- Tablas que correlacionan densidades y resistencias de los suelos arcillosos.

Tabla 4.2 Consistencia de los Suelos Arcillosos - Julián Rojo López. Manual de movimiento de tierras a cielo abierto. España. FUEYO Editores. 2010

Determinación de la consistencia en suelos cohesivos		
Consistencia	Resistencia a la compresión simple (kg/cm²)	Ensayo de identificación en campo
Muy blanda	0.00 - 0.25	Se escurre entre los dedos al cerrar la mano
Blanda	0.25 - 0.50	Se moldea fácilmente con los dedos
Firme	0.50 - 1.00	Se moldea con una fuerte presión en los dedos
Consistente	1.00 - 1.50	Se hunde con una fuerte presión en los dedos
Muy resistente	1.50 - 2.00	Se hunde ligeramente con fuerte presión en dedos
Dura	> 2.00	Se hunde ligeramente con la punta de un lápiz

Tabla 4.3 Correlación entre resistencia – Excavabilidad de los suelos - Julián Rojo López. Manual de movimiento de tierras a cielo abierto. España. FUEYO Editores. 2010

Correlación entre resistencia y excavabilidad			
Suelos	Resistencia Kg/cm²	Ejemplos	Excavabilidad
Suelos	0.2 - 2	arenas, limos, barros, arcillas	Muy fácilmente excavable
Tierras	2 - 6	arenas, grava, arcillas, ciertos vertidos	Fácilmente excavable por medios mecánicos
Rocas blandas	6 - 20	arcillas esquistosas, gravas cementadas, carbones areniscas	Difícilmente excavable. Escarificables
Rocas dureza media	20 - 60	pizarras, calizas mocenas, tobas volcánicas	
Rocas duras	60 - 150	Calizas paleozoicas, pórfidos, algunos granitos	Muy difícilmente excavables con medio mecánicos
Rocas muy duras	> 150	Granitos, dioritas, diabasas, cuarcitas, sílex	No excavables por medios mecánicos

Tabla 4.4 Correlación entre el N (SPT) – Compresión Simple – Normas ASTM

Valores empíricos de q_u^* y consistencias de suelos cohesivos, relacionados con el número de golpes, N, del ensayo normal de penetración			
Consistencia	Nº Golpes	q_u kg/cm²	Intervalo aproximado de γ_{sat} (t/m³)
Muy Blanda	0 – 2	0 - 0.25	1.60 - 1.90
Blanda	2 – 4	0.25 - 0.50	
Media	4 – 8	0.50 - 1.00	1.76 - 2.07
Consistente	8 – 15	1.00 - 2.00	1.90 - 2.24
Muy Consistente	15 – 30	2.00 - 4.00	
Dura	> = 30	>= 4.00	
* q_u = resistencia a la compresión incofinada			

Tabla 4.5 Densidades de las arcillas

Características aproximadas de los materiales				
Material	Kg/m³ de material en banco	Porcentaje de expansión(%)	Factor volumétrico	Kg/m³ de material suelto
Arcilla en el banco	1.75	40	0.72	1.260
Arcilla y grava seca	1.60	40	0.72	1.155
Arcilla y grava mojada	1.83	40	0.72	1.320

<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20R>

iesgosas/sitioscontaminados/GTZ/C-

Clasificacion%20de%20tipos%20y%20parametros%20mecanicos%20de%20suelos.pdf

Tabla 4.6 Esponjamiento característico de los Suelos Manual de Costos de Construcción
Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Características de los materiales			
Material	Banco	Compacto	Esponjamiento
Arena	90%	86%	11%
Arcilla arenosa	80%	72%	25%
Arcilla	70%	63%	18%
Suelo con grava	85%	91%	18%
Rocas suaves	61%	74%	65%
Roca dura	59%	77%	70%

Tabla 4.7 Densidades características de las Arcillas-
<http://www.monografias.com/trabajos96/maquinaria-minera-ii/image048.jpg>

MATERIAL	DENSIDAD EN BANCO
	kg/m ³
Arcilla seca	1400
Arcilla liviana	1650
Arcilla pesada	2100
Arcilla y grava seca	1500
Arcilla y grava húmeda	1800

Tabla 4.8 Densidad y Factor de Esponjamiento de las Arcillas-
http://communities.autodesk.com/comlaude/sites/default/files/secure/docs/mov_tierras.pdf

MATERIAL		DENSIDAD SUELTA	DENSIDAD BANCO	FACTOR DE ESPONJAMIENTO
		kg/m ³	kg/m ³	
Arcilla	Estado natural	1660	2020	0,82
	Seca	1480	1840	0,80
	Húmeda	1660	2080	0,80
Arcilla y grava	Seca	1420	1660	0,86
	Húmeda	1540	1840	0,84

Tabla 4.9 Densidad en Banco de las Arcillas-

<http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/MaquinariaProcedimientos.pdf>

MATERIAL	DENSIDAD BANCO
	kg/m ³
Arcillas muy blandas	1100
Arcillas blandas	1200
Arcillas semicompactadas	1450
Arcillas compactadas	1600
Arcillas duras	1800

De los datos presentados en los resultados de los laboratorios y las tablas expuestas se puede determinar los rangos de densidades en banco y suelta que las arcillas pueden presentar.

A continuación se presentan dichos rangos:

Máximo factor de esponjamiento:	86%
Mínimo factor de esponjamiento:	18%
Densidad en banco máxima:	2100 kg/m ³
Densidad en banco mínima:	1100 kg/m ³
Densidad suelta máxima:	1660 kg/m ³
Densidad suelta mínima:	1155 kg/m ³

4.5.- Cálculo de rendimiento de la maquinaria pesada para excavación de zanjas para alcantarillado.-

Para el cálculo del rendimiento se debe tomar en cuenta que los fabricantes nos facilitan un rendimiento llamado RENDIMIENTO NOMINAL, TEÓRICO O MÁXIMO. El mismo que se lo conoce como aquel que es capaz de alcanzar una máquina en excelentes condiciones de trabajo y estado técnico, sin interrupciones.

Este rendimiento deberá ser afectado por un sin número de factores que dependerán de cada obra en específico y maquinaria empleada, para lo cual los ingenieros civiles tienen que ser capaces de calcularlo, conociendo los factores que depende el rendimiento de cada máquina en las condiciones de cada trabajo.¹¹⁰

Como se analizó anteriormente la maquinaria a utilizar será la que trabaja por una operación de CICLOS INTERMITENTES para la cual se empleará la expresión dada por el libro “MANUAL DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN PESADA, CARRETERAS Y PUENTES”, en el que se encuentra la mayor cantidad de factores que influyen en el rendimiento y que nos permitirán una estimación más acertada, donde la expresión a tomarse será:

$$P = Q \times N \times I$$

Fórmula 4.1

Producción general de la maquinaria

¹¹⁰ Carpio César. *La Planeación y la Logística del Suministro de Maquinaria y Equipo*. Internet. http://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/cong_2009/14.pdf. Acceso: 20 de agosto de 2013

Dónde:

$$N = \frac{60}{Cm}$$

Dando como resultado:

$$P = Q \times \frac{60}{Cm} \times I$$

Fórmula 4.2

Producción de la maquinaria

Siendo:

P = Producción horaria en m³/h.

Q = Capacidad de la máquina por ciclo de suelo excavado en m³.

N = Número de ciclos por hora.

I = Eficiencia de trabajo.

Cm = Tiempo de ciclo en minutos.

4.5.1.- Producción (P)

Se obtendrá el volumen que es capaz de producir la excavadora, retro excavadora y mini cargador en cada ciclo de trabajo, mismo que depende principalmente de las dimensiones, y el número de ciclos que es capaz de ejecutar por hora. Las unidades

en que se determinará esta producción o rendimiento es: $\frac{m^3_{\text{suelto}}}{h}$ ¹¹¹.

¹¹¹ *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

4.5.2.- Capacidad de la máquina por ciclo de tierra excavada (Q).-

Se conoce según Gabay y Zemp a esta capacidad como la capacidad nominal o geométrica de una pala o cubo que brinda el fabricante del equipo o que puede ser medida, y es el volumen geométrico de la pala hasta el borde, más el excedente que forma el material cuando este es removido de su estado natural.

Por lo tanto para el cálculo del rendimiento en esta investigación se tomará los valores de Q (m³) según datos de fabricantes. Es algo importante recalcar que este dato es la capacidad nominal colmada del cucharón en estado suelto, es decir cuando el suelo arcilloso se encuentre en estado suelto.¹¹²

4.5.3.- Número de ciclos por Hora (N).-

Es la cantidad de ciclos completos que la máquina realiza por hora de trabajo. Como se explicó, las máquinas estudiadas son estacionarias por lo que sus operaciones: carga del cucharón, giro con carga, descarga del cucharón y giro sin carga, que realizan en el tiempo de ciclo que en este caso solo es el tiempo fijo. Este dato será medido y tabulado en campo con las características propias tanto de la maquinaria como del proyecto.¹¹³ Finalmente se llega a la siguiente expresión:

$$N = \frac{60}{Cm}$$

Fórmula 4.3

Número de ciclos en horas

¹¹² *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

¹¹³ Ramón Máximo. *Maquinaria y Equipo de Construcción*, Quito, 2008. Pag40.

Dónde:

Cm = Tiempo de ciclo en minutos

Una vez que se obtenga los minutos que se demora el equipo pesado en el ciclo de trabajo se debe afectar este tiempo dependiendo a la altura en la que se encuentre operando la maquinaria de excavación. Este concepto de pérdida de potencia y por lo tanto de aumento de tiempo en la ejecución de las operaciones al excavar la zanja de alcantarillado se detalló con anterioridad por lo cual, el tiempo de ciclo se calculará mediante las fórmulas 3.2 y 3.3. Por lo tanto se obtendrá:

$$Cm = (\text{tiempo de ciclo en minutos}) * (1 + \Delta \bar{P})$$

Fórmula 4.4

Tiempo de ciclo en minutos afectado por pérdida de potencia

4.5.4.- Eficiencia de trabajo

La productividad horaria de las máquinas es la productividad nominal en condiciones ideales afectadas por el factor (I) denominado Eficiencia de Trabajo, el cual depende de muchas condiciones tales como la topografía, habilidad del operador, mantenimiento y la selección y distribución adecuada de las máquinas¹¹⁴.

Estos factores son acumulativos, por lo tanto para el cálculo de la eficiencia de trabajo se empleará la fórmula propuesta por el “MANUAL DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN PESADA, CARRETERAS Y PUENTES”, que después de varias expresiones consultadas es la que mayor número de factores involucra para obtener dicho coeficiente de eficiencia de trabajo.

¹¹⁴ Merino Wilfrido. *Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes*. MOP, 1992. Pag111.

La expresión es la siguiente:

$$I=i*o*a*m*e*c*g*p*r*l*u$$

Fórmula 4.5

Eficiencia de trabajo de la maquinaria de excavación

Dónde:

I = Eficiencia de trabajo

i= eficiencia de tiempo

o= operación de la máquina

a= administración de obra

m= tipo de material

e= estado del material

c= factor de llenado del cucharón

g= maniobra y alcance

p= pendiente

r= condiciones del camino

l= imprevistos o eventualidades

u= uso anual

Por lo tanto se necesita realizar un análisis de cada uno de estos factores, mismos que a continuación se presenta:

4.5.4.1.- Eficiencia del tiempo (i)

Se lo considera al tiempo efectivo de trabajo durante un día o en cada hora, el mismo que se recomienda manejarlo en minutos efectivos dentro de cada hora de trabajo.

Este factor se lo debe considerar debido a que ningún equipo mecánico puede trabajar a su máxima capacidad de una manera continua, por razones como son: la naturaleza del trabajo, mantenimiento y necesidad de vigilar elementos sencillos pero importantes como son: nivel de aceite, nivel de combustible, estado de filtros, limpieza de general de la máquina, etc.¹¹⁵

Un coeficiente óptimo se lo considera 50 minutos aprovechados de cada hora, sin embargo a continuación se muestra una tabla 4.10 de los mismos, que ayudarán al constructor:

Tabla 4.10 Eficiencia de tiempo – Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Tiempo efectivo trabajado (en minutos) por hora transcurrida	Factor (i) %	Calificación
60	100	Utópico
50	83	Bueno
40	67	Medio
30	50	Pobre

¹¹⁵ Carpio César. *La Planeación y la Logística del Suministro de Maquinaria y Equipo*. Internet. http://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/cong_2009/14.pdf. Acceso: 20 de agosto de 2013.

4.5.4.2.- Operación de la maquinaria (o)

La habilidad, experiencia y responsabilidad de los operadores constituyen un factor importante en el rendimiento de la maquinaria, ya que de ellos depende el correcto funcionamiento y las precauciones que se deben de tener para que las máquinas no detengan su operación.¹¹⁶

Por lo que debemos tomar en cuenta que aunque el operador sea muy diestro, es imposible lograr una eficiencia uniforme, debido a la personalidad y características de cada ser humano, donde podemos hacer una clasificación:

- “Operadores rápidos, medianos y lentos.
- Con magnífico acabado en su trabajo, bueno, regular y malo.
- Cuidadoso con su equipo, descuidado, irresponsable.
- Operadores de gran rendimiento, mediano o bajo”.¹¹⁷

Basándose en esto se ha realizado la siguiente tabla 4.11 que indican el factor de operación:

Tabla 4.11 Operación de la Maquinaria- Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Habilidad del Operador	Factor (o) %
Excelente	91 - 100
Bueno	81 - 90
Regular	71 - 80
Malo	60 - 70

¹¹⁶ Carpio César. *La Planeación y la Logística del Suministro de Maquinaria y Equipo*. Internet. http://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/cong_2009/14.pdf. Acceso: 20 de agosto de 2013.

¹¹⁷ Cervantes Alejandro. *El Factor Humano y la Incidencia en el Proyecto de la Construcción*. Internet. http://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/2005/1_2005.pdf. Acceso: 26 de septiembre de 2013

4.5.4.3- Administración de obra (a)

Se conoce que en todo trabajo y en este caso en la construcción, la administración de campo y de administración central son factores que pesan en la eficiencia, que con la adecuada planeación, dirección, operación y control de la obra inciden en la producción final.

Es responsabilidad del ingeniero civil y de los operadores alcanzar el máximo de este factor, la falta de previsión de este factor puede afectar directamente el cálculo del rendimiento como son: no prever nuevas posiciones de trabajo para el equipo, no realizar las reparaciones a tiempo, realizar mayores recorridos o movimientos innecesarios, provisión oportuna de combustible, etc. ¹¹⁸

Se considera que este factor debe oscilar desde 0.65 hasta 0.95, tomando en cuenta que mientras más alto sea mejor, a continuación se presenta la tabla 4.12 de coeficientes de administración:¹¹⁹

Tabla 4.12 Administración de Obra– Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Nivel de Organización de la Administración	Factor (a) %
Excelente	91 - 95
Bueno	81 - 90
Regular – Bueno	71 - 80
Malo – Aceptable	61 - 70

¹¹⁸ Merino Wilfrido, *Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes*. MOP, 1992.Pag114.

¹¹⁹ *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y- tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

4.5.4.4.- Tipo de material (m)

El suelo arcilloso como se ha indicado en capítulos anteriores presenta propiedades únicas como todo suelo. El estado natural en que se encuentre el suelo arcilloso es preponderante para determinar este factor puesto que la consistencia que presente ante la resistencia a la compresión simple representará el porcentaje de dificultad para cortar el suelo, es decir la dificultad de excavar la zanja de alcantarillado.

Se presenta la siguiente tabla 4.13 que indica el factor m dependiendo del material que se presente en cada proyecto:

Tabla 4.13 Tipo de Material– Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Tipo de material	Factor (m)	Trabajabilidad
Tierra no compacta; arena; grava; y suelo	100%	Muy fácil
Tierra compacta; arcilla seca; y suelos con contenido rocoso <25%	90%	Fácil
Suelo duro con contenido de roca > 25% < 50%	80%	Medio
Roca dinamitada o escarificada; suelos con contenido rocoso >50% <75%	70%	Difícil
Rocas y areniscas	60%	Muy difícil

Finalmente de lo antes expuesto, los datos de laboratorio y las tablas propuestas en el capítulo dos, se determina que un suelo arcilloso presentará un rango de trabajabilidad dependiendo de su consistencia:

Tabla 4.14 Factor de Tipo de Material para Suelo Arcilloso-Autores.

Ortega Gorki, Pacheco Maribel

Tipo de Arcilla	Resistencia a la Compresión Simple (qu kg/cm ²)	Trabajabilidad	Factor "m" %
Muy Blanda	0.00 - 0.25	Muy Difícil	<= 60
		Difícil	61 - 80
Blanda	0.25 - 0.50	Difícil	61 - 80
		Media	81 - 90
Media	0.50 - 1.00	Media	81 - 90
		Fácil	91 - 100
Consistente	1.00 - 1.50	Fácil	91 - 100
		Difícil	71 - 80
Muy Consistente	1.00 - 1.50	Difícil	71 - 80
		Muy Difícil	<= 60
Dura	> 2.00	Muy Difícil	<= 60

Es importante indicar que este factor depende de las tres condiciones que se detallan a continuación:

- 1.- Tipo de arcilla que se encuentre en cada proyecto
- 2.- La resistencia a la compresión simple que presente cada tipo y combinación del suelo arcilloso, y
- 3.-La trabajabilidad que está directamente afectada por la humedad que tenga el suelo en su estado natural.

4.5.4.5.- Estado de material (e)

Es imperativo indicar que las condiciones del estado natural y suelto del suelo arcilloso son fundamentales para este factor ya que determina la cantidad real de material a ser removido en la excavación de la zanja de alcantarillado.

Por lo tanto, el estado de material se define como la relación entre la densidad en banco y la densidad suelta del suelo arcilloso. Depende si se trata de material en banco, suelto o compactado.

Sí el material está suelto entonces el factor $e=100\%$

Sí el material está en banco $e = Fw$

Si el material está compactado $e = Fh$

Dónde:

Fw , depende de la densidad en campo

Fh , depende de la densidad compactada

Para esta investigación, el factor e siempre tendrá un valor 1, puesto que al ser removido el suelo arcilloso de su estado natural, el estado del material será suelto.

Por otro lado en la capacidad por ciclo de tierra excavada (Q) se considera como la capacidad nominal del cucharón, es decir se expresa en m^3 de material suelto.¹²⁰

4.5.4.6.- Factor de llenado de cucharón(c)

Se denomina factor de llenado a la relación que existe entre la capacidad real y la capacidad nominal de todo cucharón.

$$c = \text{VOLUMEN REAL} / \text{VOLUMEN NOMINAL}$$

Fórmula 4.6

Capacidad de llenado de cucharón

¹²⁰ Clases de Maquinaria de Construcción dictadas por el Ing. Juan Merizalde

Dónde el volumen real será afectado por el factor de esponjamiento que los suelos arcillosos presenten en las condiciones de cada proyecto.¹²¹

Para lo cual se presenta los factores de esponjamientos máximos y mínimos, densidades en banco máximas y mínimas y las densidades sueltas máximas y mínimas con las que se podrá calcular el coeficiente a afectar el volumen real del receptáculo o cucharón:

Los datos o rangos que se establecen son los recopilados de tablas y ensayos de laboratorio de suelos que la PUCE ha estudiado, por lo cual son datos que solo se emplearán en la tesis propuesta:

Máximo factor de esponjamiento:	86%
Mínimo factor de esponjamiento:	18%
Densidad en banco máxima:	2100 kg/m ³
Densidad en banco mínima:	1100 kg/m ³
Densidad suelta máxima:	1660 kg/m ³
Densidad suelta mínima:	1155 kg/m ³

¹²¹ *Manual de Rendimiento Caterpillar* 39. Internet
<http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/PerformanceHandbookEspanolNew.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

También se hace necesario describir cada una de las capacidades que el receptáculo presenta:

Capacidad Nominal.- Es la capacidad del receptáculo que puede tener:

- Ras.
- Colmada.

Capacidad al Ras.- Es el volumen que contiene un cucharón cuando una vez lleno en exceso se lo enraza de tal forma que toque el borde de la cuchilla y la parte trasera del cucharón. El volumen que se encuentra dentro de las planchas laterales, trasera y delantera sin contar material en la plancha de derrame, ni en los dientes.¹²²

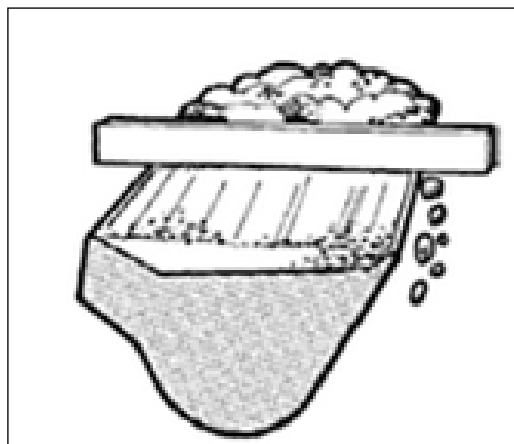


Figura 4.3 Receptáculo con material al ras de su capacidad - Maquinaria de obras públicas
II: Máquinas y equipos Pedro Barber Lloret

¹²² Barber Pedro. *Maquinaria de Obras Públicas II*, Alicante, Editorial Club Universitario, 4ta edición, 2009. Pag128.

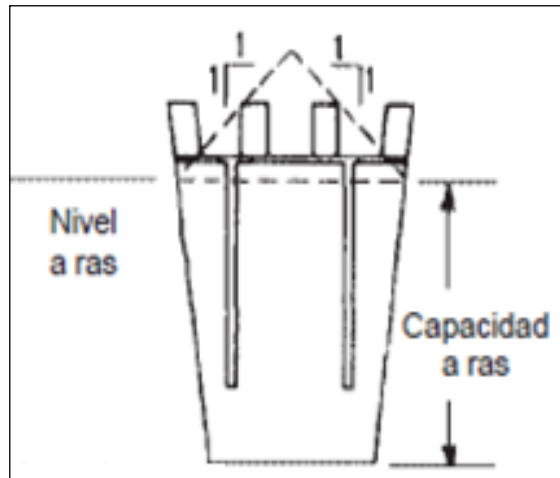


Figura 4.4 Receptáculo con capacidad colmada - Manual de Rendimiento Caterpillar 39.

<http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/PerformanceHandbookEspanolNew.pdf>.

Capacidad Colmada.- Es el volumen que se coloca al cucharón cargado al ras más el material depositado sobre este con un ángulo de reposo relación 1:1, sin contar el material en la plancha ni en los dientes.¹²³

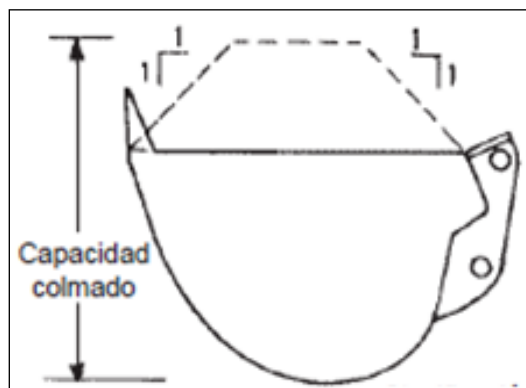


Figura 4.5 Cucharón con capacidad colmada - Manual de Rendimiento Caterpillar 39.
<http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/PerformanceHandbookEspanolNew.pdf>.

¹²³ Manual de Rendimiento Caterpillar 39. Internet. <http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/PerformanceHandbookEspanolNew.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

Capacidad al Colmada.- Es el material que se coloca sobre el material al ras, manteniendo un ángulo de taludes de 2:1 estando la superficie paralela al suelo, definición dada, por la Comisión de equipo de Construcción Europeo (CECE).¹²⁴

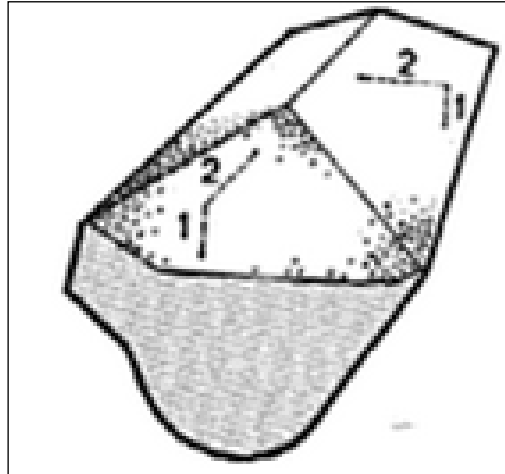


Figura 4.6 Receptáculo a capacidad colmada - Maquinaria de obras públicas II: Máquinas y equipos Pedro Barber Lloret

Capacidad Real.- Está determinada por las características del suelo y las condiciones de trabajo que se ejecuta (tipo de carga y distancia de transporte).

Los datos de capacidades nominales y reales son proporcionados por cada fabricante.¹²⁵

¹²⁴ Barber Pedro. *Maquinaria de Obras Públicas II*, Alicante, Editorial Club Universitario, 4ta edición, 2009.

Pag128.

¹²⁵ *Manual de Rendimiento Caterpillar* 39. Internet. <http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/PerformanceHandbookEspanolNew.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.

4.5.4.7.- Factor de Maniobra y Alcance (g).-

Este factor se debe tomar en cuenta cuando una máquina debe realizar giros dentro de su ciclo de trabajo, lo cual va a afectar directamente a la producción de los equipos debido a que mayor sea el giro, mayor será el ciclo de trabajo y por ende su producción disminuirá, generalmente este factor se lo asume en dragas u otro tipo de excavadora que presenta estas cualidades.

Se recomienda que una máquina que realice trabajos de excavación y que se la denomina máquina estacionaria, realice giros de máximo 90°, este rango se puede tomar como aceptable, ya que de realizarse giros mayores a este aumenta el ciclo de trabajo y por lo tanto se reduce su producción.¹²⁶

Para otros tipos de máquinas este factor se lo considera igual a 1 debido a que no incide en su producción.

Tabla 4.15 Factores de corrección de excavación- Díaz del Río Manuel. Manual de Maquinaria de la Construcción, Madrid, McGraw-Hill, 2da edición, 2007

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA PROFUNDIDAD							
Profundidad de la excavación en porcentaje de la óptima profundidad	Giros (en grados)						
	45	60	75	90	120	150	180
40	0,93	0,89	0,85	0,8	0,72	0,65	0,59
80	1,1	1,03	0,96	0,91	0,81	0,73	0,66
100	1,26	1,16	1,07	1	0,88	0,79	0,71
120	1,2	1,11	1,03	0,97	0,86	0,77	0,7
140	1,12	1,04	0,97	0,86	0,81	0,73	0,66
160	1,03	0,96	0,9	0,81	0,75	0,67	0,62

¹²⁶ Díaz del Río Manuel. *Manual de Maquinaria de la Construcción*, Madrid, McGraw-Hill, 2da edición, 2007. Pag555.

Tabla 4.16 Factor de maniobra y alcance – Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Giro en grados	Factor (g) %
45°	130
90°	100
180°	75

Aunque los valores de las dos tablas del factor de maniobra y alcance presentaron valores similares en relación al factor (g), se ha visto conveniente efectuar una interpolación con los datos dados por el Manual del MOP de 1992, para revisar la veracidad de sus resultados y de esta manera poder ejecutar una comparación con la tabla 4.16, de donde se encontró los siguientes valores.¹²⁷

Tabla 4.17 Factor de Maniobra- Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Giro en grados (°)	Factor (g) %
45	130
50	127
60	120
70	113
75	110
80	107
90	100
100	97
120	92
130	89
140	86
150	83
160	81
170	78
180	75

¹²⁷ Merino Wilfrido, *Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes. MOP, 1992.Pag113.*

En donde se han resaltado con color celeste los ángulos de giro que coinciden entre las dos tablas, dando como resultado factores (g) similares a los de la tabla 4.15, los mismos que corresponden a un porcentaje de excavación óptima del 100%, por lo cual se usará como base la tabla 4.15 obtenida del Manual de la Maquinaria de Construcción de autor Díaz del Río, gracias a que da una variación en las profundidades óptimas de excavación.

Luego de realizar una la correspondiente interpolación se obtiene la tabla 4.18, la misma que posee un mayor número de valores, lo cual nos ayudará para una mejor aproximación de este factor.

Tabla 4.18 Factor de corrección de Maniobra y Alcance - Díaz del Río, Manuel, Manual de Maquinaria de la Construcción, Madrid, McGraw-Hill, 2da edición, 2007

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA PROFUNDIDAD																
Profundidad de la excavación en porcentaje de la óptima profundidad	Giros (en grados)															
	45	50	60	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
40	0,93	0,92	0,89	0,86	0,85	0,83	0,8	0,77	0,75	0,72	0,70	0,67	0,65	0,6	0,61	0,59
80	1,1	1,08	1,03	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,84	0,81	0,78	0,76	0,73	0,7	0,68	0,66
100	1,26	1,23	1,16	1,10	1,07	1,05	1	0,96	0,92	0,88	0,85	0,82	0,79	0,8	0,74	0,71
120	1,2	1,17	1,11	1,06	1,03	1,01	0,97	0,93	0,90	0,86	0,83	0,80	0,77	0,7	0,72	0,7
140	1,12	1,09	1,04	0,99	0,97	0,93	0,86	0,84	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73	0,7	0,68	0,66
160	1,03	1,01	0,96	0,92	0,9	0,87	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,67	0,7	0,64	0,62

4.5.4.8.- Factor de eventualidad (I)

Se conoce que las pérdidas que no se las considera en otros coeficientes, son contempladas en este; en el que se incluyen pérdidas de tiempo por: lluvias, por roturas imprevistas, por reparaciones medias y generales planificadas.

Este factor se determina de la siguiente manera:¹²⁸

$$Fev = 100 - \% \text{ de afectación previsto}$$

Fórmula 4.7

Porcentaje de afectación por imprevistos

Tomando en consideración esta fórmula y mediante un sinnúmero de trabajos en campo se ha determinado la siguiente tabla:

Tabla 4.19 Factor por eventualidad– Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Razón de Imprevisto	% de Afectación
Por Lluvia	5% - 6%
Reparaciones	12% - 15%
Roturas	18% - 20%
Otras Causas	5% - 7%

Un rango de valores aceptable de las afectaciones producidas es del **15% al 20%**

Cabe notar que los factores de pendiente (p), condiciones de camino (r) y uso anual (u) no son considerados en la expresión de eficiencia de trabajo, puesto que la maquinaria pesada de excavación de zanjas para alcantarillado trabaja de modo estacionario, por lo tanto los factores de pendiente y condiciones de camino toman un valor unitario.¹²⁹

El factor de uso anual no se considera para la eficiencia de trabajo puesto que el valor del 85% que se plantea no está sustentado de manera adecuada.

¹²⁸ *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

¹²⁹ *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.

4.6.- Desarrollo del cálculo de redimiendo en Excel

Para la presente investigación se realizó una hoja de cálculo en Excel, que permite determinar el rendimiento de las máquinas utilizadas en el proceso de excavación.

A continuación se muestra los pasos a seguir para el cálculo de la producción de la maquinaria utilizando la hoja de cálculo. Cabe recalcar que para cada uno de los factores utilizados o fórmulas se ha colocado su respectivo gráfico para poder orientar a la persona que haga uso de la hoja de cálculo realizada.

En cada numeral se hablará o se dará la pauta para el ingreso de datos, indicando el razonamiento que se ha tomado para los mismos.

4.6.1.- Factor de Eficiencia del Tiempo (i)

Tabla 4.10 Eficiencia de tiempo – Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Tiempo efectivo trabajado (en minutos) por hora transcurrida	Factor (i) %	Calificación
60	100	Utópico
50	83	Bueno
40	67	Medio
30	50	Pobre

FACTOR (i)		
Tiempo (mins)	Calificación	i (%)
50	Bueno	83



Ingresar el valor en (mins)

Para el caso de este factor (i) se ha encontrado conveniente ingresar el tiempo que se determinado en campo, es decir con las características propias de cada proyecto y de la maquinaria con la que se esté ejecutando la excavación puesto que el ingresar

datos por calificación limitaría los valores de Eficiencia de Tiempo que se encuentra en dicha tabla.

Por lo tanto es beneficioso ingresar el tiempo en minutos, puesto que no se deja una variable abierta con la calificación y se facilita al constructor o persona que utilice la hoja de cálculo el ingreso de este valor.

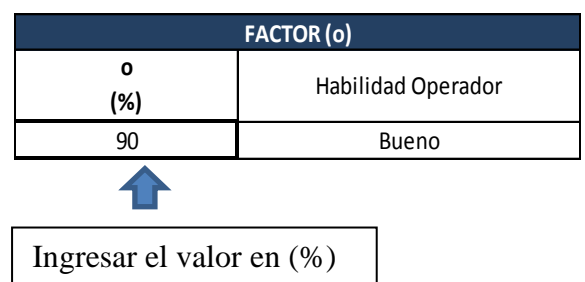
Al ingresar el tiempo en minutos, la hoja de cálculo automáticamente le da una calificación dentro de los rangos que encontramos en la Tabla 4.10, y procede al cálculo del correspondiente valor del Factor de Eficiencia de la siguiente manera:

$$i = \frac{50}{60} = 0.83 * 100 = 83\%$$

4.6.2.- Factor de Operación de la Maquinaria (o)

Tabla 4.11 Operación de la Maquinaria– Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Habilidad del Operador	Factor (o) %
Excelente	91 - 100
Bueno	81 - 90
Regular	71 - 80
Malo	60 - 70



Para el Factor de Operación de la Maquinaria, de manera similar al factor anterior se llega a la conclusión de no ingresar a la hoja de cálculo la habilidad del operador. Aspecto que la mayoría de las personas que se encuentran dentro de la industria de la

construcción (ingenieros, arquitectos y constructores) y particulares a esta. Por el hecho de que, de igual manera se dejaría una variable abierta que no facilitaría el cálculo de la Eficiencia de trabajo.


Por lo que para el cálculo de la eficiencia, el coeficiente o Factor (o) se lo debe ingresar de manera directa, sino dependiendo de la experiencia que el trabajador tenga dentro de la empresa o considerando los rangos de valores que podemos ver en la Tabla 4.11, para lo cual la hoja de cálculo dará automáticamente una calificación a la Habilidad del Operador.

4.6.3.- Factor de Administración de Obra (a)

Tabla 4.12 Administración de Obra– Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Nivel de Organización de la Administración	Factor (a) %
Excelente	91 - 95
Bueno	81 - 90
Regular - Bueno	71 - 80
Malo - Aceptable	61 - 70

FACTOR (a)	
a (%)	Nivel de Organización de Obra
80	Regular - Bueno



Ingresar el valor en (%)

El Factor de Administración de Obra tiene la misma concepción que el factor anterior (o), ya que se considera la idea de variables abiertas y la dificultad para el cálculo de la eficiencia. Por lo que para el Factor (a) se ingresará en porcentaje y la hoja de cálculo dará una calificación del Nivel de Organización de la Obra, que en este caso dependerá enteramente de la experiencia del constructor o residente a cargo de la obra.

4.6.4.- Factor de Tipo de Material (m)

Tabla 4.14 Factor de Tipo de Material para Suelo Arcilloso-

Autores. Ortega Gorki, Pacheco Maribel

Tipo de Arcilla	Resistencia a la Compresión Simple (qu kg/cm ²)	Trabajabilidad	Factor "m" %
Muy Blanda	0.00 - 0.25	Muy Dificil	<= 60
		Dificil	61 - 80
Blanda	0.25 - 0.50	Dificil	61 - 80
		Media	81 - 90
Media	0.50 - 1.00	Media	81 - 90
		Fácil	91 - 100
Consistente	1.00 - 1.50	Fácil	91 - 100
		Dificil	71 - 80
Muy Consistente	1.00 - 1.50	Dificil	71 - 80
		Muy Dificil	< = 60
Dura	> 2.00	Muy Dificil	< = 60

La tabla 4.14 se obtuvo a partir de los resultados de informes de suelos que se indicaron en el Capítulo Dos y las tablas que se mencionaron con anterioridad, es decir: Tabla 4.2 Consistencia de los Suelos, Tabla 4.4 Correlación de N (SPT) – Compresión Simple y la Tabla 4.13 Tipo de Material - – Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992. Por lo tanto se ha relacionado las características que se mencionan en cada una de las tablas y se obtuvo la tabla de tipo de material para las arcillas.

Se menciona a continuación un ejemplo como se interpretó estas características:

Una arcilla de consistencia muy blanda presenta humedades altas por lo que su resistencia a la compresión simple (qu) baja drásticamente a un rango de valores de 0.00 – 0.25 kg/cm²; por lo tanto este tipo de arcilla presenta una trabajabilidad muy

difícil a difícil puesto que el material al ser removido se quedará en las puntas del receptáculo o cucharón lo que dificulta las maniobras en la excavación y aumenta los tiempos de ciclos de operación. Finalmente y por las condiciones mencionadas el factor “m” estará en un rango de menor o igual al 60% cuando la compresión simple este en un rango del 0.00 al 0.15 y se considerará un intervalo del 61 – 80% para los valores restantes hasta llegar al límite de la resistencia para este tipo de arcilla es decir 0.25 kg/cm².

Para cada elemento del Factor del Tipo de Material (Tipo de Arcilla, Resistencia a la Compresión Simple y Trabajabilidad), se ha realizado una ponderación. A continuación se detalla el análisis que sigue el programa en este factor:

- Como se explicó anteriormente, cada uno de los tipos de arcilla tiene una resistencia a la compresión diferente, por lo que la hoja de cálculo permite elegir el tipo de arcilla mediante una lista desplegable, el mismo que esta concatenado a la resistencia del suelo que automáticamente aparece en la celda de Qu como se muestra a continuación:

Ejemplo1.

FACTOR (m)			
Tipo de Arcilla	Qu kg/cm ²	Trabajabilidad	m (%)
Muy Blanda	0 - 0.25	Difícil	76
Muy Blanda	0.2		

Muy Blanda
Blanda
Media
Consistente
Muy Consistente
Dura

Cambio Automático

Ejemplo 2.

FACTOR (m)			
Tipo de Arcilla	Qu kg/cm ²	Trabajabilidad	m (%)
Media	0.50 - 1.00	Fácil	96
Muy Blanda Blanda Media Consistente Muy Consistente Dura	0.9		

Cambio Automático

- Una vez escogido el tipo de arcilla, y obtenidos los rangos de la resistencia del suelo, se escoge el Qu dentro de los rangos establecidos en una lista desplegable, los mismos que secuencialmente da la trabajabilidad, como se indica en los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1.

FACTOR (m)			
Tipo de Arcilla	Qu kg/cm ²	Trabajabilidad	m (%)
Consistente	1.00 - 1.50	Fácil	94
	1.3		
	1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5		

Escoger Valor dentro del Rango

Cambio Automático

Ejemplo2.

FACTOR (m)			
Tipo de Arcilla	Qu kg/cm ²	Trabajabilidad	m (%)
Muy Consistente	1.50 - 2.00	Difícil	67
	1.7		
	1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2		

Escoger Valor dentro del Rango

Cambio Automático

- Finalmente con los principios asumidos para los rangos del factor (m) dependiendo de su trabajabilidad, se escogerá un valor dentro de los rangos determinados mediante una lista desplegable que depende de: tipo de arcilla, del valor del Qu dentro de su respectiva categoría y de la trabajabilidad que tenga este, de la siguiente manera:

Ejemplo 1.

FACTOR (m)			
Tipo de Arcilla	Qu kg/cm ²	Trabajabilidad	m (%)
Muy Consistente	1.50 - 2.00	Difícil	65
	1.7		68 67 66 65 64 63 62 61

Ingresar valor

Ejemplo 2.

FACTOR (m)			
Tipo de Arcilla	Qu kg/cm ²	Trabajabilidad	m (%)
Media	0.50 - 1.00	Fácil	97
	0.7		98 97 96 95 94 93 92 91

Ingresar valor

Encontrándose como resultado (m).

4.6.5.- Factor de Llenado de Cucharón (c)

Se consideró varios parámetros de los suelos arcillosos que intervienen o afectan directamente al factor de llenado, mismos que se exponen en la siguiente tabla 4.20.

Tabla 4.20 Condiciones del suelo arcilloso. Autores: Ortega Gorki, Pacheco Maribel

Condiciones del Suelo	Valor
Máximo Factor de Esponjamiento	86%
Mínimo Factor de Esponjamiento	18%
Densidad en banco máxima	2100 kg/m ³
Densidad en banco mínima	1100 kg/m ³
Densidad suelta máxima	1660 kg/m ³
Densidad suelta mínima	1155 kg/m ³

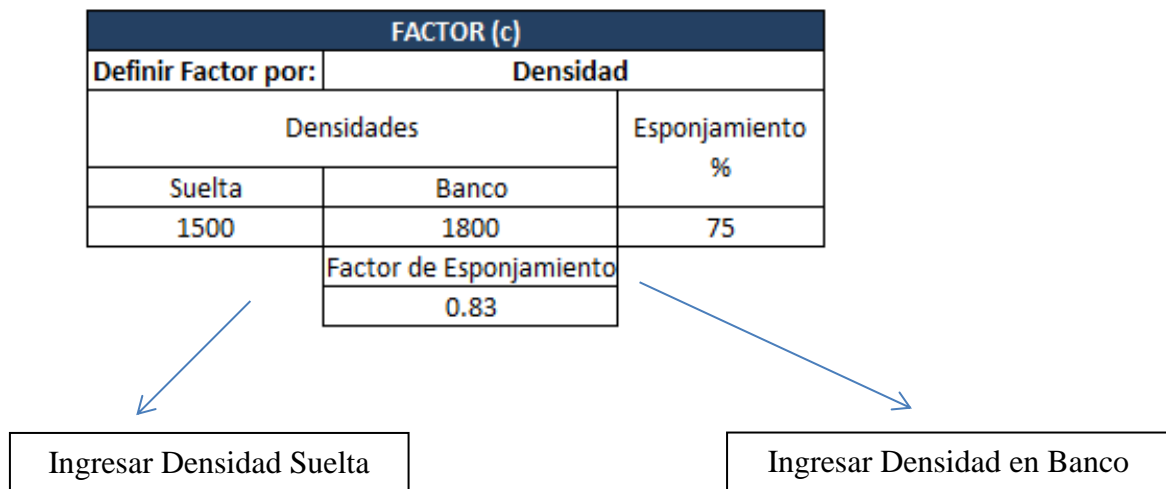
Los factores: densidad y esponjamiento permiten elegir que datos se deben ingresar a la hoja de cálculo como se muestra a continuación.

En el caso de elegir o contar con los datos de densidades se procede de la siguiente manera:

1.- Se abre la lista y seleccionamos densidad.

FACTOR (c)		
Definir Factor por:	Densidad	
De:	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Densidad Esponjamiento </div>	
Suelta	Banco	%
1500	1800	75
Factor de Esponjamiento		
0.83		

2.- Una vez seleccionada la densidad en la celda Definir Factor por, se ingresa los datos de densidad en banco y suelta en las correspondientes casillas, como se muestra a continuación.



3.- Una vez que se ha ingresado las densidades, la hoja de cálculo realiza una división conocida como Factor de Esponjamiento de la siguiente manera:

$$\text{Factor de Esponjamiento} = Fw = \frac{\text{Densidad del material suelto}}{\text{Densidad del material en banco}}$$

$$Fw = \frac{1500}{1800} = 0.83$$

Para fines prácticos no se lo ha expresado en porcentaje.

Con la misma metodología se puede ingresar datos de factores de esponjamiento si se desea, realizando los pasos anteriores.

FACTOR (c)		
Definir Factor por:	Esponjamiento	
De		
		Densidad
		Esponjamiento
Suelta	Banco	%
1500	1800	75
Factor de Esponjamiento		
		0.75

La diferencia de este paso con el anterior es seleccionar esponjamiento en la celda de Definir Factor por, lo que habilitará la celda de porcentaje de esponjamiento, permitiendo elegir un valor dentro de un rango predeterminado.

FACTOR (c)		
Definir Factor por:		Esponjamiento
Densidades		Esponjamiento %
Suelta	Banco	
1500	1800	75
Factor de Esponjamiento		0.75

Escoger esponjamiento

FACTOR (c)		
Definir Factor por:		Esponjamiento
Densidades		Esponjamiento %
Suelta	Banco	
1500	1800	75
Factor de Esponjamiento		0.75

De donde se obtiene el factor de esponjamiento dividiendo $75/100=0.75$.

Luego de haber calculado el factor de esponjamiento del material se procede al cálculo del Factor de Llenado del Cucharón, tomando en cuenta que a este factor se puede llegar de dos maneras, utilizando las capacidades del cucharón o solamente ingresando datos del factor ya preestablecidos por los fabricantes.

1.- Para el primer caso ubicarse en Definir Factor por. Presionar en la lista desplegable capacidad de la siguiente manera.

Definir Factor por:		
Capacida		Carga
Capacidad Real	Capacidad Nominal	
1.6	1.5	99
c (%)		80

2.- Luego ingresar los datos de capacidades reales y nominales del cucharón en m³, tomando en cuenta que la capacidad real es la que se obtiene realizando mediciones en campo, mientras que la capacidad nominal normalmente está dada por el fabricante, que por lo general será la carga que puede obtener el cucharón con material suelto.

Definir Factor por:		Capacidad
Capacidad de Cucharón		Factor de Carga
Capacidad Real	Capacidad Nominal	
1.6	1.5	99
c (%)		
80		

Dando el factor de Llenado del Cucharón en porcentaje de la siguiente manera:

$$c = \frac{1.6}{1.5} = 1.07 * 0.75 = 0.8 * 100 = 80\%$$

Se multiplica por 0.75 debido a que el cucharón debe ser afectado por el factor de esponjamiento que se lo calculó anteriormente, esto en el caso de que la capacidad real medida en campo sea diferente de la capacidad dada por el fabricante, aunque muy comúnmente estas dos capacidades suelen ser las mismas, por lo que el factor de llenado de cucharón se reduce a la siguiente expresión.

$$c = \frac{\text{Cap. Real}}{\text{Cap. Nominal}} * \text{Fac. de Esponjamiento}$$

$$\text{Capacidad Real} = \text{Capacidad Nominal}$$

$$c = \frac{\text{Cap. Nominal}}{\text{Cap. Nominal}} * \text{Fac. de Esponjamiento}$$

Por lo tanto:

$$c = \text{Factor de Esponjamiento}$$

Como se explicó la capacidad real y nominal pueden ser iguales, la hoja de cálculo y algunos fabricantes dan la opción de ingresar directamente Factores de Llenado del Cucharón de la siguiente manera.

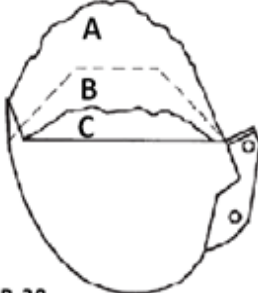
1.- En el cuadro donde dice Definir Factor por, abrir la lista desplegable y seleccionamos Factor de Carga.

Definir Factor por:	Factor de Carga	
Capacidad	Capacidad Factor de Carga	
Capacidad Real	Capacidad Nominal	Carga
1.6	1.5	99
	c	
	(%)	
	99	

Escoger Factor de Carga

2.- Por consiguiente lo que se hace es ingresar los valores de factor de carga, los mismos que también los podemos encontrar en una lista desplegable, con los factores de carga proporcionados por la fábrica Caterpillar como se muestra a continuación.

Material	Factor de llenado (porcentaje de la capacidad colmada del cucharón)
Marga mojada o arcilla arenosa	A — 100-110%
Arena y grava	B — 95-110%
Arcilla dura y compacta	C — 80-90%
Roca bien fragmentada por voladura	60-75%
Roca mal fragmentada por voladura	40-50%



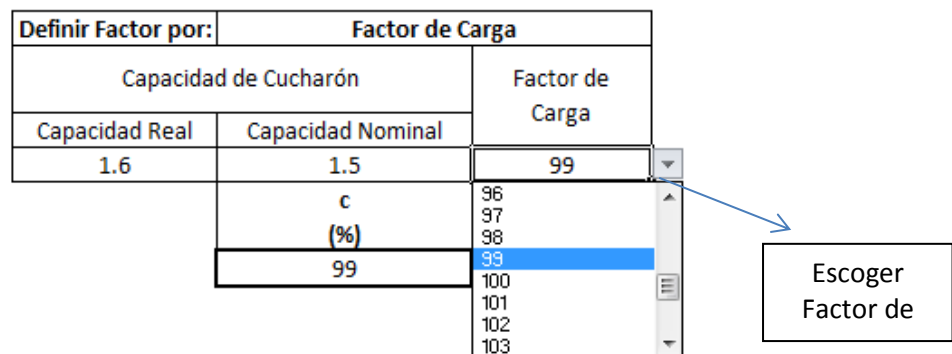
MANUAL DE RENDIMIENTO DE CATERPILLAR-39

4.6.6.- Factor de Maniobra y Alcance (g)

Para este factor se ha realizado el análisis mencionado en la sección 4.5.4.7 y se trabaja con la tabla 4.18 para el ingreso de datos a la hoja de cálculo

Tabla 4.18 Factor de corrección de Maniobra y Alcance - Díaz del Río, Manuel, Manual de Maquinaria de la Construcción, Madrid, McGraw-Hill, 2da edición, 2007

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA PROFUNDIDAD																
Profundidad de la excavación en porcentaje de la óptima profundidad	Giros (en grados)															
	45	50	60	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
40	0,93	0,92	0,89	0,86	0,85	0,83	0,8	0,77	0,75	0,72	0,70	0,67	0,65	0,6	0,61	0,59
80	1,1	1,08	1,03	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,84	0,81	0,78	0,76	0,73	0,7	0,68	0,66
100	1,26	1,23	1,16	1,10	1,07	1,05	1	0,96	0,92	0,88	0,85	0,82	0,79	0,8	0,74	0,71
120	1,2	1,17	1,11	1,06	1,03	1,01	0,97	0,93	0,90	0,86	0,83	0,80	0,77	0,7	0,72	0,7
140	1,12	1,09	1,04	0,99	0,97	0,93	0,86	0,84	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73	0,7	0,68	0,66
160	1,03	1,01	0,96	0,92	0,9	0,87	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,67	0,7	0,64	0,62



A continuación se explicará la metodología que se utilizó para el ingreso de datos tanto de profundidades como el de ángulos de giro.

1.- En las celdas en el sentido vertical, permite elegir un porcentaje de la profundidad, debido a que como se conoce toda la maquinaria tiene diferentes profundidades de trabajo, las mismas que dependerán de cada modelo y de cada marca, por lo que se ha visto convenientes expresar la profundidad en porcentaje,

para que de esta manera la hoja de cálculo sea funcional para la maquinaria de excavación y en este caso en particular para excavadoras, retroexcavadora y mini-cargador.

FACTOR (g)		
Profundidad de la excavación en porcentaje de la óptima profundidad	Giros (en grados)	g (%)
120	140	80
40		
80		
100		
120		
140		
160		

Escoger porcentaje de Profundidad

2.- Donde la hoja de cálculo, igual que en los factores anteriores, nos da la facilidad de encontrar una lista desplegable, donde se escogerá el porcentaje de profundidad dependiendo de las características del trabajo y del terreno como se muestra en el gráfico anterior.

3.- En las celdas en el sentido horizontal permite elegir el ángulo en grados en el cual se está llevando o se llevará a cabo la excavación. Este dependerá del tipo de maquinaria, es decir, si se utiliza una excavadora, una retroexcavadora o mini-cargador, por el hecho de que solo la primera de estas puede realizar giros que llegan a los 180° o si se requiere los 360°, por lo que el giro dependerá igualmente del tipo de trabajo y del terreno al que será sometida la máquina.

FACTOR (g)		
Profundidad de la excavación en porcentaje de la óptima profundidad	Giros (en grados)	g (%)
120	70	106
	45	
	50	
	60	
	70	
	75	
	80	
	90	
	100	

Escoger ángulo de giro

4.- De igual manera se podrá escoger el ángulo de giro como se muestra en la figura anterior, el cual dependerá de las condiciones en las que se esté trabajando o se vaya a trabajar.

5.- Luego de haber ingresado estos dos datos, la hoja de cálculo procede a buscar por fila y columna la intersección de estos dos valores en la tabla 4.18.

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA PROFUNDIDAD																
Profundidad de la excavación en porcentaje de la óptima profundidad	Giros (en grados)															
	45	50	60	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
40	0.93	0.92	0.89	0.86	0.85	0.83	0.8	0.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59
80	1.1	1.08	1.03	0.98	0.96	0.94	0.91	0.88	0.84	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71	0.68	0.66
100	1.26	1.23	1.16	1.10	1.07	1.05	1	0.96	0.92	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.74	0.71
120	1.2	1.17	1.11	1.06	1.03	1.01	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.72	0.7
140	1.12	1.09	1.04	0.99	0.97	0.93	0.86	0.84	0.83	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71	0.68	0.66
160	1.03	1.01	0.96	0.92	0.9	0.87	0.81	0.79	0.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.64	0.62

Ejemplo.

Porcentaje de la óptima profundidad = 120

Factor de profundidad y giro = 1.06

Ángulo de Giro = 70

6.- Al final el programa da un valor expresado en porcentaje que es el factor (g) que se requiere encontrar, que en este caso es 106.

FACTOR (g)		
Profundidad de la excavación en porcentaje de la óptima profundidad	Giros (en grados)	g (%)
120	70	106

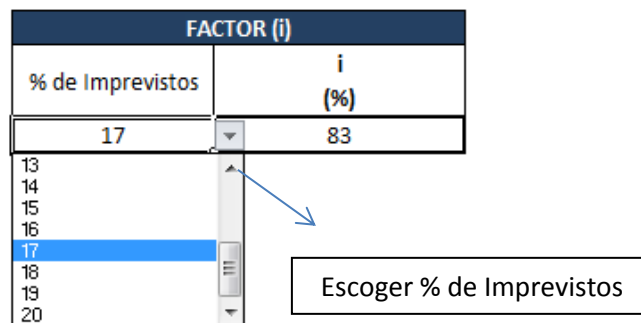
4.6.7.- Factor de imprevistos (I)

Para la determinación de este factor se debe tomar en cuenta lo citado en la sección 4.5.4.8, donde se recomienda tener una disminución por este factor de entre el 15% al 20%, pero tomando en cuenta la Tabla 4.19, se ha dejado abierta la interpretación de que valor ingresar, debido a la dificultad de predecir las condiciones que tendrá cada trabajo.

Tabla 4.19 Factor por eventualidad– Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992

Razón de Imprevisto	% de Afectación
Por Lluvia	5% - 6%
Reparaciones	12% - 15%
Roturas	18% - 20%
Otras Causas	5% - 7%

Lo que se debe hacer en este factor es, escoger de la lista desplegable el porcentaje de afectación, que como muestra la Tabla 4.16, va desde 5% a 20% si se desea, o como recomendación del 15% al 20% como se indica en el libro “Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes; MOP 1992”.



Una vez escogido el porcentaje de imprevistos, la hoja de cálculo procede a realizar la siguiente operación:

$$100\% - 17\% = 83\%$$

Al final de realizar todos estos pasos la hoja de cálculo automáticamente procede a realizar la multiplicación de todos los factores descritos, dando como resultado la

Eficiencia de Trabajo de la Maquinaria, un valor adimensional mediante la siguiente fórmula.

$$I = i * o * a * m * e * c * g * l$$

I = Eficiencia de Maquinaria

i = Eficiencia de tiempo

e = Estado de material

o = Operación de la máquina

c = Factor de llenado de cucharón

a = Administración de obra

g = Maniobra (profundidad y giro)

m = Tipo de material

l = imprevistos o eventualidades

Dentro de la fórmula ya se han eliminado los factores que no intervienen dentro de la excavación y otros que el autor no especifica o no tienen un sustento teórico.

4.6.8.- Cálculo de la producción.-

Una vez tomados en cuenta los factores mencionados en la sección 4.5 se procede al cálculo de la producción de la siguiente manera.

4.6.8.1.- Cálculo del tiempo de Ciclo

Se debe tener en cuenta dos consideraciones importantes para su cálculo.

1.- El tiempo de ciclo puede ser calculado mediante mediciones en obra, donde el encargado y el operador deberán cronometrar los minutos que demora la máquina en realizar los 4 movimientos que intervienen en la excavación que son: excavación y giro, giro con carga, descarga y giro sin carga o retorno. Para lo cual la persona a cargo de este conteo dará los tiempos expresados en minutos, dato que se lo utiliza para posterior cálculo de la producción en horas.

2.- De igual manera que los factores de eficiencia, en el tiempo de ciclo si se va a optar por mediciones en campo debemos escoger en Tiempo de Ciclos en (mins) la palabra CALCULADO, como se muestra a continuación.

Tiempos del Ciclo (mins)				Calculado	
Excavación y carga	Giro con carga	Descarga	Giro sin carga	Calculado	TOTAL
0.2	0.3	0.22	0.16	3.4	0.88

Ingresar CALCULADO

Luego de esto podemos ingresar los valores en la celda correspondiente a cada actividad de la excavación, de la siguiente manera.

Tiempos del Ciclo (mins)				Calculado	
Excavación y carga	Giro con carga	Descarga	Giro sin carga	Asumido	TOTAL
0.08	0.05	0.03	0.06	3.4	0.22

Ejemplo.

- Excavación y carga = 0.08 mins
- Giro con carga = 0.05 mins
- Descarga = 0.03 mins
- Giro sin carga = 0.06 mins

$$\text{Calculado} = 0.08 + 0.05 + 0.03 + 0.06 = 0.22 \text{ mins}$$

De donde encontramos un tiempo de ciclo de 0.22 minutos en todo el proceso de excavación.

Un alternativa para el cálculo del tiempo de ciclo es tomar como referencia los datos de tiempos dados por los fabricantes, pero se debe tomar en cuenta que estos tiempos son en condiciones óptimas de trabajo, por lo que se debe tener mucho

cuidado al utilizar esta información, o también, utilizar la experiencia tanto de los constructores como de los operadores para una mejor referencia.

En la hoja de cálculo ingresar donde dice Tiempo de Ciclo en (mins) la palabra ASUMIDO, de la siguiente manera.

Tiempos del Ciclo (mins)				Asumido	
Excavación y carga	Giro con carga	Descarga	Giro sin craga	Calculado	TOTAL
0.08	0.05	0.03	0.06	Asumido	0.28
				0.28	0.28

Ingresar ASUMIDO

Automáticamente el programa solo tomará en cuenta el valor que se ingrese en la celda de ASUMIDO, la misma que se considerará como el tiempo de ciclo total.

Tiempos del Ciclo (mins)				Asumido	
Excavación y carga	Giro con carga	Descarga	Giro sin craga	Asumido	TOTAL
0.08	0.05	0.03	0.06	0.28	0.28

Ejemplo.

- Tiempo asumido en (mins) = 0.28 ➡ Tiempo de ciclo = 0.28 mins

En donde encontramos el tiempo de ciclo total que es de 0.28 minutos

4.6.8.2.- Pérdida de Potencia por altura.

Como se explicó anteriormente este factor afecta a toda la maquinaria cuando sobrepasan las alturas establecidas para su potencia y para su trabajo; 700m en el caso de motores de aspiración natural y 3000m para motores turboalimentados. Es un factor preponderante al momento del cálculo de producción, por lo que se considera de la siguiente manera.

Primero se debe tomar en cuenta que en el medio existen motores de aspiración normal y turboalimentados los cuales se los deben tratar de una manera propia para cada uno y no de una forma general, esto depende también del tipo de maquinaria que se adquiera.

Para la elaboración de esta parte de la hoja de cálculo, se toma el tipo de maquinaria, en este primer caso se habla de los motores de aspiración normal para el cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$\Delta \bar{P} = (h - 700) * 0.01 \quad \longrightarrow \text{Motores de Aspiración}$$

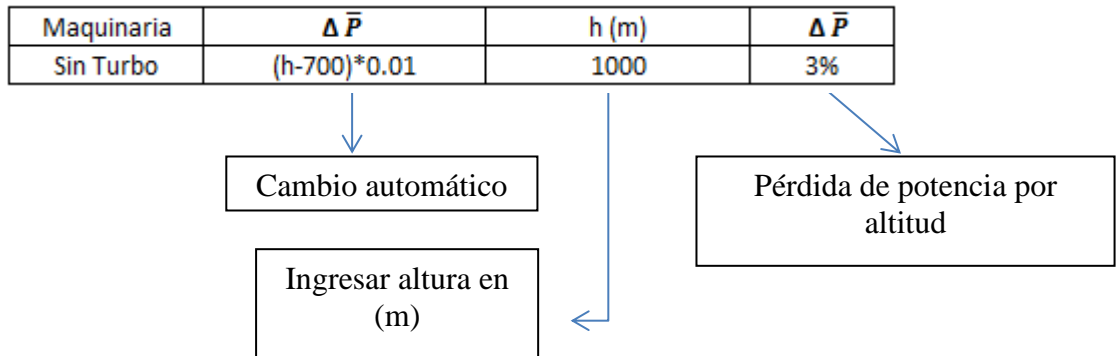
Donde al igual que en los casos anteriores se da esa pauta para que la persona que utilice la hoja de cálculo lo haga con los casos posibles y no restringir a un solo tipo de maquinaria, por lo que en el casillero correspondiente a maquinaria escogemos SIN TURBO, de la siguiente manera.

Maquinaria	$\Delta \bar{P}$	h (m)	$\Delta \bar{P}$
Sin Turbo	$(h-700)*0.01$	1000	3%
Con Turbo			
Sin Turbo			

↓

Ingresar SIN TURBO

Una vez ingresado sin turbo en el tipo de maquinaria, se cambia en la celda de $\Delta \bar{P}$ la fórmula a utilizar, paso siguiente ingresamos en valor de la altura (h) en metros y se calcula la pérdida por altura en el sector que se encuentre, como se muestra a continuación.



Ejemplo.

- Maquinaria = Sin Turbo
- Fórmula a utilizar = $\Delta \bar{P} = (h - 700) * 0.01$
- Altura h = 1000 m

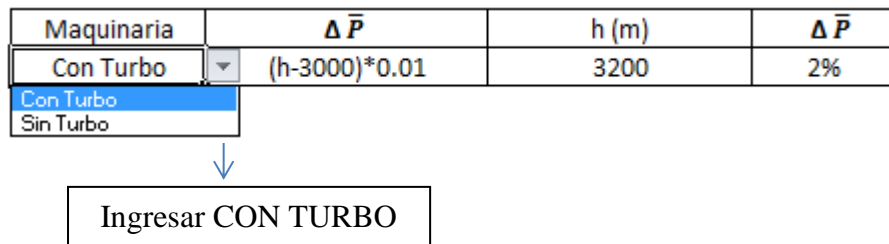
$$\Delta \bar{P} = (1000 - 700) * 0.01 = 3 \text{ (\% de pérdida de potencia)}$$

La pérdida por potencia nos da como resultado 3%.

En el caso de utilizar la maquinaria con turbo alimentador la hoja de cálculo utilizará la siguiente fórmula:

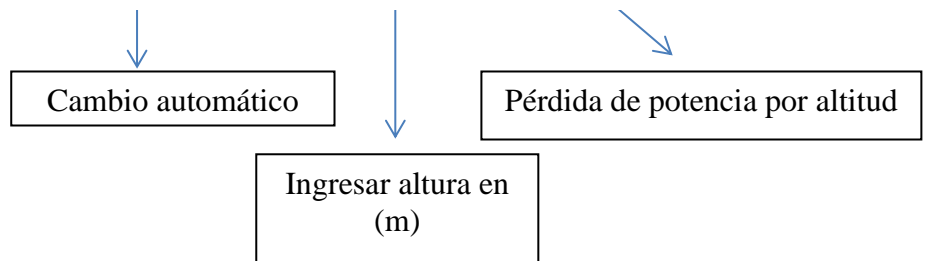
$$\Delta \bar{P} = (h - 3000) * 0.01 \quad \longrightarrow \quad \text{Motores Turboalimentados}$$

De la misma manera para la maquinaria con turbo-alimentador, donde se encuentra la palabra Maquinaria ingresar CON TURBO.



- De igual manera una vez ingresada la palabra CON TURBO, se cambia instantáneamente la fórmula de la pérdida por altura $\Delta \bar{P}$, para proceder a introducir la altura en metros y se calculará la pérdida de potencia por altura.

Maquinaria	$\Delta \bar{P}$	h (m)	$\Delta \bar{P}$
Con Turbo	$(h-3000)*0.01$	3200	2%



Ejemplo.

- Maquinaria = Con Turbo
- Fórmula a utilizar = $\Delta \bar{P} = (h - 3000) * 0.01$
- Altura h = 1000 m

$$\Delta \bar{P} = (3200 - 3000) * 0.01 = 2 \text{ (\% de pérdida de potencia)}$$

Algo importante que se debe recalcar es que en ambos casos, es decir, en los dos tipos de maquinaria solo se pierde potencia cuando la maquinaria sobrepasa los rangos de aturas para los tipos de motores, por lo que si se está trabajando en altura inferiores a los límites establecidos como son 700m para aspiración normal y 3000m para turbo-alimentado, la hoja de cálculo automáticamente arroja un valor de cero (0), el mismo que significa que no se está perdiendo potencia por altura, por lo que la hoja de cálculo calculará la pérdida de ser necesaria y dependerá de la zona o región donde se esté realizando la obra, como se muestra a continuación.

Sin Turbo.

Maquinaria	$\Delta \bar{P}$	h (m)	$\Delta \bar{P}$
Sin Turbo	$(h-700)*0.01$	600	0



Valor = 0

Con Turbo.

Maquinaria	$\Delta \bar{P}$	h (m)	$\Delta \bar{P}$
Con Turbo	$(h-3000)*0.01$	2600	0



Valor = 0

Las pérdidas de potencia por altitud y el tiempo de ciclo deben ser calculados para ser ingresados en el Número de Ciclos por Hora (N).

4.6.8.3.- Número de Ciclos por Hora

Esta es la cantidad de procesos de excavación (excavar, girar, descargar y retornar) que realizan por hora, para lo que se debe tener en cuenta el tiempo de ciclo ya sea calculado o asumido y las pérdidas de potencia por altura, las mismas que se relacionan con el Número de ciclos de la siguiente manera.

$$N = \frac{60 \left(\frac{\text{mins}}{\text{hora}} \right)}{Cm}$$

$$Cm = TOTAL (1 + \Delta \bar{P})$$



Buscar TOTAL en
tiempos de ciclo

Donde lo que se hace es encontrar un nuevo tiempo de ciclo, pero este estará afectado por la Pérdida de Potencia por Altura, de no existir esta pérdida será igual a cero tomando como tiempo de ciclo el inicial o llamado TOTAL, el mismo que se encuentra en el cálculo de Tiempo de Ciclo en (mins), todo esto se explicará con los siguientes ejemplos:

Ejemplo.- Sin Pérdidas de Potencia:

- Tiempo de ciclo sin pérdida de potencia = 0.28 mins
- $\Delta\bar{P} = 0$

Por lo tanto:

$$C_m = 0.28(1 + 0) = 0.28 \text{ mins}$$

$$N = \frac{60 \frac{\text{mins}}{\text{hora}}}{0.28 \text{ mins}} = 214 \text{ ciclos/hora}$$

Ejemplo.- Con Pérdidas de Potencia:

- Tiempo de ciclo con pérdida de potencia = TOTAL = 0.28 mins
- $h = 3200$
- $\Delta\bar{P} = (3200 - 3000) * 0.01 = 2\%$

Por lo tanto:

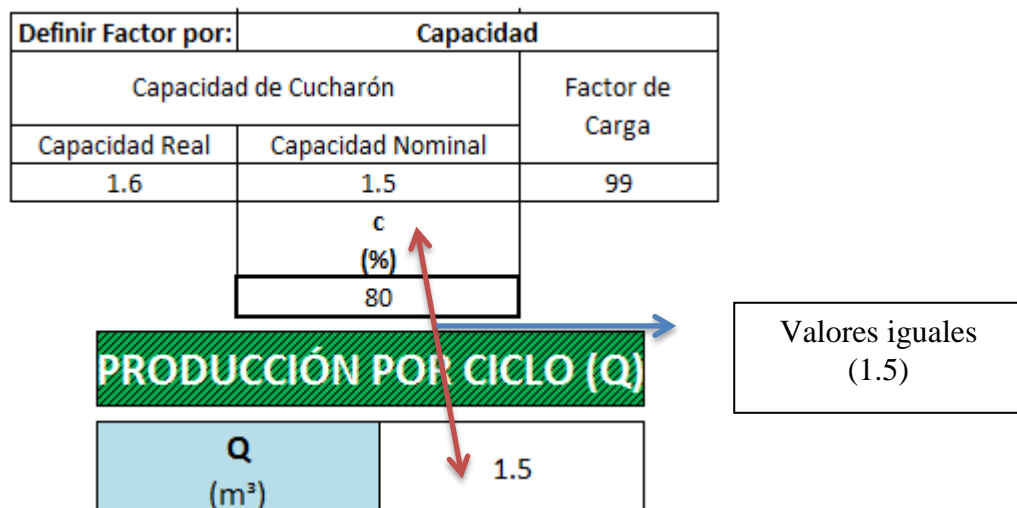
$$C_m = 0.28(1 + 2\%) = 0.29 \text{ mins}$$

$$N = \frac{60 \frac{\text{mins}}{\text{hora}}}{0.29 \text{ mins}} = 207 \text{ ciclos/hora}$$

Aquí se ha demostrado la importancia del cálculo de tiempo de ciclo cuando es afectado por el factor de altitud.

Finalmente se procede al cálculo de la Producción horaria de la maquinaria de la siguiente manera.

La hoja de cálculo recopila todos los valores tanto de Número de Ciclos por hora, la Eficiencia y el tercer factor que es la Producción por Ciclo de Tierra Excavada, se la obtendrá de los manuales de los fabricantes, por lo que en el cálculo de la Eficiencia, en el factor de Llenado del Cucharón, al ingresar el dato de Capacidad del Cucharón- Capacidad Nominal, automáticamente este se tomará para el cálculo de la producción, debido a que teóricamente en un ciclo la máquina debería mover esa cantidad de material.



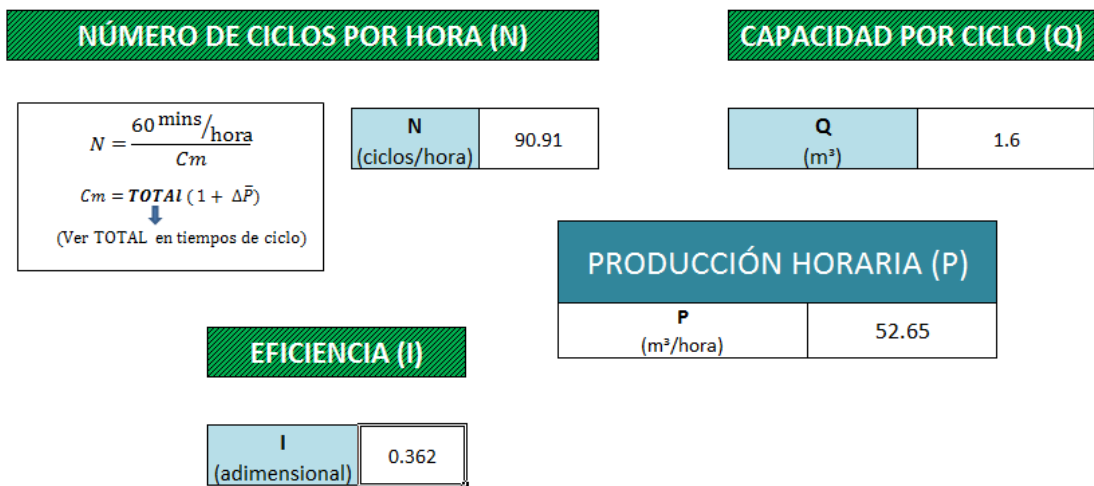
Posteriormente se calcula producción de la siguiente manera:

Ejemplo

- $N = 90.91$ ciclos/hora
- $Q = 1.6\text{m}^3$
- $I = 0.362$

$$P = Q * N * I = 90.91 \text{ ciclos/hora} * 1.6\text{m}^3 * 0.362 = 52.65 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Los mismos resultados que se encontrarán al utilizar la hoja de cálculo.



CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se elaboró la guía de elección de la maquinaria pesada que se emplea en la excavación de zanjas para alcantarillado, considerando la densidad en banco y suelta, factor de esponjamiento y la resistencia a la compresión simple que presentan los diferentes tipos de suelos arcillosos, conjugándose con los parámetros de la maquinaria, es decir el ciclo de operación de la maquinaria y los once factores obtenidos del Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes. MOP, 1992 (eficiencia de tiempo, operación de la máquina, administración de obra, tipo de material, estado del material, factor de llenado, maniobra, pendiente, condiciones del camino, imprevistos o eventualidades y uso anual), que determinan la eficiencia de trabajo de la excavadora, retro excavadora y mini cargador.
- Los parámetros fundamentales de los suelos arcillosos que se consideran para el cálculo de la producción de la maquinaria pesada para la excavación de zanjas son las densidades en banco y en estado suelto. Finalmente al estar relacionadas proporcionan el factor de esponjamiento que el suelo arcilloso presenta en cada tipo de proyecto. Dichas densidades se las puede obtener con los ensayos de: Factor de esponjamiento, Ensayo de Cono y Arena, Ensayo de Extractor de Núcleos, Ensayo de Balón de Agua, Ensayo de Densímetro Nuclear y Ensayo Triaxial que nos permite encontrar la consistencia del material.

- Otro parámetro fundamental que el suelo arcilloso presenta para el cálculo de la producción de la maquinaria es la resistencia a la compresión simple que pueden alcanzar las diferentes arcillas. Esta característica determina el coeficiente de tipo de material que está en función de tres sub factores con su respectiva ponderación. Estos tres sub factores son: la consistencia de la arcilla, la resistencia a la compresión simple y la trabajabilidad que presente la arcilla al porcentaje de humedad que se encuentre en el lugar de la excavación de la zanja.
- El estado de humedad juega un papel fundamental en la producción de la maquinaria puesto que si la arcilla posee un estado de humedad alto está será fácil de excavar pero su trabajabilidad disminuye drásticamente porque el suelo arcilloso se quedará en el cucharón del brazo excavador.
- La unidad de producción se obtiene en m^3 /hora de material suelto puesto que se toma la capacidad nominal colmada del receptáculo. Es fundamental diferenciar correctamente esta capacidad de: la capacidad colmada del material en estado natural y compacto, ya que de no ser así se estaría relacionando unidades totalmente diferentes resultando en una producción falsa.
- La pérdida de potencia por altura dependerá del tipo de motor con el que se esté trabajando, se tiene dos tipos: de aspiración natural y turbo alimentado, cada uno de estos tipos de motor establece la altura a la cual empieza a perder potencia y por ende a incrementar el tiempo de ciclo de la maquinaria. Es

fundamental considerar esta pérdida ya que afecta directamente la producción.

- Es necesario establecer las alturas a las cuales la maquinaria empieza a perder potencia, para motores de aspiración natural es desde los 700 metros y para los turbo alimentados desde los 3000m. Si la altura a la que se está trabajando no sobre pasa el límite indicado la maquinaria no pierde potencia es decir el tiempo de ciclo no es afectado por ningún porcentaje y es el tomado en campo.
- De la normativa ecuatoriana MOP-001-F-2002, se concluye que la elección de la maquinaria pesada para la construcción no tiene la relevancia necesaria para la ejecución de los proyectos, siendo esta una de las más importantes decisiones cuando se trabaja en un proyecto civil, puesto que representa un ahorro o aumento en el tiempo de ejecución de la obra, que se ve reflejado en el porcentaje final de ganancias.
- En la investigación se tomó: la excavadora, retro excavadora y mini cargador como maquinaria estacionaria, determinando que el principal factor a tomar en cuenta es la capacidad nominal del cucharón, la que se refleja en la capacidad de la máquina por ciclo de suelo excavado medido en m³, que afecta de manera directa tanto al cálculo del factor de llenado del cucharón como la producción final dada en m³/hora.
- Otro componente importante de la maquinaria es el factor de maniobra y alcance puesto que permite dar un rango mayor de posibilidades en el

conjunto de movimiento que puede realizar la maquinaria de excavación estudiada.

5.2 Recomendaciones

- Utilizar los diferentes tipos de máquinas dependiendo de las características del suelo y condiciones de trabajo que presente el proyecto de alcantarillado, considerando si el espacio de trabajo permite la utilización de excavadoras, retro excavadoras o mini cargadoras, para lo cual se deberá analizar espacios para los giros, profundidades de corte y volúmenes de obra.
- Para el cálculo de producción se debe tener en cuenta las diferentes tipos de capacidades colmadas del receptáculo que pueden proporcionar los fabricantes.
- Para el trabajo en suelos arcillosos y para maximizar su producción se aconseja utilizar uñas o puntas de penetración, cuchillas laterales que nos ayuden a perfilar los costados de las zanjas. También de preferencia utilizar un brazo mediano, el cual nos ayudará a tener alcance y fuerza. De ser posible utilizar un cucharón estándar ya que es para todo uso o el trapezoidal, ideales para excavaciones de canales.
- Para determinar el peso unitario suelto y natural se recomienda trabajar con los ensayos de cono y arena, ensayo de extractor de núcleos, ensayo de balón de agua, ensayo del densímetro; y para obtener de forma directa el factor de esponjamiento del suelo arcilloso se recomienda el ensayo de factor esponjamiento.

- Para utilizar la hoja de cálculo desarrollada en esta investigación, se debe tener un conocimiento pleno de los parámetros que intervienen en el cálculo de la eficiencia de trabajo de la maquinaria analizada y la producción.
- Cuando el suelo es muy blando se debe prever el corte de la zanja con taludes inclinados para garantizar la vida de las personas que se encuentran trabajando en el proyecto de alcantarillado.

BIBLIOGRAFÍA.-

Libros:

- Barber, Pedro, *Maquinaria de Obras Públicas II*. Alicante, Editorial Club Universitario, 4ta edición, 2009.
- Blake, *Drenaje y Sanidad*. México, D. F. Editorial Continental, 1964.
- Braja M. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México, D. F., International Thomson Editores, 2001.
- Díaz del Río, Manuel, *Manual de Maquinaria de la Construcción*. Madrid, McGraw-Hill, 2da edición, 2007.
- Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F- 002 TOMO II. Sección 601.3.01. Pag. VI-166
- Gutiérrez, Vania. Pereira Renan, *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y aprendizaje de la Asignatura de Maquinaria y Equipo de Construcción*. Cochobamba, 2006.
- Ibañez, Walter, *Manual de Costos y Presupuestos obras Viales*. Perú, Macro, 2012.
- Juárez, Eulalio, *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México D.F, Editorial Limusa, 1976.
- López, Marck, *Principios Básicos de Clasificación de Suelo*. Soil Science, 1949.
- Merino, Wilfrido, *Manual de Costos de Construcción Pesada, Carreteras y Puentes*. MOP, 1992.
- Ramón, Máximo, *Maquinaria y Equipo de Construcción*. Quito, 2008.
- Rojo, Julián, *Manual de Movimiento de Tierras a Cielo Abierto*. España, FUEYO Editores, 2010.
- Sanz, José, *Mecánica de Suelos*. Barcelona, Ediciones técnicos asociados, 1975.

- Sowers, George, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México, Limusa, 1972.

En Internet:

- *Aditamentos.com*. Internet. <http://meritmachinery.com/details.aspx?attachment=1423>. Acceso: 30 de agosto del 2013.
- *Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales*. Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/American_Association_of_State_Highway_and_Transportation_Officials. Acceso: 26 de junio de 2013.
- Bañón, Luis. *Manual de Carreteras*. Internet. http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010103.pdf. Acceso: 20 de junio de 2013.
- Bohórquez, Solano. Néstor Augusto. *Maquinaria para la Construcción de Vías*. Internet. <http://apuntesdeinvestigacion.upbbga.edu.co/wp-content/uploads/Esp.-Vias-XI-Nestor-Boh%C3%B3rquez.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.
- *Boletín Técnico La Llave – Conozca las múltiples aplicaciones de los minicargadores*. Internet. <http://www.leer-mas.com/lallave/news10/info.php>. Acceso: 30 de agosto del 2013.
- Brochero, J. López, W. Llerena Andrés. Sandoval, J. Sierra, J. *Ensayo de Humedad Natural, Gravedad Específica, Peso Unitario y Tamizado*. Internet. <http://www.scribd.com/doc/32091590/ENSAYO-DE-HUMEDAD-NATURAL-GRAVEDAD-ESPECIFICA-PESO-UNITARIO-Y-TAMIZADO>. Acceso: 20 de junio de 2013.
- Cabello Andrés. *Factor de Esponjamiento*. Internet. <http://www.buenastareas.com/ensayos/El-Esponjamiento/2352413.html>. Acceso: 15 de septiembre del 2013.
- Capa, Vicente. *Importancia de la Mecánica de Suelos en el desarrollo de los proyectos de Construcción de Obras Civiles*. Internet. <http://cronica.com.ec/index.php/opinion/item/65347-importancia-de-la-mec%C3%A1nica-de-suelos-en-el-desarrollo-de-los-proyectos-de-construcci%C3%B3n-de-obras-civiles>. Acceso: 20 de junio de 2013.
- *Caracterización Física y Mecánica del Suelo*. Internet. <http://suelosyestudio.blogspot.com/2010/06/ensayo-de-granulometria-por-hidrometro.html>. Acceso: 2 de septiembre del 2013
- *Cargadora Retroexcavadora*. Internet. http://www.es.ritchiewiki.com/wikies/index.php/Cargadora_retroexcavadora. Acceso: 13 de agosto de 2013.

- Carpio, César. *La Planeación y la Logística del Suministro de Maquinaria y Equipo*. Internet. http://administracionytecnologiaparaeldisenozc.uam.mx/publicaciones/cong_2009/14.pdf. Acceso: 20 de agosto de 2013.
- Cervantes, Alejandro. *El Factor Humano y la Incidencia en el Proyecto de la Construcción*. Internet. http://administracionytecnologiaparaeldisenozc.uam.mx/publicaciones/2005/1_2005.pdf. Acceso: 26 de septiembre de 2013.
- *Clasificación AASHTO*. Internet. http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO. Acceso: 20 de junio de 2013.
- *Clasificación de Suelos y Agregados para la Construcción*. Internet. <http://www.unalmed.edu.co/~geotecni/GG-11.pdf>. Acceso: 20 de junio de 2013.
- *Clasificación, Descripción y uso de la Maquinaria para la Construcción*. Internet. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5199/Capitulo2.pdf>. Acceso: 20 de julio de 2013.
- Duque, G. Escobar, C. *Mecánica de Suelos*. Internet. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/6/cap5.pdf>. Acceso: 20 de junio de 2013.
- *El Turboalimentador*. Internet. <http://lubritechdr.over-blog.es/article-el-turboalimentador-60823526.html>. Acceso: 9 de septiembre de 2013.
- *Ensayo SPT*. Internet. <http://noticias.espe.edu.ec/hfbonifaz/files/2012/09/ENSAYO-SPT.pdf>. Acceso: 20 de junio de 2013.
- *Ensayo Triaxial – ASTM D 2850*. Internet. <http://noticias.espe.edu.ec/hfbonifaz/files/2012/09/ENSAYO-TRIAXIAL.pdf>. Acceso 15 de septiembre del 2013.
- *Ensayos de Laboratorio-Resistencia a la Compresión Simple*. Internet. <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-1/>. Acceso: 6 de junio de 2013
- *Equipos de Ensayo para la Industria de la Construcción*. Internet. https://www.google.com.ec/?gws_rd=cr&ei=eDuWUqXXEtS2sASh2oCQC&A#q=ensayo+de+extractor+de+n%C3%BAcleos. Acceso: 15 de septiembre del 2013.
- *Equipos y Técnicas Constructivas*. Internet. <http://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>. Acceso: 6 de junio de 2013.
- Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes MOP – 001 – F – 2002.
- *Especificaciones Técnicas de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito - COTO-EMAAP-Q-20-2010*. Internet. www.aguaquito.gob.ec/RespaldoJoomla/index.php?option=com. Acceso: 23 de septiembre del 2013.

- Farías, Daniel. *Clasificación de Suelos*. Internet. http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/Ing_construccion/40025.pdf. Acceso: 10 de julio de 2013.
- Farid, Ricardo. *Sistemas de entibación para la excavación de zanjas*. Internet. http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/saqueel_sillard_2009.pdf. Acceso: 10 de agosto de 2013.
- *Funciones del Ingeniero Residente en la Construcción*. Internet. <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/funciones-del-ingeniero-residente-en-la-construccion/>. Acceso: 26 de septiembre de 2013.
- Geldstein, Sergio. *Introducción a Obras Civiles*. Internet. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_m_r/capitulo1.pdf. Acceso: 20 de junio del 2013.
- IIASA CATERPILLAR, *Minicargadores*. Internet. <http://www.iiasacat.com.ec/productos/equipos/nuestros-equipos/detalle/catalogo/minicargadores?gclid=CJmoxKnmhbsCFct9Ogod2W8AhQ>. Acceso: 30 de agosto del 2013.
- Komatsu. *Excavadora Hidráulica*. Internet. <http://www.multipino.es/offer218819.html>. Acceso: 10 de julio de 2013
- *La retroexcavadora.docx*. Internet. <http://es.scribd.com/doc/142854267/La-retroexcavadora-docx>. Acceso: 30 de agosto del 2013
- Mamani, Richard. *Fichas Maquinarias*. Internet. www.monografias.com/trabajos-pdf2/fichas-maquinarias/fichas-maquinarias.pdf. Acceso: 6 de junio de 2013.
- *Mantenimiento de Equipo Pesado en Minería*. Internet. <http://mechanicsena.blogspot.com/2011/06/turboalimentador.html>. Acceso: 9 de septiembre de 2013.
- *Manual de Rendimiento Caterpillar 39*. Internet. <http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/PerformanceHandbookEspanolNew.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.
- Martínez, Epifanio. *Resistencia del Suelo*. Internet. <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-1/>. Acceso: 22 de junio de 2013.
- *Mecánica de Suelos – Límites de Consistencia*. Internet. <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica4.htm>. Acceso: 2 de septiembre del 2013.
- *Mejoramiento mecánico de los Suelos*. Internet. http://ingenieriacivil-emi.blogspot.com/2013_07_01_archive.html. Acceso: 15 de septiembre del 2013.
- *Método con el Densímetro Nuclear*. Internet. http://ingeconuvdocs.weebly.com/uploads/8/9/4/7/8947127/gua_densidad_no_arena.pdf. Acceso: 15 de septiembre del 2013.

- Milla, Patrick. *Ensayo de Cono y Arena*. Internet. <http://www.slideshare.net/hugogradiz/metodo-cono-de-arena>. Acceso: 15 de septiembre del 2013.
- Morales, Rodolfo. *Maquinaria de Construcción*. Internet. <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>. Acceso: 4 de abril de 2013.
- Nadeo, Julio. *Introducción a algunas Propiedades Fundamentales de los Suelos*. Internet. <http://www.ing.unlp.edu.ar/constr/g1/Propiedades%20caracteristicas%20de%20los%20suelos.pdf>. Acceso: 9 de agosto de 2013.
- Ochoa Alf. *Peso Unitario de los Suelos*. Internet. <http://www.scribd.com/doc/93847499/Pesos-Unitarios-de-Suelos>. Acceso: 20 de junio de 2013.
- *Rendimiento de las Principales Máquinas de Construcción*. Internet. <http://www.sisman.utm.edu.ec/libros/FACULTAD%20DE%20CIENCIAS%20MATEMATICAS%20FISICAS%20Y%20QUIMICAS/INGENIERIA%20CIVIL/07/CONSTRUCCIONES%20CIVILES%20II/RENDIMIENTOS%20DE%20MAQUINARIAS..pdf>. Acceso: 13 de agosto de 2013.
- *Resistencia de las Arcillas*. Internet. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3028/Capitulo1.pdf>. Acceso: 15 de septiembre del 2013.
- *Riesgo de Sepultamiento en Trabajos de Zanjas y Entibaciones*. Internet. http://www.cem-malaga.es/portalcem/novedades/2009/PRL_CEM/docs/zanjas.pdf. Acceso: 16 de agosto de 2013.
- Sánchez, Néstor. *Granulometría de los suelos*. Internet. <http://civilgeeks.com/2013/11/25/granulometria-de-suelos-ing-nestor-luis-sanchez-incluye-planilla-descargable-para-los-tamices/>. Acceso: 14 de agosto del 2013
- Vega, Tadeo. *Factor de Esponjamiento*. Internet: <http://es.scribd.com/doc/142741566/Factor-de-Esponjamiento>. Acceso: 15 de septiembre del 2013.
- Vela, Petra. *Comportamiento de los Suelos Arcillosos*. Internet. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3028/Capitulo1.pdf>. Acceso: 18 de septiembre del 2013.
- *Volvo Construction Equipment – Minicargadoras*. Internet. <http://www.volvoce.com/constructionequipment/brazil-br-es/products/skidsteerloaders/MC115C/Pages/featuresandbenefits.aspx>. Acceso: 30 de agosto del 2013.

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA MAQUINARIA (I)

$$I = i * o * a * m * e * c * g * l$$

I = Eficiencia de Maquinaria

i = Eficiencia de tiempo
 o = Operación de la máquina
 a = Administración de obra
 m = Tipo de material
 e = Estado de material
 c = Llenado de cucharón
 g = Maniobra y Alcance
 l = imprevistos o eventualidades

FACTOR DE EFICIENCIA DE TIEMPO

Tiempo efectivo trabajado (en minutos) por hora transcurrida	Factor (i) %	Calificación
60	100	Utópico
50	83	Bueno
40	67	Medio
30	50	Pobre

FACTOR (i)		
Tiempo (mins)	Calificación	i (%)
50	Bueno	83

FACTOR DE OPERACIÓN DE LA MAQUINARIA

Habilidad del Operador	Factor (o) %
Excelente	91 - 100
Bueno	81 - 90
Regular	71 - 80
Malo	60 - 70

FACTOR (o)	
o (%)	Habilidad Operador
81	Bueno

FACTOR DE ADMINISTRACIÓN DE OBRA

Nivel de Organización de la Administración	Factor (a) %
Excelente	91 - 95
Bueno	81 - 90
Regular - Bueno	71 - 80
Malo - Aceptable	61 - 70

FACTOR (a)	
a (%)	Nivel de Organización de Obra
80	Regular - Bueno

FACTOR DE TIPO DE MATERIAL

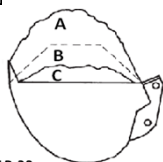
Tipo de Arcilla	Resistencia a la Compresión Simple (Qu)	Trabajabilidad	Factor "m" (%)
Muy blanda	0.00 - 0.25	Muy Difícil	<= 60
		Difícil	61 - 80
Blanda	0.25 - 0.50	Difícil	61 - 80
		Media	81 - 90
Media	0.5 - 1.0	Media	81 - 90
		Fácil	91 - 100
Consistente	1.00 - 1.5	Fácil	91 - 100
		Difícil	71 - 80
Muy Consistente	1.5 - 2.0	Difícil	71 - 80
		Muy Difícil	<=60
Dura	> 2.0	Muy Difícil	<=60

FACTOR (m)			
Tipo de Arcilla	Qu kg/cm ²	Trabajabilidad	m (%)
Blanda	0.25 - 0.50	Medio	86
	0.4		

FACTOR DE LLENADO DE CUCHARÓN

Condiciones del Suelo	Valor
Máximo Factor de Esponjamiento	86%
Mínimo Factor de Esponjamiento	18%
Densidad en banco máxima	2100 kg/m ³
Densidad en banco mínima	1100 kg/m ³
Densidad suelta máxima	1660 kg/m ³
Densidad suelta mínima	1155 kg/m ³

Material	Factor de llenado (porcentaje de la capacidad coimada del cucharón)
Marga mojada o arcilla arenosa	A — 100-110%
Arena y grava	B — 95-110%
Arcilla dura y compacta	C — 80-90%
Roca bien fragmentada por voladura	60-75%
Roca mal fragmentada por voladura	40-50%



MANUAL DE RENDIMIENTO DE CATERPILLAR-39

FACTOR (c)		
Definir Factor por:	Densidad	
	Densidades	Esponjamiento %
	Suelta	Banco
	1700	1800
	Factor de Esponjamiento	
	0,94	

Definir Factor por:	Capacidad	
	Capacidad de Cucharón	
	Capacidad Real	Capacidad Nominal
	0,8	0,75
	c (%)	
	101	

FACTOR DE MANIOBRA Y ALCANCE

Profundidad de la excavación en porcentaje de la óptima profundidad	FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA PROFUNDIDAD															
	Giros (en grados)															
	45	50	60	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
40	0.93	0.92	0.89	0.86	0.85	0.83	0.8	0.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59
80	1.1	1.08	1.03	0.98	0.96	0.94	0.91	0.88	0.84	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71	0.68	0.66
100	1.26	1.23	1.16	1.10	1.07	1.05	1	0.96	0.92	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.74	0.71
120	1.2	1.17	1.11	1.06	1.03	1.01	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.72	0.7
140	1.12	1.09	1.04	0.99	0.97	0.93	0.86	0.84	0.83	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71	0.68	0.66
160	1.03	1.01	0.96	0.92	0.9	0.87	0.81	0.79	0.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.64	0.62

FACTOR (g)		
Profundidad de la excavación en porcentaje de la óptima profundidad	Giros (en grados)	g (%)
100	90	100

FACTOR DE EVENTUALIDADES

Razón de Imprevisto	% de Afectación
Por Lluvia	5% - 6%
Reparaciones	12% - 15%
Roturas	18% - 20%
Otras Causas	5% - 7%

FACTOR (i)	
% de Imprevistos	i (%)
20	80

CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE LA MAQUINARIA (P)

$$P = Q \times N \times I$$

$$N = \frac{60}{Cm}$$

$$P = Q \times \frac{60}{Cm} \times I$$

P = Producción horaria en $m^3/hora$.

Q = Producción por ciclo de tierra excavada en m^3 (capacidad nominal colmada).

N = Número de ciclos por hora.

I = Eficiencia de maquinaria (adimensional).

Cm = Tiempo de ciclo en minutos.

$\Delta\bar{P}$ = Pérdida de potencia por altura.

h = Altura en (m).

CÁLCULO DEL TIEMPO DE CICLO (Cm)

Tiempos del Ciclo (mins)				Calculado	
Excavación y carga	Giro con carga	Descarga	Giro sin carga	Asumido	TOTAL
0,08	0,05	0,03	0,06	0,28	0,22

PÉRDIDA DE POTENCIA POR ALTURA

$\Delta\bar{P} = (h - 700) * 0.01$ → **Motores de Aspiración Normal**
 $\Delta\bar{P} = (h - 3000) * 0.01$ → **Motores Turboalimentados**

Maquinaria	$\Delta\bar{P}$	h (m)	$\Delta\bar{P}$
Con Turbo	$(h-3000)*0.01$	3200	2%

NÚMERO DE CICLOS POR HORA (N)

$$N = \frac{60 \text{ mins/hora}}{Cm}$$

$Cm = \text{TOTAL} (1 + \Delta\bar{P})$
 (Ver TOTAL en tiempos de ciclo)

N (ciclos/hora)	267,38
---------------------------	--------

CAPACIDAD POR CICLO (Q)

Q (m^3)	0,75
-----------------------	------

EFICIENCIA (I)

I (adimensional)	0,374
----------------------------	-------

PRODUCCIÓN HORARIA (P)

P ($m^3/hora$)	75,05
----------------------------	-------