



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL**

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

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRABAJO DE MAQUINARIA DE
CONSTRUCCIÓN PARA EXCAVACIÓN DE ZANJAS PARA
ALCANTARILLADO EN EL SECTOR DE TABABELA, ESTABLECIENDO EL
FACTOR DE TIPO DE SUELO

AUTOR:

GABRIELA CATALINA CHIRIBOGA TRUJILLO

QUITO – ECUADOR

2017

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por ser guía en mi vida y en mi carrera, mi fortaleza en todo momento para seguir con mis sueños y, por regalarme una vida llena de salud, aprendizajes, experiencias y felicidad.

Agradezco a mis padres, Julio Chiriboga y Catalina Trujillo, por quienes gracias a su esfuerzo y dedicación he logrado llegar hasta aquí, me han permitido crecer, tanto personal como profesionalmente, con sus consejos, por confiar en mí, y porque siempre han estado conmigo siendo unos excelentes padres y amigos.

A mi hermano, que aún sin saberlo, ha sido un ejemplo en mi vida. A mi familia y amigos, que me han dado consejos, ánimos, amistad y me han acompañado en este camino. A mis angelitos que están en el cielo, porque sus bendiciones siempre han sabido llegar.

A mis profesores de la Facultad, por compartirme sus conocimientos y enseñanzas, en especial al Ing. Juan Merizalde, Director del presente trabajo, y los ingenieros correctores, Ing. Juan Carlos Montero e Ing. Paúl Enríquez, quienes con paciencia y sabiduría, me ayudaron a hacer posible la culminación del mismo.

Y a mi novio y amigo, Andrés Miranda, porque ha sabido ser un compañero incondicional, por su apoyo y comprensión, incluso su ayuda y aportes, para avanzar y culminar mi carrera, crecer como persona y ser un impulso positivo en mi vida.

Muchas gracias a todos.

Gabriela Catalina Chiriboga Trujillo

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios, por ser luz guía en mi vida. A mi papi, Julio Chiriboga, y mi mami, Catalina Trujillo, porque gracias a ellos hoy puedo cumplir este sueño, gracias a su dedicación y responsabilidad como padres, y a su compañía y apoyo como amigos. A Andrés Miranda, por sus consejos y compañía incondicional. Y a mi abuelita Rosita, quien aun no estando a mi lado, siempre la he sentido conmigo. Ustedes han hecho de mí una mejor persona, me han enseñado a crecer y ser realmente feliz.

Gabriela Catalina Chiriboga Trujillo

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivo general.....	4
1.4. Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II: GENERALIDADES	5
2.1. Importancia de la maquinaria de construcción	5
2.2. Partes fundamentales de la maquinaria de construcción	8
2.2.1. Sistema de Potencia - Motor.....	8
2.2.2. Sistema de transmisión	9
2.2.3. Sistema de locomoción o tren de rodaje	10
2.3. Movimiento de Tierras.....	12
2.3.1. Excavaciones de zanjas de alcantarillado.....	13
2.3.2. Tipos de maquinaria de excavación para zanjas de alcantarillado	18
2.3.3. Excavadora	19
CAPÍTULO III: TIPOS DE SUELOS EN TABABELA	22
3.1. Importancia de la Mecánica de Suelos	22
3.2. Formación de los suelos.....	22
3.3. Parámetros de identificación de los suelos	24
3.3.1. Contenido de humedad	24
3.3.2. Granulometría.....	24
3.3.3. Límites de Atterberg.....	25
3.3.4. Densidad relativa	27
3.3.5. Compresión simple.....	29
3.4. Clasificación de Suelos	30
3.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS.....	31
3.4.2. American Association of State Highway Officials - AASHTO	32

3.5. Parroquia de Tababela	34
3.5.1. Aspectos físicos	34
3.5.2. Demografía	36
3.5.3. Geología	36
3.5.4. Geomorfología.....	37
3.5.5. Uso Ocupacional del suelo	38
3.5.6. Tipos de Suelo en Tababela.....	39
3.6. Normativa para excavación de suelos.....	41
3.6.1. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-2002.....	41
3.6.2. Especificaciones Técnicas de la Empresa de Alcantarillado y Agua Potable de Quito	43
 CAPÍTULO IV: EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE CONTRUCCIÓN	 45
4.1. Conceptos fundamentales	45
4.2. Importancia del cálculo de la Eficiencia.....	47
4.3. Cálculo de la eficiencia de una excavadora para excavación de zanjas de alcantarillado	48
4.3.1. Producción (P).....	51
4.3.2. Capacidad por ciclo (Q).....	51
4.3.3. Número de ciclos (N)	52
4.3.4. Eficiencia del trabajo (I).....	54
4.3.5. Desarrollo del cálculo de la eficiencia de una excavadora en Hoja de Excel	66
 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 73
5.1. Conclusiones.....	73
5.2. Recomendaciones	74
 BIBLIOGRAFÍA.....	 76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 Relación mínima ancho-profundidad en zanjas	16
TABLA 3.1 Símbolos de subgrupos del Sistema Británico de Clasificación de Suelos	26
TABLA 3.2 Densidad Relativa de Arenas	27
TABLA 3.3 Variación de η_H , η_B , η_S , η_R	28
TABLA 3.4 Descripción del suelo según la densidad relativa.....	29
TABLA 3.5 Relación entre Consistencia de arcillas, Número de golpes N de la cuchara normal y Resistencia a la Compresión simple q_u	30
TABLA 3.6 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)	32
TABLA 3.7 American Association of State Highway Officials (AASHTO)	33
TABLA 3.8 Geología de la Parroquia de Tababela.....	36
TABLA 3.9 Geomorfología de la Parroquia de Tababela.....	38
TABLA 3.10 Uso ocupacional del suelo en la parroquia de Tababela	39
TABLA 3.11 Tipo de Suelo en la Parroquia de Tababela según el PDyOT Tababela 2012.....	39
TABLA 3.12 Tipos de Suelo en la Parroquia de Tababela	40
TABLA 4.1 Retroexcavadora mediana modelo 320D	48
TABLA 4.2 Límites de alcance Excavadora 320D	49
TABLA 4.3 Capacidad útil del cucharón	50
TABLA 4.4 Tiempos de ciclo	53
TABLA 4.5 Factor (i): Eficiencia en tiempo.....	55
TABLA 4.6 Factor (o): Operación	55
TABLA 4.7 Factor (a): Administración	56
TABLA 4.8 Factor (m): Tipo de material	57
TABLA 4.9 Densidad relativa de los suelos en Tababela.....	58
TABLA 4.9-2 Memoria de cálculo de la Densidad relativa de suelos en Tababela.....	59
TABLA 4.10 Factor (m): Por tipo de suelo en Tababela	60
TABLA 4.11 Factor (m): Por estratigrafía de Tababela.....	61
TABLA 4.12 Factor (e): Estado del material	62
TABLA 4.13 Factor de esponjamiento.....	63
TABLA 4.14 Factor (g): Maniobra y alcance	64

TABLA 4.15 Factor (g): Pendiente del terreno	65
TABLA 4.16 Factor (r): Condiciones de camino	65
TABLA 4.17 Factor (l): Eventualidades	66
TABLA 4.18 Factores para el cálculo de la eficiencia de la excavadora.....	67

ÍNDICE DE GRÁFICOS

FIGURA 2.1	Primera motoniveladora (1886) y motoniveladora actual	5
FIGURA 2.2	Ampliación Av. Simón Bolívar	7
FIGURA 2.3	Configuración motor a diésel.....	9
FIGURA 2.4	Transmisión hidráulica de una excavadora.....	10
FIGURA 2.5	Excavadora de orugas y Excavadora de ruedas	11
FIGURA 2.6	Cabina de control de una retroexcavadora.....	12
FIGURA 2.7	Sistema de alcantarillado	14
FIGURA 2.8	Seguridad en la ejecución de obras de alcantarillado	15
FIGURA 2.9	Sistema de declive y escalonado.....	17
FIGURA 2.10	Sistema de apuntalamiento	17
FIGURA 2.11	Sistema de broquelado	18
FIGURA 2.12	Maquinaria de construcción.....	18
FIGURA 2.13	Partes de la excavadora.....	19
FIGURA 2.14	Excavadora de empuje frontal (1) y Retroexcavadora (2).....	20
FIGURA 2.15	Maquinaria de excavación en Construcción Metro de Quito	21
FIGURA 3.1	Intervalo de tamaño de partícula del sistema British Standard.....	24
FIGURA 3.2	Carta de plasticidad para la clasificación de suelos finos.....	26
FIGURA 3.3	Mapa geográfico de la parroquia de Tababela.....	35
FIGURA 4.1	Excavadora mediana modelo 320D	49
FIGURA 4.2	Capacidad del cucharón de excavadoras	50

ÍNDICE DE FÓRMULAS

FÓRMULA 3.1 Densidad relativa	27
FÓRMULA 3.2 $(N_1)60$	29
FÓRMULA 4.1 Potencia.....	45
FÓRMULA 4.2 Rendimiento	46
FÓRMULA 4.3 Eficiencia	47
FÓRMULA 4.4 Producción	51
FÓRMULA 4.5 Capacidad por ciclo.....	52
FÓRMULA 4.6 Número de ciclos	53
FÓRMULA 4.7 Eficiencia	54
FÓRMULA 4.8 Factor de esponjamiento	62
FÓRMULA 4.9 Factor de contracción.....	63
FÓRMULA 4.10 Factor de llenado.....	64

RESUMEN

El enfoque de la presente investigación es la determinación de la eficiencia del trabajo de maquinaria de construcción para excavación de zanjas para alcantarillado en el sector de Tababela, estableciendo el factor que corresponde al tipo de suelo, para lo cual se realiza una previa investigación de la estratigrafía en el sector. Consta además de una hoja de cálculo para determinar la eficiencia de una retroexcavadora de orugas, involucrando los 11 factores que intervienen en el cálculo de la eficiencia del trabajo.

ABSTRACT

The focus of the investigation is to determinate the efficiency of a construction machinery for sewer system ditches in Tababela, establishing the factor that corresponds to the type of soil, for which is realized a previous investigation of the stratigraphy in the sector. It also has a worksheet to determine the efficiency of backhoe loaders, involving the 11 factors that intervene in calculating the efficiency of work.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la metodología, herramientas y equipos de construcción se han sofisticado considerablemente mejorando la calidad y el coste de las obras, reduciendo tiempo de ejecución y personal laboral. Hoy en día existe maquinaria capaz de construir mega estructuras llevando a los proyectos a un nuevo concepto de innovación y eficiencia en lo que a la construcción de los mismos concierne.

La presencia de maquinaria pesada dentro de una obra se ha convertido en un factor fundamental ya que, dadas sus capacidades, disminuyen considerablemente el tiempo de ejecución de la misma aumentando su producción y reduciendo costos.

Se entiende como maquinaria de construcción a equipos mecánicos, cuyas dimensiones y herramientas o accesorios dependen de las funciones que se quieran cumplir con éste. Es un término general en el que entra todo tipo de equipo necesario para el movimiento de tierras, como es el caso de excavación, rellenos y acarreos.

Tanto como para el ingeniero civil como para el constructor, es necesario tener conocimiento del rendimiento de la maquinaria de construcción al momento de realizar excavaciones de zanjas para alcantarillado.

Mediante la presente investigación, se busca determinar la eficiencia de la maquinaria de excavación, específicamente de una excavadora, para la construcción de zanjas de alcantarillado en la parroquia de Tababela ubicada la provincia de Pichincha en el Distrito Metropolitano de Quito.

Parte del proyecto será realizar una investigación bibliográfica de la estratigrafía que se encuentre a una profundidad no mayor a 6 metros ya que se considera que la obra de alcantarillado no será mayor a esa altura. Con estos datos, se determinará el valor del factor de tipo de suelo el cual interviene directamente en el cálculo el rendimiento de una excavadora para los diferentes tipos de suelo encontrados.

1.1. Antecedentes

Es ya conocido que la productividad y eficiencia de la maquinaria de construcción dependen de algunos factores los cuales influyen en el cálculo de la misma, entre ellos el tipo de suelo en el que se va a trabajar.

Dado el futuro crecimiento de la parroquia de Tababela, será necesaria la implementación de una red de alcantarillado por lo que, para realizar este trabajo, es importante determinar la eficiencia que tendrá la maquinaria de construcción para la excavación de las zanjas de alcantarillado según los diferentes tipos de suelos existentes en el sector, con el fin de tener una mejor programación de obra y ayudar al momento de realizar el cálculo de los precios unitarios.

1.2. Justificación

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, proyectado hasta el 2025, propuesto por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia de Tababela y la construcción del nuevo aeropuerto internacional de Quito, la parroquia Tababela presenta un gran crecimiento futuro por lo que la implementación de un sistema de alcantarillado completo es indispensable en el sector.

Para optimizar los trabajos a realizarse y tener una mejor programación de obra, es necesario elaborar estudios de la zona y determinar qué eficiencia tendrá la maquinaria de construcción al momento de ejecutarlos.

Existen algunos factores que intervienen en el cálculo de la eficiencia de la maquinaria, entre ellos se encuentra el factor que corresponden al tipo de suelo. Debido a que la investigación está enfocada para el sector de Tababela, es necesario realizar un estudio y caracterización del suelo existente.

La eficiencia de una maquinaria de excavación será diferente según el terreno donde se trabaje por lo que, si ya existe un estudio previo de su rendimiento en un determinado tipo de suelo, se puede realizar una mejor planificación de la obra y, en caso de que se considere que esta no es óptima para realizar el trabajo, desistir y buscar una mejor opción.

1.3. Objetivo general

- Determinar la eficiencia de maquinaria de construcción, específicamente la excavadora, para realizar trabajos de excavación de zanjas de alcantarillado en los diferentes tipos de suelos existentes en el sector de Tababela.

1.4. Objetivos específicos

- Investigar y caracterizar los tipos de suelos existentes en el sector de Tababela.
- Estudiar los parámetros del suelo que intervienen para la determinación del factor m en el cálculo del rendimiento de maquinaria de construcción.
- Calcular la eficiencia de una excavadora para la excavación de zanjas para alcantarillado en los diferentes tipos de suelos del sector de Tababela según el Manual de Costos de Construcción Pesada del MOP realizando una hoja de cálculo en Excel para facilitar su futura utilización.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1. Importancia de la maquinaria de construcción

La maquinaria de construcción muestra sus orígenes en Estados Unidos con la finalidad de mejorar su producción agrícola, al observar un considerable ahorro de costo de mano de obra y tiempos de ejecución, esta fue adaptada en el campo de la construcción.

En Europa no era muy común la utilización de maquinaria de construcción dado que no se realizaban obras de mayor escala, por lo que la mano de obra era suficiente para la ejecución de trabajos constructivos. Sin embargo, en el siglo XVIII, Richard Edge Worth innovó dicho sistema con la creación de la “rueda sobre cadenas” posteriormente conocida como cadena de orugas lo que dio origen las máquinas a vapor.

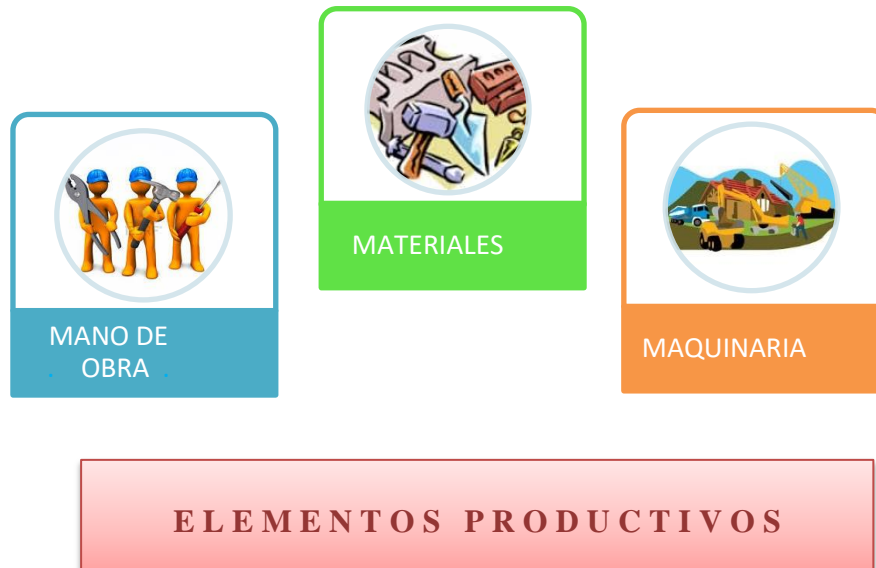
Anteriormente, la maquinaria era movilizada por animales pero al hacerse excesiva la cantidad necesaria de estos, se utilizó la caldera de vapor la cual fue sustituida por el motor a combustión interna en 1908.



FIGURA 2.1 Primera motoniveladora (1886) y motoniveladora actual

(bligoo: Historia de la maquinaria y equipo de construcción)

Existen tres tipos de elementos productivos presentes en una obra: mano de obra, materiales y maquinaria. En algunos casos, es efectiva la sustitución del hombre por maquinaria.



En países desarrollados, entre las especificaciones técnicas se puntualiza que el trabajo de obras públicas debe ser realizado por maquinaria de construcción ya que, esta permite un mayor rendimiento, menor coste y garantiza la correcta ejecución de la obra.

Según (Barber Lloret, 2008), la mecanización del trabajo en la construcción y obras públicas mediante la adecuada utilización de maquinaria pesada es necesaria desde el punto de vista económico, técnico, jurídico y humano:

- Aspecto económico: aumenta el rendimiento por lo que el tiempo de ejecución de la obra disminuye y por consiguiente se reducen los costes del proyecto.
- Aspecto técnico jurídico: garantiza el cumplimiento de las especificaciones técnicas, mejora la calidad del trabajo.
- Aspecto humano: existe mayor comodidad de trabajo, el hombre realiza menos esfuerzo muscular y desarrolla más su capacidad creadora.

El éxito de un proyecto está relacionado con la correcta elección de la maquinaria de construcción a emplear para la realización de las actividades. El campo de aplicación en ingeniería civil es muy amplio, nombrando a continuación algunos trabajos:

- Movimiento de tierras
- Excavaciones
- Acarreo y/o desplazamiento de material
- Dragado
- Pavimentación
- Fabricación de hormigón
- Izaje y desplazamiento de componentes y materiales



FIGURA 2.2 Ampliación Av. Simón Bolívar
 (Chiriboga, Ampliación Av. Simón Bolívar, 2015)

Al momento de elegir la maquinaria para realizar una obra, es importante considerar sus costos de adquisición, operación y de mantenimiento. Se escoge el equipo que represente menor costo siendo los siguientes factores iguales:

- Trabajo a ejecutar
- Especificación de la construcción
- Influencia de las condiciones atmosféricas en el funcionamiento del equipo
- Tiempo de ejecución programado de la obra
- Balanceo del equipo interdependientemente
- Adaptabilidad y versatilidad del equipo a otras máquinas
- Efectividad del operador

2.2. Partes fundamentales de la maquinaria de construcción

Para poder entender el funcionamiento de la maquinaria de construcción, es importante saber reconocer las partes fundamentales que las componen y qué funciones desempeñan, las cuales son detalladas a continuación:

2.2.1. Sistema de Potencia - Motor

Este es el principal elemento ya que transforma la energía adquirida de diversas fuentes en energía mecánica con la cual la maquinaria realiza movimientos para desempeñar un trabajo; es el generador de potencia.

Tipos de motores

- Motores eléctricos

La electricidad es su fuente de energía. Generalmente es utilizada en máquinas estacionarias como son las plantas de hormigón, sin embargo, en obra, son utilizados para accionar maquinaria ligera como es el caso de los compresores. Tienen bajo costo de adquisición y mantenimiento mínimo.

- Motores de combustión interna

Se alimentan de la potencia calorífica de un derivado del petróleo, sin embargo, no son muy eficientes ya que, solo el 25% de la potencia generada es utilizada, lo demás se pierde en gases y en las diferentes funciones propias del motor. Pueden ser de explosión (motor de gasolina) o de combustión (motor diesel). El motor diesel es el más usado ya que tiene un menor costo, larga vida de operación, utiliza inyección de combustión directa al cilindro y genera menor contaminación ambiental.

- Motores hidráulicos y neumáticos

Estos se benefician directamente de la energía hidráulica y neumática transmitida por los motores de combustión interna a una bomba hidráulica o compresor.

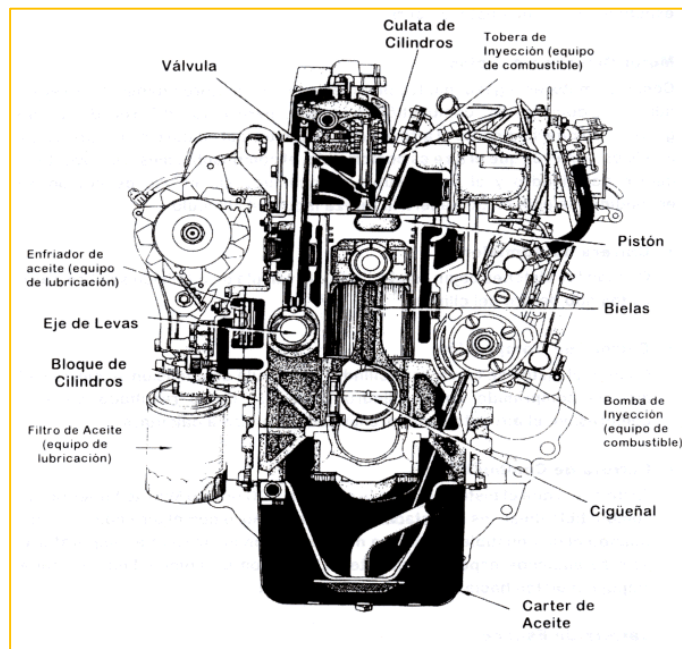


FIGURA 2.3 Configuración motor a diésel

(Talleres Cuenca: Tecnología del Diesel)

2.2.2. Sistema de transmisión

La transmisión es la encargada de transmitir la potencia generada en el motor hacia las ruedas motrices y los diferentes implementos de trabajo de la maquinaria. Esta intenta conseguir una correcta relación tracción/velocidad.

Existen dos tipos esenciales de transmisiones y son: transmisiones mecánicas y transmisiones hidráulicas; las transmisiones hidráulicas se subdividen en hidrodinámicas e hidrostáticas.

Tipos de sistema de transmisión

Para un estudio más completo, las transmisiones se dividen en clásicas, servo transmisores e hidráulicas.

- Transmisiones clásicas

Los elementos más importantes de la transmisión a las ruedas son: la caja de cambios, el embrague, el grupo cónico, mandos finales y en los tractores de cadenas embragues y frenos de dirección.

- Servo transmisores

Esta es más utilizada para maquinaria de movimiento y transporte de tierras. Su ventaja es que permite al operador realizar cambios de marcha sin interrumpir el paso de la potencia generada en el motor, significando el acortamiento de los ciclos aumentando así la producción considerablemente.

- Transmisiones hidráulicas

Este sistema es empleado por la totalidad de la maquinaria moderna que realiza varias operaciones y se traslada. Los mandos hidráulicos aumentan la fuerza aplicada convirtiéndola en fuerza transmitida mediante la presión y el caudal de un líquido actuante en motores y émbolos.

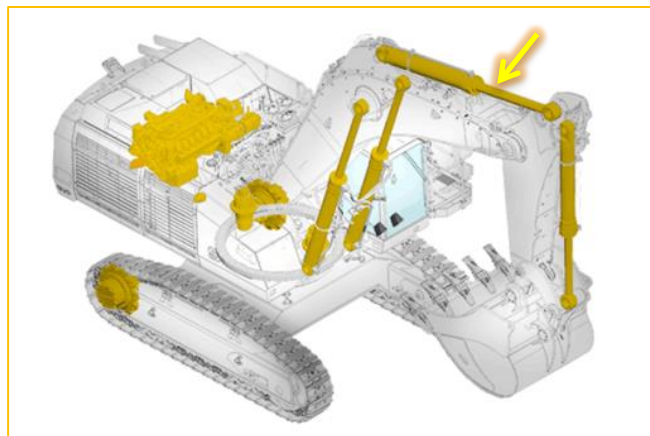


FIGURA 2.4 Transmisión hidráulica de una excavadora

(Equipos Liebherr)

2.2.3. Sistema de locomoción o tren de rodaje

El tren de rodaje es el conjunto de piezas y elementos que brindan a la máquina la posibilidad de desplazamiento y sustentación.

Tipos de tren de rodaje

- Patines o rieles
- Tren de rodaje de orugas
- Neumáticos o ruedas de goma

La maquinaria para movimiento de tierras, específicamente las excavadoras, no son máquinas que necesiten en su operación grandes factores de agarre y velocidades (0,8 a 1,6 km/h), por lo que posee un tren de rodaje de orugas. Además, debido a que su trabajo lo realizan sobre suelos blandos (0,7 a 1,3 kg/cm²), necesitan una gran superficie de apoyo para poder lograr la estabilidad necesaria. Sin embargo, en caso que necesiten trasladarse distancias mayores, poseen, como tren de rodaje, neumáticos lo suficientemente grandes para que den la estabilidad deseada a la maquinaria.



FIGURA 2.5 Excavadora de orugas y Excavadora de ruedas
(KOMATSU)

2.2.4. Sistema de trabajo

También conocido como sistema de control, es el sistema que permite controlar el funcionamiento de la maquinaria. Mediante los “mandos del equipo” se consigue los movimientos, tanto de traslación como de rotación, de la maquinaria para ejercer sus diferentes funciones.

Tipos de sistema de trabajo

Con el pasar del tiempo, el sistema de trabajo de las maquinarias ha ido evolucionando, dando a distinguir dos principales tipos de sistema de control:

- Sistema de indicación o manual

En este sistema, el operador maniobra manualmente todas las funciones de la maquinaria. No obstante, algunos equipos constan de “ayuda” en la cabina lo cual facilita la operación y la exactitud de los trabajos que esta realice.

- Sistema automático

La mayoría de la maquinaria moderna consta de software, de sistemas electrónicos e hidráulicos los cuales interpretan los datos de diseño del sitio de la obra y, automáticamente, funcionan independientemente. Sin embargo, siempre debe estar una persona en la cabina ya que no todas las funciones pueden realizarse automáticamente.



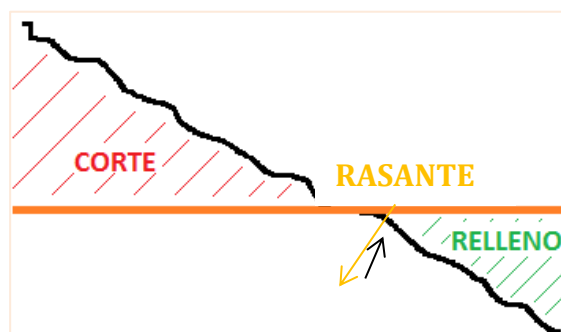
FIGURA 2.6 Cabina de control de una retroexcavadora

(ArquitectObra: "Guía básica para el control de una máquina", 2013)

2.3. Movimiento de Tierras

La acción de movimiento de tierra es muy frecuente en la construcción como en el caso de la infraestructura vial, desarrollo urbano, social e industrial de una sociedad; la cual son competencia directa de constructores, específicamente de ingenieros civiles.

Se conoce como movimiento de tierras al conjunto de operaciones que se realizan en terrenos naturales, cuando es necesario modificar su forma, con el fin de aprovecharlos de mejor manera y poder ejecutar obras sobre estos. El movimiento de tierra refiere básicamente a dos acciones: corte y relleno.



PERFIL TERRENO NATURAL

Las fases fundamentales que constituyen la ejecución de un movimiento de tierras completo son:

- Arranque o excavación
- Carga
- Transporte
- Vertido
- Extendido
- Compactación
- Conformación de subrasante



2.3.1. Excavaciones de zanjas de alcantarillado

El desarrollo, tanto urbano como de zonas rurales, se debe gran parte a las obras que realiza el sector público para mejorar la calidad de vida y bienestar de sus habitantes, siendo obligación de los municipios el hacer obras de alcantarillado así como infraestructura vial, hospitales, escuelas, zonas recreativas, entre otros.

Zanja es una excavación estrecha, con relación a su longitud, la cual es realizada debajo del nivel de la superficie del terreno natural. La profundidad es mayor a la anchura, sin embargo la anchura medida al fondo de la zanja no será mayor a 4.60 metros.

Se conoce como red de alcantarillado al sistema de tuberías que recogen tanto agua lluvia como aguas residuales, las transportan hasta llegar a plantas de tratamiento y, posteriormente, cumpliendo con los límites de sanidad, descargarlas en un afluente natural. Son estructuras de tipo hidráulico que funcionan, en su mayoría, a presión atmosférica.

La importancia de que exista un buen sistema de alcantarillado forma parte del compromiso de brindar y cumplir con el derecho de la sociedad a gozar de servicios básicos garantizando su bienestar, ya que, si el sistema de alcantarillado pluvial es ineficiente, las inundaciones y taponamientos serían frecuentes en las calles de pueblos y ciudades, produciendo daños a las comunidades. Por otra parte, un deficiente sistema de alcantarillado de aguas residuales pondría en riesgo la salud de los habitantes, provocando enfermedades y/o plagas.



FIGURA 2.7 Sistema de alcantarillado

(Obras civiles, 2010)

Entre los factores que intervienen en el diseño de una zanja de alcantarillado se incluyen:

- La clasificación del suelo
- La profundidad del corte
- Ubicación de maquinas
- Contenido de agua del suelo
- Cambios debidos a factores meteorológicos y clima
- Otras operaciones conjuntas
- Designación de entradas y salidas

La presente investigación trata del uso de maquinaria pesada para excavación de zanjas de alcantarillado y la eficiencia que ésta tendría si es utilizada en los diferentes tipos de suelos encontrados en la Parroquia Tababela. Dicho esto, es importante definir el procedimiento para excavación de zanjas para alcantarillado y el trabajo de la maquinaria pesada que interviene, específicamente de la excavadora.

La excavación de zanjas de alcantarillado consiste en remover material, colocar la tubería, y rellenar la zanja, con el mismo material o uno mejorado según sea conveniente. Este trabajo generalmente se realiza en los costados de una vía por lo que se suele construir aceras sobre este.

La implementación de la maquinaria de construcción para realizar este tipo de trabajos, facilita y aumenta la productividad, reduciendo tiempos de las actividades; hace que los trabajos sean más seguros, eficientes y rápidos. Por la manera de operar y la forma del cucharón, se logra como resultado una zanja bien definida, usualmente con fondo curvo y nivelado para colocar directamente la tubería.

La seguridad es esencial en obra, por lo que se recomienda que el material retirado se lo coloque a una distancia considerable del borde de la excavación, mínimo de 1 m según el “Manual de seguridad, salud, ambiente, riesgos y relaciones comunitarias en la ejecución de obras de la EPMAPS”, lo cual se lo realiza directamente con la maquinaria que, al momento de retirar el material, lo coloca alejado de la zanja en excavación. Además, especifica que, si la altura de excavación sobrepasa el 1.5 m de altura, debe existir una escalera cuyo borde superior sobrepase 1 m de la superficie, para el acceso de los trabajadores a su lugar de trabajo.

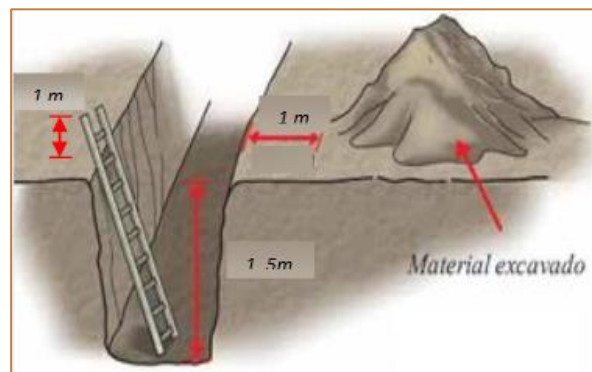


FIGURA 2.8 Seguridad en la ejecución de obras de alcantarillado

(Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, 2014)

Adicionalmente, en el manual presentado por la EPMAPS, se establece un ancho mínimo de la zanja en función de la profundidad de la excavación, cuya tabla se presenta a continuación:

PROFUNDIDAD (M)	ANCHO MÍNIMO (M)
Hasta 0.75	0.50
Hasta 1.00	0.55
Hasta 1.30	0.60
Hasta 2.00	0.65
Hasta 3.00	0.75
Hasta 5.00	0.80

TABLA 2.1 Relación mínima ancho-profundidad en zanjas

(Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, 2014)

Entre las ventajas del uso de maquinaria para excavación encontramos que se pueden lograr profundidades de excavación mayores, dado al tamaño del brazo de la maquinaria pesada, siendo este trabajo más seguro ya que no hay la necesidad de que personas ingresen a la zona de excavación. Además, es muy eficiente al tener la necesidad de realizar excavaciones con pendientes.

Sin embargo, para cortes mayores a 1,5 m de profundidad, o incluso menor profundidad según el tipo suelo y sus características, es necesario colocar sistemas de protección para evitar el desmoronamiento del material a los lados; el clima, vibraciones causadas por el tráfico y presión proveniente de cargas cercanas ocasionan inestabilidad en los suelos.

Tipos de sistemas de protección en zanjas

- Sistema de declive o escalonado

Este sistema no necesita de equipo especial para soportar el suelo, sino que se basa principalmente en la forma en la que se realiza la excavación. El sistema de declive es un corte angular, mientras que el sistema escalonado tiene un corte en forma de escalones. El ángulo usado en los dos sistemas está basado en la clasificación del suelo, mientras más plano o llano sea el ángulo, mayor protección tienen los trabajadores y existe menor riesgo de que el material ceda.

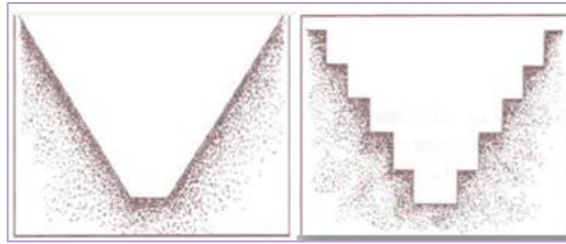


FIGURA 2.9 Sistema de declive y escalonado

(UIDE, 2016)

- Sistema de apuntalamiento

Este sistema está diseñado para evitar derrumbes mediante la utilización de tablonces los cuales soportan las paredes con puntales verticales llamados postes. Los tablonces son pistones horizontales a lo largo de la pared de la zanja apuntalada, mientras que, las abrazaderas de cruz son soportes colocados horizontalmente entre las paredes de las zanjas.

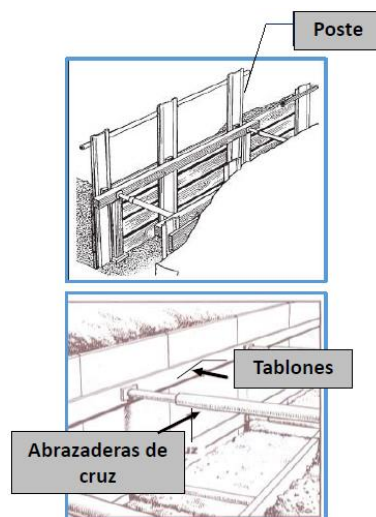


FIGURA 2.10 Sistema de apuntalamiento

(UIDE, 2016)

- Sistema de broquelado

El principal objetivo de este sistema es la protección y seguridad de los trabajadores. Se trata de protectores tipo cajones de zanjas o broqueles de zanjas los cuales pueden ser prefabricados o construidos “in situ” bajo especificaciones de expertos. Los broqueles son usualmente estructuras portátiles de acero colocadas en zanjas mediante maquinaria pesada. El broquelado en zanjas con declives debe extenderse al menos 45 cm por encima del declive de la excavación.



FIGURA 2.11 Sistema de broquelado

(UIDE, 2016)

2.3.2. Tipos de maquinaria de excavación para zanjas de alcantarillado

La elección de la maquinaria pesada a utilizar para la excavación de zanjas de alcantarillado está directamente relacionada con el tipo de suelo y la profundidad a excavar. La implementación de la misma, para la ejecución de este tipo de obras, busca mejorar el rendimiento, disminuir mano de obra y reducir tiempos de trabajo, además de cuidar la salud de los trabajadores.

Entre la maquinaria de construcción convencionalmente utilizada para realizar obras de alcantarillado, destacan las siguientes: excavadora, retro excavadora y mini cargadora.



FIGURA 2.12 Maquinaria de construcción

(CATERPILLAR, 2017)

2.3.3. Excavadora

La excavadora es una máquina que sirve principalmente para trabajos de carga estacionaria, usualmente montada sobre orugas, neumáticos y camiones.

Dado a su capacidad de giro de 360°, realizan cuatro operaciones esenciales: excavar, cargar, descargar y empujar material. Además, tiene la capacidad de sustituir sus accesorios, como el brazo o cables, dándole la capacidad de ejecutar más operaciones.

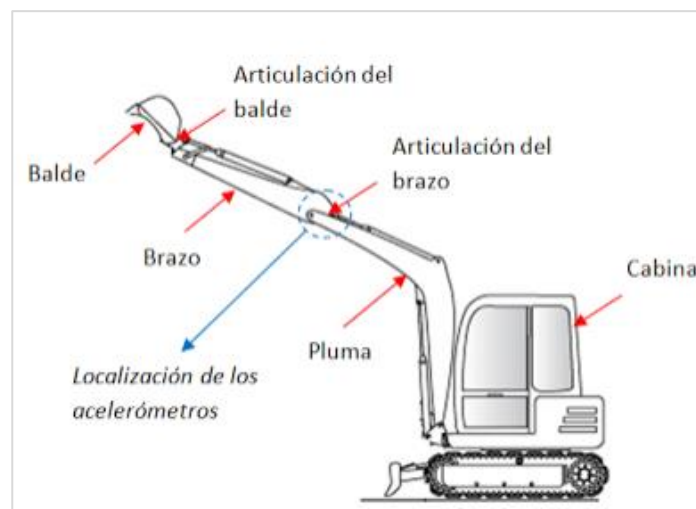


FIGURA 2.13 Partes de la excavadora

(Bravo, 2011)

Las excavadoras están constituidas principalmente de la unidad giratoria donde se encuentra la cabina metálica, apoyada sobre una plataforma de acero, en la cual se ubica el operador y desde ahí controla los movimientos de la maquinaria, la unidad de propulsión que le permite el desplazamiento de la misma a la zona de trabajo, y la estructura manipuladora la cual la conforman el brazo, la pluma y el cucharón.

Esta maquinaria tiene un gran impacto en la construcción ya que, realiza movimientos y operaciones necesarias para una gran cantidad de obras como son las excavaciones profundas, construcción de cunetas, zanjas, dragados de canales, cortes de talud, carga de material suelto, elevar objetos pesados, entre otros.

Por su versatilidad de equipo de trabajo, las excavadoras pueden ser:

- Excavadora de empuje frontal: Los dientes del cucharón se encuentran orientados hacia el exterior. Ideales para excavaciones de banco en altura, es decir por encima del plano del apoyo.
- Retroexcavadora: Los dientes del cucharón se encuentran orientados hacia la máquina. Su aplicación es en excavaciones por debajo del plano del apoyo, como son zanjas, excavación de cimientos para edificios, entre otros.
- Equipo de brazo telescópico: En la punta del brazo, tiene articulado un cucharón el cual puede hacer movimientos similares a la mano de una persona siendo muy útil en lugares de difícil acceso como pueden ser los rincones de obras, cuando existen obstáculos de árboles, etc.
- Equipo bivalva: Está conformada por una cuchara prensil compuesta por dos mandíbulas de acero las cuales cierran en un punto central entre ellas, accionadas por cilindros hidráulicos, su mayor utilidad se da para cargar el material excavado en grandes profundidades, como pueden ser en pantallas, pozos, pilotes, etc.
- Equipo de mandíbulas hidráulicas: Como su nombre lo indica, está conformada de una mandíbula hidráulica con dientes de acero, ideal para demoliciones sin que exista impacto de ruidos y vibraciones.
- Martillos Rompedores Hidráulicos (MRH): Su aplicación está en las demoliciones. Este debe suministrar la energía del golpe y frecuencia óptima según las características de la roca.

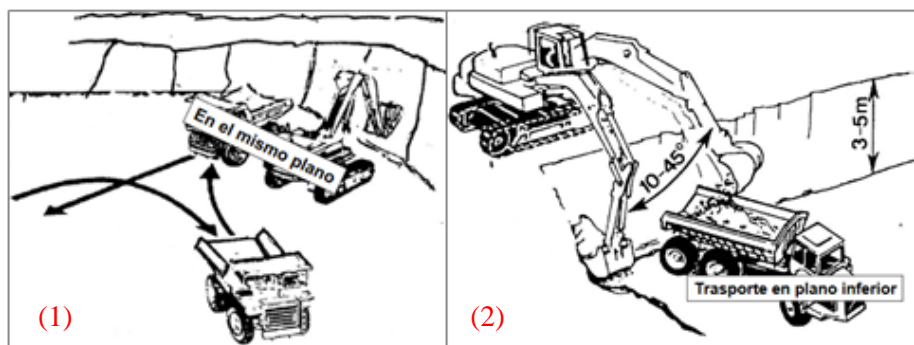


FIGURA 2.14 Excavadora de empuje frontal (1) y Retroexcavadora (2)

(Universidad de La Laguna)



FIGURA 2.15 Maquinaria de excavación en Construcción Metro de Quito

(Chiriboga, Construcción Metro de Quito, 2017)

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se tomará como maquinaria de excavación de zanjas de alcantarillado referente a una Retroexcavadora hidráulica montada sobre orugas de tipo de Operación Estándar.

CAPÍTULO III

TIPOS DE SUELOS EN TABABELA

3.1. Importancia de la Mecánica de Suelos

En la construcción, es fundamental tener conocimiento del tipo de suelo y sus características físicas y mecánicas antes de proceder con la obra, para esto, es necesario realizar estudios del mismo, tanto “in situ” como en laboratorio, extrayendo muestras y realizando los ensayos correspondientes.

Todas las obras de ingeniería se encuentran apoyadas en el suelo, e incluso, algunas lo utilizan como elemento de construcción, por lo que, es de suma importancia, conocer su estabilidad y comportamiento para evitar futuros problemas como producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, grandes deformaciones, fisuras, grietas e incluso desplomes de las estructuras.

A lo largo de la historia, ingenieros y científicos han planteado diversas teorías y metodologías para la identificación de suelos. Los doctores conocidos como Karl Terzaghi, conocido como el padre de la Mecánica de Suelos e Ingeniería geotécnica, y Ralph B. Peck, en los años 40, publicaron el libro “Mecánica Teórica de los Suelos” uno de sus mayores éxitos y, hasta ahora reconocido, A partir de esto, y con los estudios e investigaciones de distinguidos Ingenieros, han existido un sin número de publicaciones corroborando y aportando mayor información por lo que, se puede considerar que hoy en día se tiene una serie de manuales para identificar los diferentes tipos de suelos de la corteza terrestre, su comportamiento y sus características.

3.2. Formación de los suelos

Se entiende como suelo, en término geológicos, a las capas de material suelto sin consolidar que se encuentran desde la superficie hasta la roca sólida, las cuales se han ido formando por el intemperismo y la desintegración de las mismas rocas. Por otro lado, en términos ingenieriles, suelo es el material sobre el cual se construirá la obra en proyecto y este puede ser utilizado sin necesidad de perforaciones o voladuras.

Según (Terzaghi & Peck, 1971), *“Se llama suelo a todo agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad, como ser agitación en agua”*.

El origen de los suelos es, directa o indirectamente, las rocas sólidas. Estas se clasifican según su proceso de formación en:

- Rocas ígneas: formadas por el enfriamiento del magma, como el granito, dolerita, andesita, basalto, entre otras.
- Rocas sedimentarias: formadas en capas acumuladas por el asentamiento de sedimentos los cuales fueron transportados por vientos, ríos, mares, como por ejemplo la caliza, arenisca, lodolita.
- Rocas metamórficas: formadas por la modificación de rocas ya existentes debido a calor extremo como el mármol, o a altas presiones como la pizarra.

Según el origen de los elementos de los suelos, estos se dividen en dos grandes grupos:

- Suelo cuyo origen es el resultado de la descomposición física y química de las rocas, lo cual es conocido como el efecto del intemperismo, es decir que, por factores como son los cambios de temperatura, viento, lluvia, heladas y acción de la gravedad, han provocado que la roca se descomponga en partículas individuales. Si dicha descomposición se encuentra en el lugar de origen, se los denomina “suelo residual”, caso contrario se los conoce como “suelo transportado”, independientemente del agente transportador.
- Suelo cuyo origen es orgánico y usualmente es formado “in situ”. Un ejemplo son las turbas las cuales son producto de la descomposición de vegetales. Sin embargo, la expresión suelo orgánico se le atribuye a suelos transportados, correspondientes a la descomposición de rocas con contenido orgánico vegetal descompuesto.

3.3. Parámetros de identificación de los suelos

Para poder identificar y posteriormente clasificar un suelo, es necesario basarse en ciertos parámetros establecidos para cada tipo de suelo. A continuación se enuncian los conceptos fundamentales de algunos con los cuales nos basaremos para identificar los distintos tipos de suelos que intervienen en la presente investigación.

3.3.1. Contenido de humedad

Está definido como la relación entre el peso del agua existente en el suelo y el peso del suelo seco, normalmente expresado en porcentaje.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{peso del agua existente en el suelo}}{\text{peso del suelo seco}} * 100$$

3.3.2. Granulometría

El análisis granulométrico tiene como objetivo separar las partículas de suelo según sus distintos tamaños y, en porcentaje a su peso total, determinar la cantidad de partículas o granos que contiene. El método más directo de separarlos es mediante tamices con mallas de alambre con diferentes aberturas cuadradas. Dichos tamices son siete cedazos estándar especificados en la norma ASTM-C33. Los resultados del ensayo se los representa mediante un gráfico de curvas semilogarítmicas.

El intervalo de tamaños de partículas de suelos es muy amplio, sus dimensiones pueden variar desde unos 200 mm a 0.001 mm como es el caso de los coloidales.

Granos finos			Granos gruesos						Granos muy gruesos		
Limo	Arcilla		Arena			Grava			Piedra		
Coloides	fina	media	gruesa	fina	media	gruesa	fina	media	gruesa	guijarros	canto rodado
1	6	20	200	600		6	20			200	
	2		60			2			60		
	μm						mm				

FIGURA 3.1 Intervalo de tamaño de partícula del sistema British Standard

(Whitlow, 1994)

3.3.3. Límites de Atterberg

Conocidos también como límites de consistencia, son indicadores para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, sin embargo, Albert Atterberg plantea que la plasticidad no es una propiedad permanente en las arcillas, sino circunstancial, es decir que puede variar a lo largo del tiempo dependiendo de su contenido de humedad.

La plasticidad en materiales finos es una propiedad importante ya que, esta influye en la resistencia al corte y la compresibilidad, indicadores esenciales en la ingeniería, basándose en la consistencia plástica para la clasificación de los suelos.

Dado que la consistencia depende de la cantidad de agua que contenga el suelo, Atterberg define cuatro estados de consistencia para suelos cohesivos: sólido, sólido semiplástico, plástico y líquido. La transición de un estado al siguiente es gradual, lo que da lugar a los siguientes límites:

- Límite líquido (LL): corresponde a la frontera entre los estados semilíquido y plástico.
- Límite plástico (LP): corresponde a la frontera entre los estados plástico y semisólidos.
- Límite de contracción (LC): corresponde a la frontera entre los estados semisólidos y sólido.
- Límite de adhesión: definido como el contenido de agua con la cual las arcillas pierden su propiedad de adherencia con una hoja metálica.
- Límite de cohesión: definido como el contenido de agua con el cual las partículas pierdan su capacidad de adherirse entre sí.
- Límite de firmeza: límite para las arcillas extra sensitivas, define el límite para la posibilidad de licuación de las arcillas bajo causas no definidas. Se atribuye este límite cuando el contenido de agua sobre pasa el límite líquido.

Además, definió la diferencia entre los valores de los límites de plasticidad como índice plástico (IP) el cual relaciona la cantidad de arena añadida, siendo esta la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

La relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad es utilizado en el Sistema Británico de Clasificación de Suelos para establecer subgrupos del material de tipo grano fino.

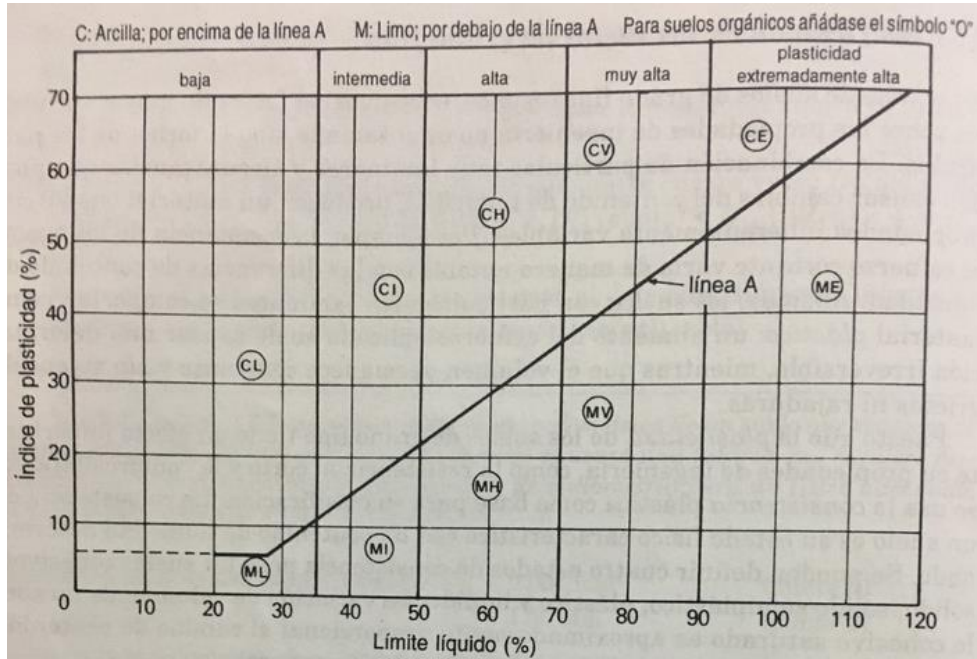


FIGURA 3.2 Carta de plasticidad para la clasificación de suelos finos

(Whitlow, 1994)

La nomenclatura utilizada por el Sistema Británico de Clasificación de Suelos es la siguiente:

	Letra principal	Letra secundaria
Suelos de granos gruesos	G = GRAVA	W = bien graduada
	S = ARENA	P = mal graduada
		Pu = uniforme
		Pg = graduación intermitente
Suelos de granos finos	F = FINOS	L = baja plasticidad
		I = plasticidad intermedia
	M = LIMO	H = alta plasticidad
	C = ARCILLA	V = plasticidad muy alta
E = plasticidad extremadamente alta		
Suelos orgánicos	Pt = TURBA	O = orgánico

TABLA 3.1 Símbolos de subgrupos del Sistema Británico de Clasificación de Suelos

(Whitlow, 1994)

3.3.4. Densidad relativa

La densidad relativa es una de las propiedades más importantes de una arena, junto con la permeabilidad, ya que esta influye directamente en el ángulo de fricción interna, en su capacidad de carga y sobre el asentamiento de cimentaciones que se apoyan sobre estratos de arena.

Se utiliza el término densidad relativa para indicar la densidad “in situ” del suelo, es decir la soltura del suelo granular.

Es usual realizar perforaciones exploratorias donde se va a construir una obra con el fin de identificar los distintos estratos y las características de los mismos, por lo que, aprovechando dicho ensayo de penetración, podemos determinar la densidad relativa del suelo. A continuación, en la Tabla 3.2, se presenta la relación aproximada entre el número de golpes N y la densidad relativa.

DENSIDAD RELATIVA DE ARENAS DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NORMALES DE PENETRACIÓN	
<u>N° de golpes N</u>	<u>Densidad relativa</u>
0 - 4	muy suelta
4 - 10	suelta
10 - 30	medianamente densa
30 - 50	densa
mayor de 50	muy densa

TABLA 3.2 Densidad Relativa de Arenas

(Terzaghi & Peck, 1971)

En 1957, Meyerhof desarrolló una correlación para determinar la densidad relativa de un suelo en función del N_{spt} , el mismo que es corregido como $(N_1)_{60}$ para suelos granulares, ya que N_{spt} se ve afectada por la presión de sobrecarga efectiva del suelo:

$$Dr = \left(\frac{N_{60}}{17 + 24 \left(\frac{\sigma'_{o'}}{Pa} \right)} \right)^{0.5}$$

FÓRMULA 3.1 Densidad relativa

(Braja M. Das., 2014)

Donde:

Dr: Densidad relativa del suelo

$\sigma'o$: Presión de sobrecarga efectiva del suelo

$$\sigma'o = \gamma * h$$

γ : peso unitario del suelo

h: altura del estrato

Pa: Presión atmosférica ($\cong 100 \text{ kN/m}^2$)

N60: N corregido

$$N60 = \frac{N * hH * hB * hS * hR}{60}$$

Variación de ηH, ηB, ηS, ηR					
Variación de ηH					
País	Tipo de martinete	Liberación del martinete	ηH	Variación ηR	
Japón	Toroide	Caída libra	78	Longitud de la barra (m)	ηR
	Toroide	Cuerda y polea	67		
Estados Unidos	De seguridad	Cuerda y polea	60	> 1.00	1.0
	Toroide	Cuerda y polea	45	6 - 10	1.0
Argentina	Toroide	Cuerda y polea	45	4 - 6	0.9
China	Toroide	Caída libra	60	0 - 4	0.8
	Toroide	Cuerda y polea	50		
Variación de ηS			Variación de ηB		
Variable			ηS	Diámetro (cm)	ηB
Muestreador estándar			1.0	60 - 120	1.00
Con recubrimiento para arena y arcilla densa:			0.8	150	1.05
Con recubrimiento para arena suelta			0.9	200	1.15

TABLA 3.3 Variación de ηH , ηB , ηS , ηR

(Braja M. Das., 2014)

$$(N1)_{60} = CN * N_{60}$$

FÓRMULA 3.2 $(N1)_{60}$

(Braja M. Das., 2014)

Donde:

C_N : Factor de corrección

$$CN = \left[\frac{1}{\frac{\sigma'_{\sigma}}{Pa}} \right]^{0.5}$$

Mediante el valor de la densidad relativa, se puede determinar la trabajabilidad del suelo, utilizando la Tabla 3.4 expuesta por Lambe & Whitman:

Dr (%)	Descripción
0 - 15	Muy suelto
15 - 50	Suelto
50 - 70	Medianamente denso
70 - 85	Denso
85 - 100	Muy denso

TABLA 3.4 Descripción del suelo según la densidad relativa

(Lambe & Whitman, 1972)

3.3.5. Compresión simple

El ensayo de compresión simple tiene como objetivo principal encontrar el valor de la carga última del suelo por lo que se le aplica una carga axial hasta su rotura, se relaciona directamente con la resistencia al corte del suelo, y se lo realiza únicamente en materiales cohesivos como es el caso de las arcillas.

Generalmente, en estratos homogéneos de arcilla, la resistencia a la compresión aumenta paulatinamente con la profundidad, no obstante existen algunas excepciones.

Al realizar perforaciones de exploración, es posible determinar un aproximado de la resistencia a la compresión según el ensayo de penetración, sin embargo, pasado un determinado número de golpes N, la dispersión puede ser muy grande por lo que, se

recomienda realizar ensayos de compresión simple de las muestras extraídas con la cuchara normal.

En la Tabla 3.5, se presenta la relación aproximada entre el número de golpes N , la resistencia a la compresión simple q_u , y la consistencia de arcillas.

TABLA 11
RELACIÓN ENTRE CONSISTENCIA DE ARCILLAS, NÚMERO DE GOLPES N DE LA CUCHARA NORMAL Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE
 q_u en kg/cm²

Consistencia :	Muy blanda	Blanda	Medianamente compacta	Compacta	Muy compacta	Dura
N :	< 2	2-4	4-8	8-15	15-30	> 30
q_u :	< 0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-2,00	2,00-4,00	> 4,00

TABLA 3.5 Relación entre Consistencia de arcillas, Número de golpes N de la cuchara normal y Resistencia a la Compresión simple q_u .

(Terzaghi & Peck, 1971)

3.4. Clasificación de Suelos

Como se detalla anteriormente, existen diversos parámetros para identificar un tipo de suelo, sin embargo, si los evaluamos individualmente, dicha clasificación no puede ser la correcta ya que, para caracterizar un suelo, es necesario hacer una variedad de ensayos, tanto en campo como en laboratorio.

Dada la amplia presencia de distintos tipos de suelos en la corteza terrestre, se han establecido normas internacionales para unificar su clasificación, siendo la norma SUCS y la norma AASTHO las que nos definen más específicamente de qué suelo se trata según sus características.

“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. En la actualidad, dos elaborados sistemas de clasificación que utilizan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos son comúnmente utilizados para aplicaciones ingenieriles. Se trata del American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)”. (Braja M. Das., 2014)

La correcta clasificación permite al profesional tener una idea clara del comportamiento del suelo sobre el cual se construirá una obra. Es importante porque así se podrán evitar problemas futuros como asentamientos, problemas de flujo, estabilidad, entre otros.

3.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS

En 1948, Arturo Casagrande propuso este sistema para uso en los trabajos de construcción realizados durante la Segunda Guerra Mundial. En 1952, el sistema fue revisado en colaboración con el U.S. Bureau of Reclamation. Actualmente, es uno de los sistemas más utilizado por geólogos e ingenieros de todo el mundo (Norma ASTM D-2487).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se fundamenta en la granulometría y los límites de Atterberg, clasificando a los suelos en dos grandes categorías:

- Suelos de grano grueso

Corresponden al porcentaje de al menos el 50% del material que pasa a través del tamiz #200. En este grupo se encuentra la grava y arena en estado natural.

Fracción gruesa = % retenido tamiz #200

Fracción grava = % retenido tamiz #4

G = Grava o suelo gravoso

Fracción arena = (% retenido tamiz #200) – (% retenido tamiz #4)

S = Arena o suelo arenoso

- Suelos de grano fino

Corresponden al porcentaje con 50% o más que pasa a través del tamiz #200 y, este a su vez, se sub clasifica utilizando los límites de Atterberg (FIGURA 3.2 Carta de Plasticidad). Aquí se encuentran los limos y arcillas, orgánicas e inorgánicas, además de la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos.

Fracción fina = % pasa tamiz #200

M = Limo inorgánico

C = Arcilla inorgánica

O = Limo y arcillas orgánicas

Pt = Turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos

DIVISION PRINCIPAL		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION	
SUELOS DE GRANOS GRANESOS 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	GRÁVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ Mayor que 4 $C_c = \frac{D_{30}}{D_{10} \times D_{60}} < 5$ Entre 1 y 3 Si los criterios para GW no se cumplen	
		GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos		
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo		
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla		
	ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	ARENAS LIMPIAS	SW	Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ Superior a 6 $C_c = \frac{D_{30}}{D_{10} \times D_{60}} < 5$ Entre 1 y 3 Si no se cumplen los criterios para SW
			SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos	
		ARENAS CON FINOS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Para los límites de Atterberg localizados en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
	SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más pasa por el tamiz No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido de 50% o inferior	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla	
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido superior a 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos	
CH			Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas		
OH			Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media		
Suelos altamente orgánicos	PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos	Para la identificación visual y manual, véase ASTM norma D 2488		

TABLA 3.6 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

(Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 1976)

3.4.2. American Association of State Highway Officials - AASHTO

En 1929, este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras; ha sido revisado un sin número de veces hasta que, en 1945, la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras, la incluyeron en la Norma ASTM D-3282 método AASHTO M145. (Braja M. Das., 2014)

El sistema de clasificación AASHTO organiza a los diferentes tipos de suelos en 7 grupos principales: A-1 a A-7, basándose en la granulometría del material, la plasticidad y si se encuentra cantos o guijarros, los cuales se detallan a continuación:

- Material que pasa el 35% o menos de su totalidad el tamiz #200
Corresponden a los materiales granulares. Aquí se encuentran:
 - A-1: mezcla bien graduada de gravas y arena fina y gruesa
 - A-3: suelos conformados por arena fina de playa o duna
 - A-2: suelos con gran cantidad de finos con muy alta plasticidad
- Material que pasa más del 35% de su totalidad el tamiz #200
Corresponden a los materiales finos, principalmente a limos y arcillas. Aquí se encuentran:
 - A-4: suelo limoso no plástico o moderadamente plástico
 - A-5: suelo similar al grupo A-4, sin embargo su límite líquido es muy alto lo que los convierte en suelos muy compresibles
 - A-6: suelo arcilloso plástico
 - A-7: suelos altamente compresibles

Clasificación general	Materiales granulares (35% ó menos pasa el tamiz N.200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz N. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, porcentaje que pasa											
2.00 mm (N. 10)	50 max.	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
0.425 mm (N. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	----	----	----	----	----	----	----	----
0.075 mm (N. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características fracción que pasa el tamiz N. 40											
Límite Líquido	----	----	----	40 max.	41 max.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	6 max.	----	N.P.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Material constituyente más común	Fragmento roca grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas y limosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Comportamiento general como subrasante	Excelente a bueno							Regular a malo			

TABLA 3.7 American Association of State Highway Officials (AASHTO)

(ASTM Internacional, 2015)

3.5. Parroquia de Tababela

La Misión Geodésica Francesa, en 1736, al momento de realizar triangulaciones y mediciones para comprobar la redondez de la tierra, dan cuenta de la asombrosa planicie del terreno y lo asemejan a una “Taba bella” en palabras francesas, y, que aproximándolo al español sería Tabla bella, originando el nombre de Tababela.

Perteneciente a la parroquia de Yaruquí, Tababela era un caserío por aproximadamente 212 años y, mediante sus pobladores, se realiza la gestión para que se la pueda “independizar” y categorizarla como parroquia.

Tababela es una de las 33 parroquias rurales existentes en la ciudad de Quito, acuñando dicha denominación, considerando que reúne todas las condiciones para denominarse como tal, el 13 de junio de 1952.

3.5.1. Aspectos físicos

Tababela se encuentra en la República del Ecuador, en la provincia de Pichincha. Ubicada al Nororiente, aproximadamente a 25 km de la ciudad de Quito, entre los meridianos 78 y 79 Longitud Occidental y entre el paralelo 0 y 1 de Longitud Sur, esta parroquia rural tiene una superficie aproximada de 25.40 km², a una altura de 2415 msnm encontrándose el punto más alto a 2519 msnm. El clima predominante es el cálido – seco, se registra una temperatura promedio de 17° C; los pisos climáticos en los que se ubica la parroquia de Tababela son: Meso térmico Seco y Ecuatorial Meso térmico Semi-húmedo, debido a esto, se considera una humedad relativa que varía entre los 700 y 800mm.

Sus límites naturales son:

- Al norte: Río Uravía, Parroquia de Guayllabamba,
- Al sur: Parroquia de Pifo
- Al este: Quebrada de Santa Rosa, Parroquia de Yaruquí y,
- Al oeste: Río Guambi, Parroquias de Puembo y Llano Chico

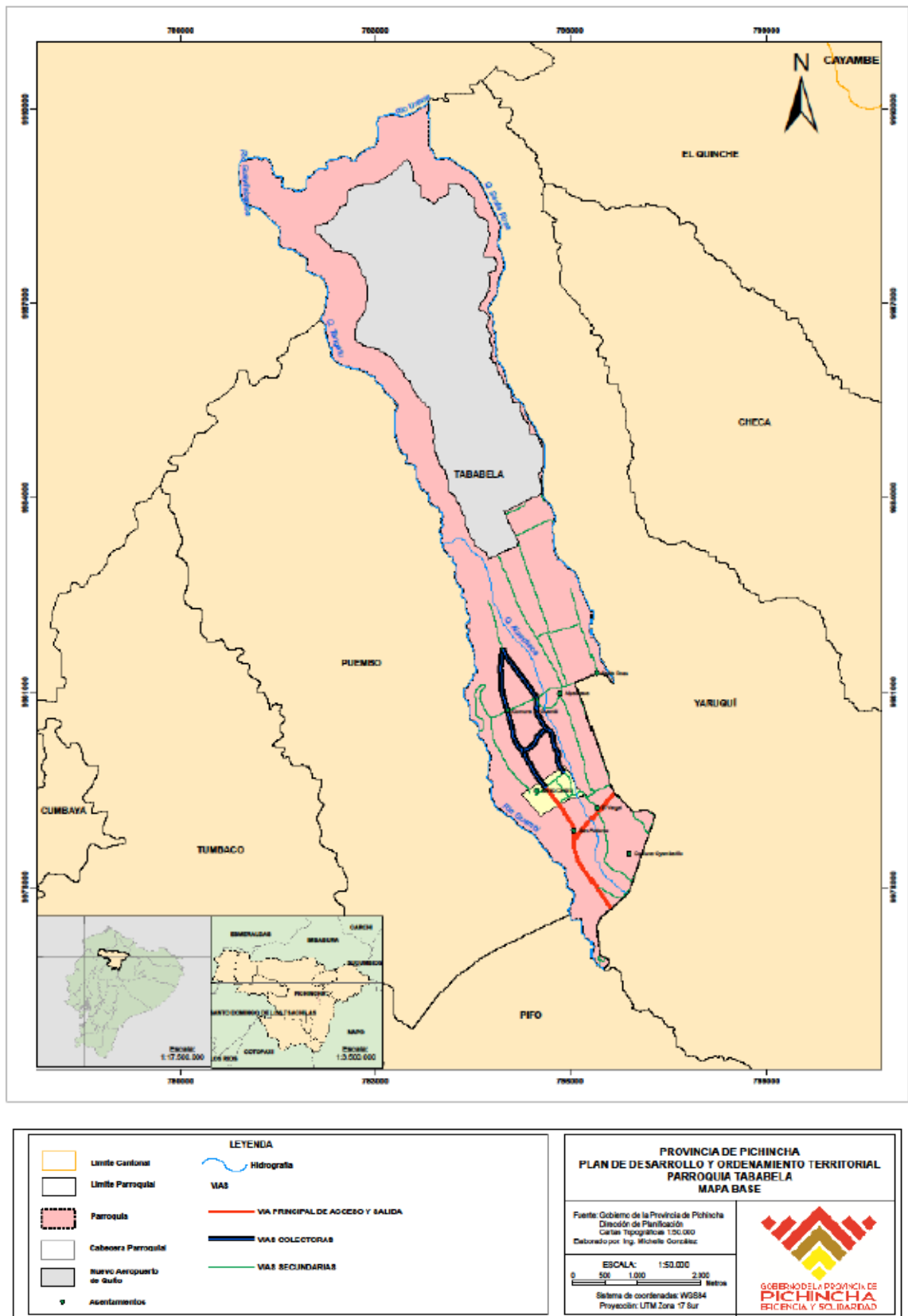


FIGURA 3.3 Mapa geográfico de la parroquia de Tababela

3.5.2. Demografía

La parroquia de Tababela ha tenido un crecimiento importante a causa de la construcción del nuevo aeropuerto; según datos del INEC (Instituto Nacional De Estadísticas y Censos), en el último censo realizado en el 2010, el número de mujeres era de 1588 y el de hombres de 1563, dando un total de población de 3151 personas; pero, según proyecciones realizadas por el mismo Instituto en el mismo año de dicho censo, para el presente año, 2017, habrá una población de 3293 personas. Cabe recalcar que, Tababela es la población que menos pobladores posee con respecto a parroquias circundantes.

3.5.3. Geología

En cuanto a las características de la corteza terrestre y el subsuelo de la parroquia de Tababela, la afloración geológica más representativa es la Cangahua sobre sedimentos Chichi con un 69% de existencia en el territorio, siguiendo otros datos obtenidos del PPDOT (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquial de Tababela) los cuales mostramos a continuación:

Alerta	Ubicación	Afectaciones principales	Descripción
Amenaza por movimiento en masa: BAJA	Oyambarillo Tababela, El vergel Bajo, Santa Rosa, Aeropuerto de Quito-Tababela	Puede producirse soliflucción de material	Zonas con suelos, pendientes y geología estables aun ante fenómenos intensos y extensos con precipitación.
Amenaza por movimiento en masa: MEDIA	San Agustín de NvAer, Guambi, Central Tababela, San Antonio.	El material se inestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas y/o extensas así como a la acción de la precipitación de la zona.	Zonas con materiales muy poco o nada fracturados, con pendientes de 30 a 50 %
Amenaza por movimiento en masa: ALTA	Cabecera Nor-este y cercanías de la quebrada de Santa Rosa	En suelos poco cohesivos y en rocas meteorizadas, fracturadas o de tipo de discontinuidad, acelerado por las precipitaciones de la zona	En zonas con pendientes de 50% a 100%.
Amenaza por movimiento en masa: MUY ALTA	Límite noroeste de la parroquia – en las quebradas del Río Uravía, Guallabamba y Guambi.	Suelos no consolidados y rocas muy meteorizadas y fracturadas, acelerado por factores climáticos, sismos técnicos y antrópicos.	En zonas con Pendientes mayores a 100%.

TABLA 3.8 Geología de la Parroquia de Tababela

(Capservs Medios Cía. Ltda., 2015)

3.5.4. Geomorfología

Al mencionar los relieves existentes en Tababela, encontramos valles fluviales, mesetas volcánicas y derivadas de estas, entre otras, mismas que se muestra a continuación:

RELIEVE	PENDIENTE %	LOCALIZACIÓN	ALTURA
Valle fluvial	2 > 5 %	Sector parte norte de San Agustín Nvear	2040 msnm
Coluvión Antiguo	12 > 25%	Sector San Agustín Nvear	2260 - 2280 msn
Superficie De Meseta Volcánica	2 > 5 %	Sector San Agustín Nvear, Sta. Rosa Baja y El Vergel Bajo	2460 - 2480 msnm
Vertiente de Meseta Volcánica	40 > 70 %	Sector Comuna Guambi, Centralidad de Tababela y San Antonio de Oyambarillo	2000 - 2040 msnm
Vertiente de Meseta Volcánica	25 > 40 %	Sector parte Noreste de San Agustín Nvear	2000 - 2040 msnm
Coluvión Aluvial Antiguo	5 > 12 %	Sector San Agustín Nvear, Comuna Guambi, parte central de Tababela y San Antonio	2480msnm
Garganta	12 > 25 %	Sector Comuna Guambi, Sta. Rosa Bajo, El Vergel, Central de Tababela y El Vergel Bajo	2460 - 2480 msnm
Vertiente de Meseta Volcánica	40 > 70 %	Sector parte Noreste de San Agustín Nvear	2420 msnm
Superficie De Meseta Volcánica	2 > 5 %	Sector Comuna Guambi y Centralidad de Tababela	2440 msnm
Vertiente de Meseta Volcánica	40 > 70 %	Sector parte Noreste de San Agustín Nvear y Sta. Rosa Bajo	2460 msnm
Vertiente de Meseta Volcánica	70 > 100 %	Sector parte Noreste de San Agustín Nvear	2420 msnm
Superficie Disectada de Meseta Volcánica	5 > 12 %	Sector, El Verbel Bajo, El Vergel y San Antonio de Oyambarillo	2500 - 2540 msnm

Relieve Volcánico Colinado Alto	25 > 40 %	Sector San Agustín Nvear	2040 - 2460 msnm
Coluvión Aluvial Antiguo	5 > 12 %	Sector Sta. Rosa Bajo y San Agustín Nvear	2380 msnm
Valle fluvial	2 > 5 %	Sector parte Norte y Noreste de San Agustín Nvear	2000 - 2040 msnm
Terraza Baja y Cauce Actual	2 > 5 %	Sector parte Norte San Agustín Nvear	2040 msnm
Relieve Volcánico Colinado muy Alto	70 > 100 %	Sector San Agustín Nvear	2040 msnm
Vertiente de Meseta Volcánica	70 > 100 %	Sector San Agustín Nvear, Comuna Guambi, Centralidad de Tababela y San Antonio de Oyambarillo	2000 - 2400 msnm
Coluvión Aluvial Antiguo	2 > 5 %	Sector parte norte de San Agustín Nvear	2040 msnm

TABLA 3.9 Geomorfología de la Parroquia de Tababela

(Capservs Medios Cía. Ltda., 2015)

En general, el relieve de la parroquia de Tababela queda definido de la siguiente manera;

- 0 – 5 % Débil, plano, casi plano.
- 5 – 12 % Inclinación regular, suave o ligeramente ondulada.
- 70 % Abruptas, montañoso.

3.5.5. Uso Ocupacional del suelo

Los suelos en la parroquia de Tababela eran utilizados netamente para la agricultura, sin embargo, por la construcción del nuevo aeropuerto esto ha cambiado, hay un incremento en la utilización del mismo para construcciones de tipo industrial y varias más.

La cobertura del suelo es la de equipamiento o de tipo industrial, se muestra un cuadro a continuación:

COBERTURA	PRINCIPALES USOS	OBSERVACIONES	PRINCIPALES CAMBIOS
San Antonio, Cabecera cantonal, Comuna Guambi	Centralidad	Cambio de uso de suelo	Considerados terrenos agrícolas, que actualmente ya no son utilizados para la agricultura
Comunidad Oyambarillo, El Vergel, Alpachaca y Santa Rosa	Cultivos de ciclo corto	Continúa siendo tierras cultivables pero sus producción es mínima	Los cultivos ya no son intensivos,
Aeropuerto	Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre – Quito	Los terrenos que eran de uso agrícola cambiaron su uso de suelo	Los terrenos ya no son de uso agrícola
Noroeste de Tababela, zona limítrofe río Guambi	Zona de vegetación arbustiva y cultivos de ciclo corto	Continúa siendo tierras cultivables pero sus producción es mínima	Únicamente cultivos de ciclo corto

TABLA 3.10 *Uso ocupacional del suelo en la parroquia de Tababela*

(Capservs Medios Cía. Ltda., 2015)

3.5.6. Tipos de Suelo en Tababela

La mayor parte del suelo es de tipo Entisol, representado con un 49.55%, con combinaciones de suelo Misceláneo. A continuación, se presenta un cuadro con la composición y profundidad de los tipos de suelo:

Tipo de Suelo			
TIPO	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE KM ²	%
Inceptisoles	Suelos jóvenes poco desarrollados en los que al comienzo o principio del desarrollo del perfil es evidente	803	31,81
Entisol	Son suelos jóvenes con un desarrollo limitado que exhiben propiedades de la roca madre. La productividad oscila entre los niveles muy altos para algunos suelos formados en depósitos fluviales recientes a niveles muy bajos para los que se forman en la arena voladora en las laderas.	868	34,9
Área en proceso de urbanización		22	0,88
Suelo Misceláneo	Misceláneos de diferentes naturalezas. Es decir, sectores en los que no hay suelo o bien es incipiente. También puede tratarse de sectores inaccesibles con pendientes muy pronunciadas en los cuales los suelos son de escaso desarrollo.	809	32,07
TOTAL		2.524	100

TABLA 3.11 *Tipo de Suelo en la Parroquia de Tababela según el PDyOT Tababela 2012*

(Capservs Medios Cía. Ltda., 2015)

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se solicitan los resultados de los estudios de suelos realizados por el Laboratorio de Suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en la Parroquia de Tababela, con lo que luego de una profunda investigación sobre registros encontrados desde el año 2009 hasta la fecha, se concluye que existen tres principales tipos de suelos: limo arenoso, arena limosa y, en su menoría, arcillas de baja plasticidad; los mismo que son detallados a continuación en la siguiente Tabla 3.12.:

FECHA	REGISTRO No.	LUGAR	PROYECTO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	SUCS	ESTRATOS	
2009	S 1363	Tababela	Nuevo Aeropuerto Internacional Quito	limo arenoso color café claro	ML	N/A	
2009	S 1262	Tababela (Barrio Morachupa)	Torre de Transmisión Eléctrica Tababela	arcilla de baja plasticidad, color café claro, consistencia dura	CL	1	0 - 4m
				limo arenoso de baja plasticidad, color café, consistencia dura	ML	2	3m - 7m
2010	S 1645	Tababela	Vivienda Familiar de 2 plantas	limo arenoso, color café oscuro muy húmedo	ML	1	1m - 2,50m
				arena fina limosa no plástica, color café oscuro, muy húmeda	SM	2	3m - 3,50m
				arena fina limosa no plástica, color café oscuro, muy húmeda, con presencia de pómez	SM	3	4m - 5,50m
				arena de grano medio limosa no plástica, color café oscuro, muy húmeda, con presencia de pómez	SM	4	6m - 6,50m

TABLA 3.12 Tipos de Suelo en la Parroquia de Tababela

Donde,

FECHA:	Año en el que se realizó el estudio
REGISTRO No.:	Número de registro utilizado por el laboratorio para la identificación de dicho estudio
LUGAR:	Lugar donde se realizó el estudio
PROYECTO:	Proyecto que se construirá en el terreno donde se realizó el estudio
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Descripción de las características físicas del suelo
SUCS:	Nomenclatura del suelo según el Sistema de Clasificación S.U.C.S.
ESTRATOS:	Espesor del estrato de suelo encontrado

3.6. Normativa para excavación de suelos

Como se comentó anteriormente, mediante la correcta clasificación se puede percibir el comportamiento que tendrá el suelo al momento de alterar su estado natural, en este caso, tenemos conocimiento de los tipos de suelos y sus características presentes en la Parroquia de Tababela. Sin embargo, existen normas que rigen en el Ecuador para la excavación de zanjas de alcantarillado, las cuales especifican ciertos parámetros, técnicos y de seguridad, a tomar en cuenta al momento de realizar excavaciones, siendo estas dos principales:

3.6.1. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-2002

Según el TOMO 1 del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 publicado por el Ministerio de Obras Públicas, en la sección 307: Excavación y Relleno para Estructuras, especifica que:

“(…) Todas las excavaciones se harán de acuerdo con los alineamientos, pendientes y cotas señaladas en los planos o por el Fiscalizador.

Antes de ejecutar la excavación para las estructuras, deberán realizarse, en el área fijada, las operaciones necesarias de limpieza, de acuerdo a la subsección 302-1.

Después de terminar cada excavación, de acuerdo a las indicaciones de los planos y del Fiscalizador, el Contratista deberá informar de inmediato al Fiscalizador y no podrá iniciar la construcción de cimentaciones, alcantarillas y otras obras de arte hasta que el Fiscalizador haya aprobado la profundidad de la excavación y la clase de material de la cimentación. El terreno natural adyacente a las obras no se alterará sin autorización del Fiscalizador.

307-2.04. Excavación para alcantarillas.-

El ancho de la zanja que se excave para un alcantarilla o un conjunto de alcantarillas estará de acuerdo a lo indicado en 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 1.00 m. El material removido de esta sobre-excavación será reemplazado con material de relleno para estructuras, que será compactado por capas de 15 cm. de espesor, conforme a lo estipulado en la subsección 305-2 hasta alcanzar el nivel de cimentación fijado.

Si el material de cimentación no constituye un lecho firme debido a su blandura, esponjamiento y 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 m. de espesor, conforme a lo estipulado en la subsección 305-2 hasta alcanzar el nivel de cimentación fijado.

307-2.06. Relleno de estructuras.-

Luego de terminada la estructura, la zanja deberá llenarse por capas con material de relleno no permeable el material seleccionado tendrá un índice plástico menor a 6 y cumplirá, en cuanto a su granulometría, las exigencias de la Tabla 307-2.1.

El material de relleno se colocará a ambos lados y a lo largo de las estructuras en capas horizontales de espesor no mayor a 20 cm. Cada una de estas capas será humedecida u oreada para alcanzar el contenido óptimo de humedad y luego compactada con apisonadores mecánicos aprobados hasta que se logre la densidad requerida. No se permitirá la compactación mediante inundación o chorros de agua.” (Ministerio de Obras Públicas, 2002)

En el TOMO 2 del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 publicado por el Ministerio de Obras Públicas, en el Capítulo 600: Instalaciones de Drenaje y Alcantarillado, se especifica que:

“La tubería deberá ser instalada en una zanja excavada con alineación y pendiente indicadas en los planos o establecidas por el Fiscalizador.

El fondo de la zanja deberá ser conformado y compactado de tal manera que provea una base sólida y uniforme a todo lo largo del tubo.

604-3.Excavación y relleno.-

Dependiendo de la estabilidad del suelo y de la profundidad a la que se debe instalar la tubería, la zanja deberá ser lo suficientemente ancha para permitir a los instaladores trabajar en condiciones de seguridad. A criterio del Fiscalizador y siguiendo las recomendaciones del fabricante se tomarán precauciones para asegurar la estabilidad de las paredes de la zanja. A partir d 2.50 m. de profundidad, independientemente de la estabilidad del suelo y de la forma de la zanja, se recomienda utilizar apuntalamiento.” (Ministerio de Obras Públicas, 2002)

3.6.2. Especificaciones Técnicas de la Empresa de Alcantarillado y Agua Potable de Quito

La Parroquia de Tababela es una de las 33 parroquias pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito por lo que las obras de alcantarillado que se realicen se basarán en las Especificaciones Técnicas de la Empresa de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, en las cuales especifica respecto a las excavaciones que:

“La excavación será efectuada de acuerdo con los datos señalados en los planos, en cuanto a las alineaciones, pendientes y niveles, excepto cuando se encuentren impedimentos 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 considera un ancho de zanja no mayor que el diámetro exterior más 0.80 m., la profundidad mínima para zanjas de alcantarillado y agua potable será 1.20 m. más el diámetro exterior del tubo.

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 la 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, este será por cuenta del 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”. (EPMAAP Q -20-2010;, 2010)

CAPÍTULO IV

EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE CONTRUCCIÓN

4.1. Conceptos fundamentales

- Potencia

Es la capacidad de realizar una actividad en un determinado tiempo. Es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.

$$P = \frac{dW}{dt} \Rightarrow P = F * v$$

FÓRMULA 4.1 Potencia

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Donde:

P: Potencia

W: Trabajo

t: Tiempo

F: Fuerza

v: Velocidad

- Potencia nominal

Es la potencia dada por el fabricante. Es la máxima potencia que la máquina demandará en condiciones ideales.

- Potencia disponible

Es la capacidad que tiene una máquina para ejecutar un trabajo a una velocidad específica, por lo que, se debe tomar en cuenta el tiempo que demora moviéndose y realizando dicha actividad.

- Potencia utilizable

Es la potencia limitada principalmente por el peso de la superestructura de la maquinaria sobre el tren de rodaje. Se consideran las restricciones impuestas por las condiciones del trabajo, siendo dos factores fundamentales: altitud y agarre.

- Potencia necesaria

Es la potencia mínima requerida para mover la maquinaria. Se consideran las condiciones del suelo las cuales dificultan la transferencia de potencia disponible de modo efectivo. Los factores que influyen son: resistencia a la rodadura y resistencia a la pendiente.

- Rendimiento

Es la relación, expresada en porcentaje, entre el trabajo útil realizado por la maquinaria y el trabajo total que se debió realizar la misma, en un intervalo de tiempo determinado.

$$R (\%) = \frac{W_u}{W_t} * 100$$

FÓRMULA 4.2 Rendimiento

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Donde:

R: Rendimiento de la maquinaria

Wu: Trabajo útil

Wt: Trabajo total

- Productividad

Es la cantidad de unidades de una tarea específica producida en un tiempo específico, usualmente se toma como referencia de unidad de tiempo a una hora.

- Eficiencia mecánica

Es la relación entre la Potencia útil y la Potencia total de la maquinaria al realizar una determinada actividad en un periodo de tiempo.

$$n = \frac{Pu}{Pt}$$

FÓRMULA 4.3 Eficiencia

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Donde:

n: Eficiencia

Pu: Potencia útil

Pt: Potencia total

4.2. Importancia del cálculo de la Eficiencia

El éxito de la construcción de un proyecto está relacionado directamente con la correcta programación de obra, es decir, definir un estimado muy aproximado de tiempo que tomará ejecutar las distintas actividades involucradas, por lo que, para los profesionales de la construcción, es de suma importancia tener el conocimiento de la eficiencia de la maquinaria que van a utilizar al momento de desempeñar una actividad específica y, con este concepto, programar el flujo de actividades.

Como se detalló anteriormente, el rendimiento de una maquinaria de construcción se define como la capacidad que tiene un equipo para realizar una determinada actividad, magnitud o volumen, en un tiempo determinado.

La eficiencia óptima de una máquina es la relación entre rendimiento y costo que como resultado nos dé el valor más económico por unidad de material movido.

Es importante recalcar que, en la elección de la maquinaria de construcción a utilizar, la dureza o consolidación del material a excavar implica un factor fundamental. No es lo mismo excavar una arcilla o un material poco consistente, para lo cual el uso de cualquier maquinaria, por pequeña que ésta sea, es eficiente al momento de operación, a excavar un material muy consistente o roca en el cual, la maquinaria a emplear deberá tener una capacidad mayor. (Díaz del Río, 2007)

4.3. Cálculo de la eficiencia de una excavadora para excavación de zanjas de alcantarillado

Al momento de elegir una maquinaria para que realice una actividad determinada y poder calcular la eficiencia de misma, se debe tener conocimiento de las especificaciones técnicas de la máquina las cuales son otorgadas por el proveedor.

Como maquinaria de excavación de zanjas de alcantarillado referente para el desarrollo del presente trabajo de investigación se tomará una Excavadora mediana modelo 320D.

En el Manual de Rendimiento Caterpillar (capítulo 4) encontramos características de los diferentes modelos de excavadoras que ofrece la marca, los cuales se deben conocer para poder calcular la eficiencia de los mismos. A continuación, se presentan algunas características importantes correspondientes a la excavadora modelo 320D:


MODELO		320D	
Fabricadas en	Japón, China, Indonesia, Brasil		
Potencia en el volante	103 kW	138 hp	
Peso en orden de trabajo*	20.300 kg	44.700 lb	
Capacidades del cucharón (colmado)	0,45-1,5 m ³	0,59-1,96 yd ³	
Modelo de motor	C6.4 ACERT		
RPM nominales del motor	1800		
Número de cilindros	6		
Calibre	102 mm	4"	
Carrera	130 mm	5"	
Cilindrada	6,4 L	391 pulg ³	
Caudal máx. de la bomba hidráulica del implemento a las RPM nominales	2 x 205 L/min	2 x 54 gpm	
			
Ajustes de las válvulas de alivio:			
Circuitos de implemento	35.000 kPa	5076 lb/pulg ²	
Circuitos de desplazamiento	35.000 kPa	5076 lb/pulg ²	
Circuitos de rotación	25.000 kPa	3630 lb/pulg ²	
Circuitos piloto	3900 kPa	566 lb/pulg ²	
Máxima tracción en la barra de tiro	206 kN	46.311 lb	
Velocidad máx. de desplazamiento a rpm nominales	2 veloc. desplazamiento		
	Baja: 3,5 km/h	2,2 mph	
	Alta: 5,5 km/h	3,4 mph	
Ancho de zapata estándar	600 mm	2'0"	
Longitud total de la cadena	4075 mm	13'4"	
Área de contacto con el suelo con zapatas estándar	4,26 m ²	6600 pulg ²	
Entrevía	2200 mm	7'3"	
Capacidad de llenado del tanque de combustible	410 L	108 gal. EE.UU.	
Sistema hidráulico (incluye el tanque)	260 L	69 gal. EE.UU.	

TABLA 4.1 Retroexcavadora mediana modelo 320D

(CATERPILLAR, 2010)



FIGURA 4.1 Excavadora mediana modelo 320D

(CATERPILLAR, 2017)

- Límites de alcance:

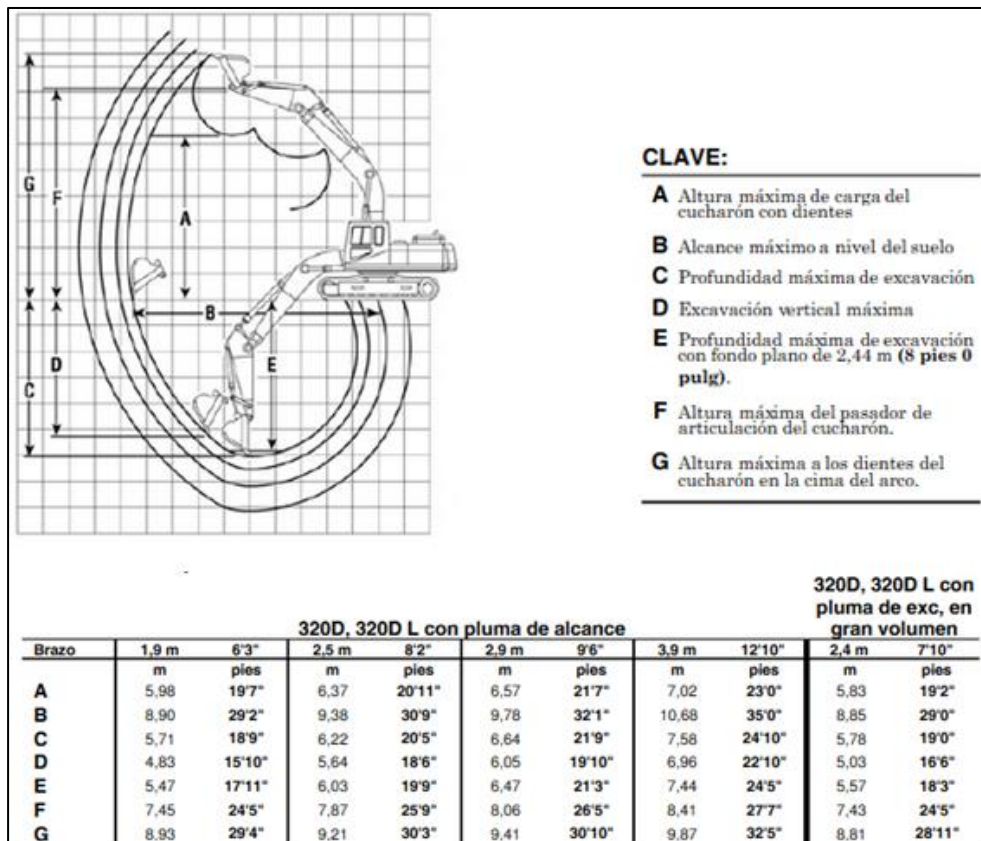


TABLA 4.2 Límites de alcance Excavadora 320D

(CATERPILLAR, 2010)

- Capacidad del cucharón:

Como se especifica en la Tabla 4.1, la capacidad del cucharón colmado es de 0.45 a 1.50 m³.

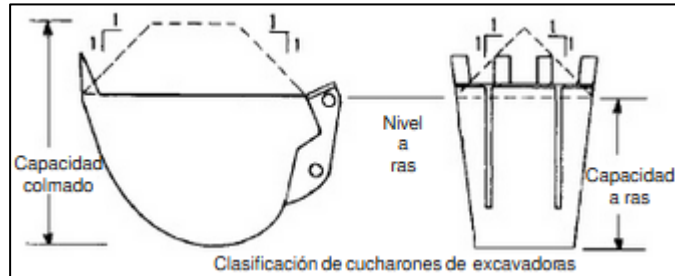


FIGURA 4.2 Capacidad del cucharón de excavadoras

(CATERPILLAR, 2010)

- Carga útil del cucharón:

Se entiende como carga útil a la cantidad de tierra que puede ser transportada por el cucharón en cada ciclo de excavación. Esta depende del tamaño y forma del cucharón.

Promedio de carga útil del cucharón = (Capacidad colmada del cucharón) × (Factor de llenado del cucharón)	
Materiales	Gama de 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%

TABLA 4.3 Capacidad útil del cucharón

(CATERPILLAR, 2010)

Dado que en Tababela existen variedad de suelos de arena limosa, limo arenoso y arcillas plásticas, podemos decir que, en los sectores donde hay presencia de arenas, la capacidad del cucharón será de 95-110%, mientras que donde existe

arcilla será de 80-90%, lo que determina el factor de llenado necesario para el cálculo de la eficiencia de la maquinaria de excavación.

4.3.1. Producción (P)

La producción de la maquinaria depende del tipo de operación que realiza la máquina, siendo este un factor influyente en la clasificación de la misma:

- Maquinaria de ciclos intermitentes: También conocida como discontinua o por lotes, sus procesos siempre siguen las mismas fases en el mismo orden. Es intermitente porque se puede interrumpir e inmediatamente seguir el proceso o repetirlo.
- Maquinaria de operación continua: El producto esta estandarizado, el proceso de producción es acelerado e in interrumpible.
- Maquinaria de operación intermedia: La producción es continua hasta terminar su operación en un proyecto determinado, luego convierte su operación en un ciclo común de trabajo.

La excavadora es una máquina de operación intermitente, por lo que el cálculo de la producción viene dado por la siguiente fórmula:

$$P = Q * N * I$$

FÓRMULA 4.4 Producción

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Donde:

Q: Capacidad por ciclo (ida y vuelta), colmada

N: Número de ciclos realizados en dicho periodo

I: Eficiencia de trabajo

4.3.2. Capacidad por ciclo (Q)

Esta viene determinada por la capacidad de la maquinaria, corresponde al volumen de material que se moverá en cada ciclo.

$$Q = \text{Capacidad Nominal} * \text{Factor de Carga}$$

FÓRMULA 4.5 Capacidad por ciclo

(UNAM)

Donde:

Q: Capacidad por ciclo

Capacidad Nominal: Capacidad del cucharón colmado (proveedor)

Factor de Carga: Depende del tipo de suelo a excavar (Tabla 4.3)

4.3.3. Número de ciclos (N)

Se considera ciclo al conjunto de actividades que normalmente se efectúan y repiten, de manera intermitente, para la ejecución de un trabajo.

La excavadora, una vez situada en el frente de excavación, opera en cuatro fases:

1. Excavación y llenado del cucharón
2. Giro hacia el lugar de descarga
3. Vaciado del cucharón
4. Giro hacia el lugar a excavar



Tiempo de ciclo es el tiempo necesario en realizar un trabajo completo, es decir, completar su ciclo. Este tiempo es determinado mediante observación directa en obra, se toman varios valores correspondientes a cuánto se demora la máquina en completar su ciclo, ida y vuelta, y estadísticamente se determina un valor.

El tiempo total de un ciclo determinará el número total de ciclos por hora el cual será un factor básico para el cálculo de la eficiencia de la maquinaria.

$$\frac{\# \text{ ciclos}}{\text{hora}} = \frac{60'}{\text{Tiempo de ciclo}}$$

FÓRMULA 4.6 Número de ciclos

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Teóricamente, el Manual de Rendimiento Caterpillar, capítulo 4, nos proporciona una tabla en la que se estima el tiempo de ciclo según el tipo de suelo a excavar:

Modelo		307C	308D CR	308D CR SB	311D LRR	312D, 312D L	315D L	319D L, 319D LN	M312, M313C, M315C, M313D, M315D	M315, M316C, M316D	M318C, M318D	M322C, M322D
Tamaño del cuch.	L	280	220	220	450	520	520	800	610	750	900	1050
	yd ³	0,37	0,30	0,30	0,59	0,68	0,68	1,05	0,80	0,98	1,18	1,37
Tipo de suelo		Tierra compactada						Arena/Grava				
Profundidad de excavación	m	1,5	1,8	1,8	1,5	1,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	pies	5'0"	6'0"	6'0"	5'0"	6'0"	10'0"	10'0"	10'0"	10'0"	10'0"	10'0"
Carga del cucharón	min	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,09	0,05	0,06	0,06	0,08
Giro con carga	min	0,05	0,03	0,03	0,06	0,06	0,08	0,09	0,05	0,05	0,06	0,06
Descarga del cucharón	min	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Giro sin carga	min	0,06	0,06	0,08	0,05	0,05	0,06	0,07	0,04	0,04	0,05	0,05
Tiempo total del ciclo	min	0,22	0,21	0,22	0,21	0,21	0,24	0,28	0,17	0,18	0,20	0,23

Modelo		320D	320D RR, 321D CR, 323D	324D	328D LCR	329D	336D	345D	365C L	385C
Tamaño del cuch.	L	800	800	1000	N/A	1100	1400	2400	1900	3760
	yd ³	1,05	1,05	1,31	N/A	1,44	1,83	3,0	2,5	5,0
Tipo de suelo		Arcilla dura								
Profundidad de excavación	m	2,3	2,3	3,2	N/A	3,2	3,4	4,0	4,2	5,6
	pies	8	8	10	N/A	10	11	13	14	18
Carga del cucharón	min	0,09	0,09	0,09	N/A	0,09	0,09	0,13	0,10	0,19
Giro con carga	min	0,06	0,06	0,06	N/A	0,06	0,07	0,07	0,09	0,06
Descarga del cucharón	min	0,03	0,03	0,04	N/A	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03
Giro sin carga	min	0,05	0,05	0,06	N/A	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07
Tiempo total del ciclo	min	0,23	0,23	0,25	N/A	0,25	0,27	0,28	0,30	0,35

TABLA 4.4 Tiempos de ciclo

(CATERPILLAR, 2010)

Dado que en Tababela existen suelos de consistencia dura y, siendo la excavadora referente modelo 320D, el tiempo total del ciclo que se considerará para la presente investigación será de 0.23.

4.3.4. Eficiencia del trabajo (I)

La productividad nominal no siempre es la real ya que está determinada en condiciones ideales, mientras que, en obra se ve afectada por un factor llamado eficiencia del trabajo, el cual depende de diversas condiciones como es la topografía del terreno, la experiencia del operador, eventualidades, entre otros. El producto de la productividad nominal y la eficiencia del trabajo es lo que conocemos como productividad horaria.

El cálculo de la eficiencia es el producto de algunos factores acumulativos, los mismos que se detallan a continuación:

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

FÓRMULA 4.7 Eficiencia

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Donde:

- i: Eficiencia en tiempo
- o: Operación
- a: Administración
- m: Tipo de material
- e: Estado de material
- c: Factor de llenado
- g: Maniobra y alcance
- p: Pendiente
- r: Condición del terreno
- l: Eventualidades
- u: Uso anual

- Eficiencia en tiempo (i):

Durante el día, ninguna maquinaria opera a su máxima capacidad, de manera continua, la jornada completa de trabajo, por razones como son la naturaleza misma del trabajo, condiciones ergonómicas del operador, necesidades y mantenimiento del equipo, etc.

Dicho esto, se considera tiempo efectivo a la cantidad de horas o minutos que, en efecto, la maquinaria se encuentra en operación. Usualmente, se hace referencia a los minutos efectivos por hora y, según estos datos, se determina el factor i.

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

TABLA 4.5 Factor (i): Eficiencia en tiempo

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Para el cálculo de la eficiencia del presente trabajo de investigación, se considerará un tiempo efectivamente trabajado por hora transcurrida de 50 minutos, calificado como bueno, correspondiente a un factor de eficiencia en tiempo (i) de 0,83.

- Operación (o):

Este es un factor humano ya que depende directamente de la habilidad, experiencia y responsabilidad del operador; es de su competencia la seguridad y la correcta operación y funcionamiento de la maquinaria para que esta no deba ser detenida, afectando su producción.

Habilidad del operador	Factor (o)
Excelente	91 - 100%
Buena	81 - 90%
Regular	71 - 80%
Mala	60 - 70%

TABLA 4.6 Factor (o): Operación

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Para el cálculo de la eficiencia del presente trabajo de investigación, se supondrá contar con un operador cuya habilidad es calificada como excelente, correspondiendo un factor de operación (o) de 0,95.

- Administración (a):

Una obra civil comienza mucho antes de hacer el primer movimiento en campo, se requiere una correcta planificación y programación de las actividades, y, una vez iniciados los trabajos, tener una buena dirección, operación y control de la obra en ejecución.

El factor correspondiente al nivel de organización de la administración es responsabilidad del Ingeniero Civil y los operadores, prever las posiciones de trabajo de los equipos, establecer métodos idóneos y evitar acciones adicionales innecesarias, influirá para que este factor sea mayor.

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

TABLA 4.7 Factor (a): Administración

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Para el cálculo de la eficiencia del presente trabajo de investigación, se considera un nivel de organización de la administración calificado como excelente, lo cual nos dará un factor de administración (a) de 0,93.

- Tipo de material (m):

Este factor depende del tipo de suelo que va a ser manipulado y su trabajabilidad, mientras más fácil sea, mayor será el valor del mismo. A continuación, se presenta una tabla estandarizada para escoger el factor cuando no existen estudios previos del suelo.

Tipo de material	Factor (m)	Trabajabilidad
Tierra no compactada; arena; grava; y suelo suave	100%	Muy Fácil
Tierra compactada; 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

TABLA 4.8 Factor (m): Tipo de material

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Parte del presente trabajo de investigación es la determinación del factor “m” para los diferentes tipos de suelo existentes en la parroquia de Tababela, por lo que, se realizó una investigación, basándonos en datos de estudios hechos en el sector, para identificar los tipos de suelo que presentes en dicha parroquia y sus características respectivas para poder determinar su estado. Como resultado exponemos que existen tres tipos de suelos: arcillas de baja plasticidad, limos arenosos y arenas limosas.

Los datos obtenidos fueron proporcionados por el Laboratorio de Suelos de la Universidad Católica del Ecuador, estos formaban parte del historial de datos de los estudios realizados desde el año 2009 hasta la fecha.

El parámetro que se tomó en cuenta para establecer la trabajabilidad de los suelos, y posteriormente precisar el factor “m”, fue la densidad relativa, la misma que fue determinada mediante fórmulas, expuestas anteriormente, basándonos en el N_{spt} y el peso unitario de los suelos.

A continuación, en la Tabla 4.9, se presenta la determinación de la densidad relativa de los diferentes suelos encontrados en la parroquia de Tababela:

AÑO	PROYECTO	SONDEO No.	PROFUNDIDAD	SUELO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	SPT	PESO UNITARIO	N ₆₀	C _N	(N1) ₆₀	Dr	DENSIDAD RELATIVA CARACTERIZACIÓN
2009	Torre de Transmisión Eléctrica Tababela	1	0 - 4	CL	Arcilla de baja plasticidad	>30	17.8	19.80	1.185	23.5	0.76	Denso
			4 - 7	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	>30	19.0	31.73	0.867	27.5	0.81	Denso
		2	0 - 3	CL	Arcilla de baja plasticidad	17 - 8	17.8	7.80	1.368	10.7	0.51	Medianamente denso
			4 - 5	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	11	19.0	7.43	1.026	7.6	0.43	Suelto
			5 - 7	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	>30	19.0	30.75	0.867	26.7	0.79	Denso
		3	0 - 2	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	>30	17.8	19.20	1.676	32.2	0.87	Muy denso
			3 - 4	CL	Arcilla de baja plasticidad	>30	17.8	21.60	1.185	25.6	0.80	Denso
			4 - 7	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	>30	19.0	30.38	0.867	26.3	0.79	Denso
		2010	Vivienda Familiar de 2 plantas	1	0 - 2	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	26-17	17.8	13.20	1.676	22.1
3 - 4	SM				Arena limosa no plástica	19-20	17.8	12.00	1.185	14.2	0.59	Medianamente denso
4 - 6	SM				Arena limosa no plástica	46-44	19.0	30.38	0.937	28.4	0.83	Denso
2	0 -2,50			SM	Arena limosa no plástica	35-24	17.8	18.00	1.499	27.0	0.81	Denso
	2,50 - 3,50			SM	Arena limosa no plástica	18	17.8	10.80	1.267	13.7	0.58	Medianamente denso
	3,50 - 5,50			SM	Arena limosa no plástica	21-42	19.0	21.60	0.978	21.1	0.72	Denso
	5,50 - 6,50			SM	Arena limosa no plástica	52	19.0	39.00	0.900	35.1	0.91	Muy denso

TABLA 4.9 Densidad relativa de los suelos en Tababela

En la Tabla 4.9 (2), se presenta la memoria de cálculo para determinar la densidad relativa.

PROYECTO	SONDEO No.	PROFUNDIDAD	h	SUELO	N _{SPT}	PESO UNITARIO	nh	nb	ns	nr	N ₆₀	C _N	(N1) ₆₀	Dr
Torre de Transmisión Eléctrica Tababela	1	0 - 4	4.00	CL	33.00	17.8	45	1	1	0.8	19.80	1.185	23.5	0.76
		4 - 7	7.00	ML	47.00	19	45	1	1	0.9	31.73	0.867	27.5	0.81
	2	0 - 3	3.00	CL	13.00	17.8	45	1	1	0.8	7.80	1.368	10.7	0.51
		4 - 5	5.00	ML	11.00	19	45	1	1	0.9	7.43	1.026	7.6	0.43
		5 - 7	7.00	ML	41.00	19	45	1	1	1	30.75	0.867	26.7	0.79
	3	0 - 2	2.00	ML	32.00	17.8	45	1	1	0.8	19.20	1.676	32.2	0.87
		3 - 4	4.00	CL	36.00	17.8	45	1	1	0.8	21.60	1.185	25.6	0.80
		4 - 7	7.00	ML	45.00	19	45	1	1	0.9	30.38	0.867	26.3	0.79
	Vivienda Familiar de 2 plantas	1	0 - 2	2.00	ML	22.00	17.8	45	1	1	0.8	13.20	1.676	22.1
3 - 4			4.00	SM	20.00	17.8	45	1	1	0.8	12.00	1.185	14.2	0.59
4 - 6			6.00	SM	45.00	19	45	1	1	0.9	30.38	0.937	28.4	0.83
2		0 - 2,50	2.50	SM	30.00	17.8	45	1	1	0.8	18.00	1.499	27.0	0.81
		2,50 - 3,50	3.50	SM	18.00	17.8	45	1	1	0.8	10.80	1.267	13.7	0.58
		3,50 - 5,50	5.50	SM	32.00	19	45	1	1	0.9	21.60	0.978	21.1	0.72
		5,50 - 6,50	6.50	SM	52.00	19	45	1	1	1	39.00	0.900	35.1	0.91

TABLA 4.9 (2) Memoria de cálculo de la Densidad relativa de los suelos en Tababela

Con los resultados anteriores, en la Tabla 4.10 presentada a continuación, se indica la trabajabilidad que tienen los suelos según su densidad relativa y se establece el factor “*m*” para cada uno de los tipos de suelos encontrados.

Adicionalmente, luego de analizar los resultados, se observa claramente dos estratos definidos, por lo que se considera importante determinar el factor “*m*” según la estratigrafía del lugar, y realizar el cálculo de la eficiencia de la maquinaria para cada estrato. En la Tabla 4.11, se establece el factor “*m*” para cada uno de los estratos encontrados.

AÑO	PROYECTO	SONDEO No.	PROFUNDIDAD	SUELO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	DENSIDAD RELATIVA	TRABAJABILIDAD	FACTOR "M"
2009	Torre de Transmisión Eléctrica Tababela	1	0 - 4	CL	Arcilla de baja plasticidad	Denso	Difícil	70 %
			4 - 7	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Denso	Difícil	70 %
		2	0 - 3	CL	Arcilla de baja plasticidad	Medianamente denso	Medio	80 %
			4 - 5	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Suelto	Fácil	90 %
			5 - 7	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Denso	Difícil	70 %
		3	0 - 2	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Muy denso	Muy Difícil	60 %
			3 - 4	CL	Arcilla de baja plasticidad	Denso	Difícil	70 %
			4 - 7	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Denso	Difícil	70 %
		2010	Vivienda Familiar de 2 plantas	1	0 - 2	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Denso
3 - 4	SM				Arena limosa no plástica	Medianamente denso	Medio	80 %
4 - 6	SM				Arena limosa no plástica	Denso	Difícil	70 %
2	0 - 2,50			SM	Arena limosa no plástica	Denso	Difícil	70 %
	2,50 - 3,50			SM	Arena limosa no plástica	Medianamente denso	Medio	80 %
	3,50 - 5,50			SM	Arena limosa no plástica	Denso	Difícil	70 %
	5,50 - 6,50			SM	Arena limosa no plástica	Muy denso	Muy Difícil	60 %

TABLA 4.10 Factor (m): Por tipo de suelo en Tababela

ESTRATO	PROFUNDIDAD	SUCS	PESO UNITARIO	COHESIÓN ton/m2	ÁNGULO DE FRICCIÓN	N ₆₀	(N1) ₆₀	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	Dr (%)	TRABAJABILIDAD	FACTOR M
1	0 - 4	CL , ML	17.93	5.0	30°	14.43	19.62	Limos y arcillas de baja plasticidad con consistencia media.	67.43	Medio	80 %
2	4 - 7	ML , SM	19.00	8.0	38°	30.64	27.53	Arenas de grano fino no plásticas y limos de baja plasticidad con densidad dura.	80.74	Difícil	70 %

TABLA 4.11 Factor (m): Por estratigrafía de Tababela

- Estado del material (e):

Depende del estado del material a excavar, es decir, si se encuentra en banco, suelto o compactado.

Estado del material	Factor (e)
Suelto	100%
En banco	Fw
Compactado	Fh

TABLA 4.12 Factor (e): Estado del material

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

La acción de excavar un material provoca un aumento de volumen en el mismo por lo que es importante determinar el factor de esponjamiento (Fw) y el factor de contracción (Fh).

Se entiende como factor de esponjamiento a la relación entre el volumen que ocupa el material en banco (V_B) y el volumen que ocupa el material suelto (V_S):

$$Fw = \frac{VB}{VS}$$

FÓRMULA 4.8 Factor de esponjamiento

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Para facilidad de la determinación este factor existen tablas establecidas:

PESO* DE LOS MATERIALES	SUELTO		EN BANCO		FACTORES DE CARGA
	kg/m ³	lb/yc ³	kg/m ³	lb/yc ³	
Basalto	1960	3300	2970	5000	0,67
Bauxita, Caolín	1420	2400	1900	3200	0,75
Caliche	1250	2100	2260	3800	0,55
Carnotita, mineral de uranio	1630	2750	2200	3700	0,74
Ceniza	560	950	860	1450	0,66
Arcilla — en su lecho natural	1660	2800	2020	3400	0,82
seca	1480	2500	1840	3100	0,81
mojada	1660	2800	2080	3500	0,80
Arcilla y grava — secas	1420	2400	1660	2800	0,85
mojadas	1540	2600	1840	3100	0,85
Carbón — antracita en bruto	1190	2000	1600	2700	0,74
lavada	1100	1850			0,74
ceniza, carbón bituminoso	530-650	900-1100	590-890	1000-1500	0,93
bituminoso en bruto	950	1600	1280	2150	0,74
lavado	830	1400			0,74
Roca descompuesta —					
75% roca, 25% tierra	1960	3300	2790	4700	0,70
50% roca, 50% tierra	1720	2900	2280	3850	0,75
25% roca, 75% tierra	1570	2650	1960	3300	0,80
Tierra — Apisonada y seca	1510	2550	1900	3200	0,80
Excavada y mojada	1600	2700	2020	3400	0,79
Marga	1250	2100	1540	2600	0,81
Granito fragmentado	1660	2800	2730	4600	0,61
Grava — Como sale de cantera	1930	3250	2170	3650	0,89
Seca	1510	2550	1690	2850	0,89
Seca, de 6 a 50 mm	1690	2850	1900	3200	0,89
Moiada de 6 a 50 mm	2020	3400	2260	3800	0,89

Yeso — Fragmentado	1810	3050	3170	5350	0,57
Triturado	1600	2700	2790	4700	0,57
Hematita, mineral de hierro	1810-2450	4000-5400	2130-2900	4700-6400	0,85
Piedra caliza — fragmentada	1540	2600	2610	4400	0,59
triturada	1540	2600	—	—	—
Magnetita, mineral de hierro	2790	4700	3260	5500	0,85
Pirita, mineral de hierro	2580	4350	3030	5100	0,85
Arena — Seca y suelta	1420	2400	1600	2700	0,89
Húmeda	1690	2850	1900	3200	0,89
Mojada	1840	3100	2080	3500	0,89
Arena y Arcilla — suelta	1600	2700	2020	3400	0,79
compactada	2400	4050	—	—	—
Arena y grava — seca	1720	2900	1930	3250	0,89
mojada	2020	3400	2230	3750	0,91
Arenisca	1510	2550	2520	4250	0,60
Pizarra bituminosa	1250	2100	1660	2800	0,75
Escorias fragmentadas	1750	2950	2940	4950	0,60
Nieve — seca	130	220	—	—	—
mojada	520	860	—	—	—
Piedra triturada	1600	2700	2670	4500	0,60
Taconita	1630-1900	3600-4200	2360-2700	5200-6100	0,58
Tierra vegetal	950	1600	1370	2300	0,70
Roca fragmentada	1750	2950	2610	4400	0,67
Virutas de madera**	—	—	—	—	—

TABLA 4.13 Factor de esponjamiento

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Por otro lado, el factor de contracción es la relación entre el volumen del material compactado (V_C) y el volumen del material en banco (V_B):

$$Fh = \frac{VC}{VB}$$

FÓRMULA 4.9 Factor de contracción

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Para el cálculo de la eficiencia del presente trabajo de investigación, se considera que el estado del material está en banco, lo cual, según la Tabla 4.13, nos dará un factor de estado del material (e) de 0,85 para arcillas y 0,89 para arenas y limos.

- Factor de llenado (c):

Se denomina factor de llenado a la relación entre la capacidad real (VR) y la capacidad nominal (V_N).

$$Fl = \frac{VR}{VN}$$

FÓRMULA 4.10 Factor de llenado

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Existen tablas para determinar este factor, la misma que expuso anteriormente en la Tabla 4.3 carga útil del material.

Para el cálculo de la eficiencia del presente trabajo de investigación, se considera como factor de llenado (c) de 0,85 para arcillas y 0,95 para arenas y limos.

- Maniobra y alcance (g):

Este factor se aplica para máquinas que, como parte de su ciclo, realizan giros, como es el caso de la excavadora.

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

TABLA 4.14 Factor (g): Maniobra y alcance

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Para el cálculo de la eficiencia del presente trabajo de investigación, se considera que la excavadora realizará giros de 45°, lo cual nos dará un factor de maniobra y alcance (g) de 1,30.

- Pendiente del terreno (p):

Es importante considerar este valor especialmente cuando, como parte de las actividades, constan transporte y volúmenes considerables, por lo que, la existencia de pendientes, favorables o adversas, en tramos afecta en la eficiencia de la maquinaria.

Pendiente del terreno (%)	Factor (p)
-10 a -20	Hasta 125%
0 a -10	Hasta 110%
0	100%
0 a +10	Hasta 90%
+10 a +20	Hasta 75%

TABLA 4.15 Factor (g): Pendiente del terreno

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Para el cálculo de la eficiencia del presente trabajo de investigación, se considera que la pendiente del terreno a excavar es de 0 a -10 %, lo cual nos dará un factor de pendiente del terreno (p) de 1,10.

- Condiciones de camino (r):

Este factor afecta sólo a maquinaria cuyo tren de rodaje está compuesto de neumáticos ya que depende de la resistencia de rodamiento.

Condiciones del camino	Factor (r)
Máquinas con orugas	100%
Plano y firme	98%
Firme - mal conservado	95%
Arena y grava suelta	90%
Sin conservar y lodoso	83%

TABLA 4.16 Factor (r): Condiciones de camino

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Para el cálculo de la eficiencia del presente trabajo de investigación, la máquina utilizada para la excavación de zanjas de alcantarillado a una excavadora sobre orugas, lo cual nos dará un factor de condiciones de camino (r) de 1,00.

- Eventualidades (l):

Como su nombre lo indica, este factor toma en cuenta las diversas eventualidades que se pueden presentar en obra y son muy poco predecibles como es el caso del clima, roturas imprevistas, reparaciones, desastres naturales, entre otros.

Razón imprevisto	Afectación %	Factor (l)
Lluvia	5% a 6%	100% - %Afectación (%Afectación = 15-20%)
Reparaciones	12% a 15%	
Roturas	18% a 20%	
Otros	5% a 7%	

TABLA 4.17 Factor (l): Eventualidades

(Merizalde, Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, 2014)

Para el cálculo de la eficiencia del presente trabajo de investigación, porcentaje de afectación considerado es de 95%, lo cual nos dará un factor de eventualidades “l” de 0,95.

- Uso anual (u):

Este factor toma en cuenta el tiempo muerto de la maquinaria, es decir, cuando, por políticas administrativas de la empresa, el equipo no se encuentra en operación. Es usualmente tomado como 0,85.

4.3.5. Desarrollo del cálculo de la eficiencia de una excavadora en Hoja de Excel

Una vez establecidos todos los factores que intervienen en el cálculo de la eficiencia de la maquinaria, en especial el factor “m” correspondiente al tipo de suelo, el mismo que, para su determinación, primero se realizó una investigación teórica entre los registros existentes en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Católica del Ecuador, correspondientes desde el año 2009 hasta la fecha, se pudo identificar los diferentes

tipos de suelos presentes en la parroquia de Tababela, caracterizarlos y finalmente establecer un factor para cada uno, cumpliendo así uno de los objetivos específicos del presente trabajo de investigación.

A continuación, como producto de la investigación realizada, se presentan los resultados determinando la eficiencia de una maquinaria de excavación, específicamente una excavadora mediana, de zanjas para alcantarillado en el sector de la parroquia de Tababela.

Para finalidad del cálculo, los factores de considerados para la determinación de la eficiencia de la maquinaria en el presente trabajo son iguales para los tres tipos de suelos, a excepción del factor del tipo de suelo “m”, el factor de estado de material “e” y el factor de llenado “c”, los mismos que dependen del tipo de suelo referido.

Descripción		Calificación	Valor
Eficiencia en tiempo	Factor (i)	Bueno	0.83
Operación	Factor (o)	Excelente	0.85
Administración	Factor (a)	Excelente	0.85
Tipo de material	Factor (m)		
Estado de material	Factor (e)	En banco	
Factor de llenado	Factor (c)		
Maniobra y alcance	Factor (g)	45°	1.30
Pendiente	Factor (p)	0 a -10	1.10
Condiciones del terreno	Factor (r)	Máquinas con orugas	1.00
Eventualidades	Factor (l)	-	0.85
Uso anual	Factor (u)	-	0.85

TABLA 4.18 Factores para el cálculo de la eficiencia de la excavadora

▪ **POR TIPO DE SUELO: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD**

ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD						
AÑO	PROYECTO	PROFUNDIDAD	SUELO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	TRABAJABILIDAD	FACTOR "M"
2009	Torre de Transmisión Eléctrica Tababela	0 - 4	CL	Arcilla de baja plasticidad	Difícil	70 %
		0 - 3	CL	Arcilla de baja plasticidad	Medio	80 %
		3 - 4	CL	Arcilla de baja plasticidad	Difícil	70 %
					PROMEDIO	73 %

ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD

Descripción		Calificación	Valor
Eficiencia en tiempo	Factor (i)	Bueno	0.83
Operación	Factor (o)	Excelente	0.95
Administración	Factor (a)	Excelente	0.93
Tipo de material	Factor (m)	Arcilla de baja plasticidad	0.73
Estado de material	Factor (e)	En banco	0.85
Factor de llenado	Factor (c)	Arcilla	0.85
Maniobra y alcance	Factor (g)	45°	1.30
Pendiente	Factor (p)	0 a -10	1.10
Condiciones del terreno	Factor (r)	Máquinas con orugas	1.00
Eventualidades	Factor (l)	-	0.85
Uso anual	Factor (u)	-	0.85
EFICIENCIA			0.40

▪ **POR TIPO DE SUELO: LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD**

LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD						
AÑO	PROYECTO	PROFUNDIDAD	SUELO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	TRABAJABILIDAD	FACTOR "M"
2009	Torre de Transmisión Eléctrica Tababela	4 - 7	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Difícil	70 %
		4 - 5	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Fácil	90 %
		5 - 7	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Difícil	70 %
		0 - 2	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Muy Difícil	60 %
		4 - 7	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Difícil	70 %
2010	Vivienda Familiar	0 - 2	ML	Limo arenoso de baja plasticidad	Difícil	70 %
PROMEDIO						72 %

LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD

Descripción		Calificación	Valor
Eficiencia en tiempo	Factor (i)	Bueno	0.83
Operación	Factor (o)	Excelente	0.95
Administración	Factor (a)	Excelente	0.93
Tipo de material	Factor (m)	Limo arenoso de baja plasticidad	0.72
Estado de material	Factor (e)	En banco	0.89
Factor de llenado	Factor (c)	Arena y Limos	0.95
Maniobra y alcance	Factor (g)	45°	1.30
Pendiente	Factor (p)	0 a -10	1.10
Condiciones del terreno	Factor (r)	Máquinas con orugas	1.00
Eventualidades	Factor (l)	-	0.85
Uso anual	Factor (u)	-	0.85
EFICIENCIA			0.46

▪ **POR TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA NO PLÁSTICA**

ARENA LIMOSA NO PLÁSTICA						
AÑO	PROYECTO	PROFUNDIDAD	SUELO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	TRABAJABILIDAD	FACTOR "M"
2010	Vivienda Familiar	3 - 4	SM	Arena limosa no plástica	Medio	80 %
		4 - 6	SM	Arena limosa no plástica	Difícil	70 %
		0 -2,50	SM	Arena limosa no plástica	Difícil	70 %
		2,50 - 3,50	SM	Arena limosa no plástica	Medio	80 %
		3,50 - 5,50	SM	Arena limosa no plástica	Difícil	70 %
		5,50 - 6,50	SM	Arena limosa no plástica	Muy Difícil	60 %
					PROMEDIO	72 %

ARENA LIMOSA NO PLÁSTICA

Descripción		Calificación	Valor
Eficiencia en tiempo	Factor (i)	Bueno	0.83
Operación	Factor (o)	Excelente	0.95
Administración	Factor (a)	Excelente	0.93
Tipo de material	Factor (m)	Arena limosa no plástica	0.72
Estado de material	Factor (e)	En banco	0.89
Factor de llenado	Factor (c)	Arena y Limos	0.95
Maniobra y alcance	Factor (g)	45°	1.30
Pendiente	Factor (p)	0 a -10	1.10
Condiciones del terreno	Factor (r)	Máquinas con orugas	1.00
Eventualidades	Factor (l)	-	0.85
Uso anual	Factor (u)	-	0.85
EFICIENCIA			0.46

- **POR ESTRATIGRAFÍA: ESTRATO 1 (0 – 4m)**

ESTRATO 1 (0-4m)

Descripción		Calificación	Valor
Eficiencia en tiempo	Factor (i)	Bueno	0.83
Operación	Factor (o)	Excelente	0.95
Administración	Factor (a)	Excelente	0.93
Tipo de material	Factor (m)	Estrato 1	0.80
Estado de material	Factor (e)	En banco	0.85
Factor de llenado	Factor (c)	Limos y Arcillas	0.90
Maniobra y alcance	Factor (g)	45°	1.30
Pendiente	Factor (p)	0 a -10	1.10
Condiciones del terreno	Factor (r)	Máquinas con orugas	1.00
Eventualidades	Factor (l)	-	0.85
Uso anual	Factor (u)	-	0.85
EFICIENCIA			0.46

- **POR ESTRATIGRAFÍA: ESTRATO 2 (4 – 7m)**

ESTRATO 2 (4-7m)

Descripción		Calificación	Valor
Eficiencia en tiempo	Factor (i)	Bueno	0.83
Operación	Factor (o)	Excelente	0.95
Administración	Factor (a)	Excelente	0.93
Tipo de material	Factor (m)	Estrato 2	0.70
Estado de material	Factor (e)	En banco	0.85
Factor de llenado	Factor (c)	Arena y Limos	0.95
Maniobra y alcance	Factor (g)	45°	1.30
Pendiente	Factor (p)	0 a -10	1.10
Condiciones del terreno	Factor (r)	Máquinas con orugas	1.00
Eventualidades	Factor (l)	-	0.85
Uso anual	Factor (u)	-	0.85
		EFICIENCIA	0.43

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Según los datos obtenidos por el GAD Parroquial de Tababela, los mismos que se basan en el censo realizado el 2010, se proyecta un crecimiento poblacional para el 2017 de 3293 personas, por lo que la construcción de un sistema de alcantarillado que abastezca a todos es de suma importancia, razón por la cual se realiza el presente trabajo de disertación cuyo fin busca determinar la eficiencia de la maquinaria de excavación para zanjas de alcantarillado, según los tipos de suelos existentes en la misma.

- De la investigación realizada en base a los registros de estudios de suelos efectuados en la Parroquia Tababela, por el Laboratorio de Materiales de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, desde el 2009 hasta la fecha, se establece que existen dos estratos de suelos: de cero a cuatro metros, son limos y arcillas de baja plasticidad de consistencia media a firme en su mayoría. Desde los cuatro hasta los siete metros investigados son limos arenosos de baja plasticidad de consistencia muy firme y arenas de grano fino no plásticas de compacidad relativa densa.

- Los parámetros del suelo asumidos para el cálculo del factor “ m ” fueron los siguientes: tipo de suelo, resistencia a la penetración estándar “SPT”, peso unitario del suelo, densidad relativa.

- Dado a la estratigrafía encontrada en la Parroquia de Tababela, para un mejor análisis de resultados, se considera importante establecer el factor “ m ” para cada estrato definido, tomando en cuenta que, al momento de excavar, se lo hace por profundidades específicas, independientemente de los tipos de suelos que se encuentren a esa profundidad, por lo que los factores determinados serán mejor interpretados y se podrá dar un mejor uso y entendimiento de los mismos.

Los suelos investigados en la parroquia de Tababela, hasta los siete metros de profundidad, son suelos cohesivos friccionantes donde la cohesión varía de 5 a 8 ton /m² y el ángulo de fricción de 30° a 38°.

A continuación, se presentan los resultados correspondientes:

- El primer estrato de cero a cuatro metros de profundidad, son limos y arcillas de baja plasticidad, con un peso unitario promedio de 17.93 kN/m³, el número de golpes del ensayo SPT promedio es de 24, obteniendo una densidad relativa de 67.43%.
 - El segundo estrato definido concierne desde cuatro hasta siete metros de profundidad, conformado por limos arenosos de baja plasticidad y arenas de grano fino no plásticas, con peso unitario promedio de 19.0 kN/m³, respecto al ensayo de SPT el número de golpes medio es de 44, dando una densidad relativa de 80.74%.
- Con los parámetros de los suelos, se determinó que el estrato superior tienen una trabajabilidad media siendo el factor “m” de 80% y, en el estrato inferior, la trabajabilidad es difícil con un factor “m” del 70%. De lo que se concluye que, la retroexcavadora de orugas, al momento de excavar zanjas de alcantarillado en el sector de Tababela, tendrá una eficiencia de 46% los primeros cuatro metros de profundidad, pasado estos, su eficiencia se reducirá a un 43% dado que los suelos encontrados son más densos.
 - La eficiencia y trabajabilidad determinadas en la presente investigación, podrán servir como datos referenciales para hacer estimaciones de rendimientos y costos, mas no para cálculos definitivos, ya que, los parámetros correspondientes al tipo de suelo han sido obtenidos de diferentes sectores de la parroquia de Tababela.

5.2. Recomendaciones

- Es importante realizar un estudio previo del suelo antes de comenzar los trabajos de excavación para poder establecer el rendimiento y eficiencia promedio de la maquinaria a utilizar, controlando así los tiempos de ejecución de las actividades en la obra.

- Se recomienda hacer ensayos de penetración estándar SPT hasta la profundidad a la cual se vaya realizar la excavación, con toma de muestras inalteradas para determinar el peso unitario del suelo.
- Se debe utilizar un buen sistema de protección para trabajos de excavación de zanjas de alcantarillado, de acuerdo a la profundidad conforme indica en la norma, con el fin de garantizar la seguridad de los trabajadores.

BIBLIOGRAFÍA

- ArquitectObra: "Guía básica para el control de una máquina".* (agosto de 2013). Recuperado el noviembre de 2016, de <http://arquitectobra.blogspot.com>
- ASTM Internacional. (2015). ASTM D3282-15. United States.
- Barber Lloret, P. (2008). *Maquinaria de Obras Públicas I: Introducción elementos comunes de las máquinas, 3º Edición.* España: Editorial Club Universitario.
- bligoo: Historia de la maquinaria y equipo de construcción.* (s.f.). Recuperado el noviembre de 2016, de <http://maquinariapesadausadaperu.bligoo.com.pe>
- Braja M. Das. (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* México: CENGAGE Learning.
- Bravo, A. (Diciembre de 2011). *Solo Robótica.* Recuperado el Febrero de 2017, de <http://solorobotica.blogspot.com>
- Capservs Medios Cía. Ltda.:. (2015). *Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Tababela.* Quito.
- CATERPILLAR. (2010). *Manual de Rendimiento Caterpillar No. 40.* Illinois, U.S.A.: Caterpillar Inc. Obtenido de Manual de Rendimiento 40.
- CATERPILLAR. (2017). *CATERPILLAR.* Recuperado el Febrero de 2017, de <http://www.cat.com>
- Chiriboga, G. (2015). *Ampliación Av. Simón Bolívar.* Quito, Ecuador.
- Chiriboga, G. (2017). *Construcción Metro de Quito.* Quito.
- Díaz del Río, M. (2007). *Manual de Maquinaria de Construcción.* España: McGRAW-HILL.
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento. (2014). *Manual de seguridad, salud, ambiente, riesgos y relaciones comunitarias en la ejecución de obras de la EPMAAPS.* Quito.

- EPMAAP Q -20-2010;. (2010). *Especificaciones Técnicas de la Empresa de Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito*. Quito.
- Equipos Liebherr*. (s.f.). Recuperado el noviembre de 2016, de <https://www.liebherr.com>
- Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (1976). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: EDITORIAL LIMUSA.
- KOMATSU. (s.f.). Recuperado el noviembre de 2016, de <http://www.komatsu.com/>
- LABORATORIO DE SUELOS (PUCE). (2009 - 2017). *Estudios de Suelos en la Parroquia de Tababela, Proyectos: Varios*. Quito.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. (1972). *Mecánica de suelos*. México: LIMUSA-WILEY, S.A.
- Merizalde, J. (2014). Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción. Quito, Ecuador.
- Merizalde, J. (2014). Diapositivas de clase Maquinaria de Construcción, Capítulo 3. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Obras Públicas. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP 001-F-2002*. Ecuador.
- Obras civiles*. (2010). Recuperado el enero de 2017, de <http://yennycamargo.blogspot.com>
- Talleres Cuenca: Tecnología del Diesel*. (s.f.). Recuperado el noviembre de 2017, de Historia del motor diésel: <http://www.tallerescuenca.com/historia-del-motor-diesel/>
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1971). *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. España: "EL ATENEO" S.A.
- UIDE. (2016). *Licencia de Prevención de Riesgos en la Construcción y Obras Públicas*. Quito.

UNAM. (s.f.). *Rendimiento de Cargador frontal y Retroexcavadora*. Obtenido de <http://www.ingenieria.unam.mx>

Universidad de La Laguna. (s.f.). Movimientos de Tierra. En *Procedimientos de Construcción*. España.

Whitlow, R. (1994). *Fundamentos de Mecánica de Suelos*. México: COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A. DE C.V.