



**FACULTAD DE CONSTRUCCIONES.**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

# ***TRABAJO DE DIPLOMA***

**Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Hidráulico**

**Tema: Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.**

**Autor: Ángel Raidel Leyva Antúnez.**

**Tutor: Dr C. Segundo Pereda Hernández.**

**Santiago de Cuba.**

**Curso: 2018-2019.**

**“ Año 61 de la Revolución. ”**



# *DEDICATORIA*

## **Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras**

- ❖ A la Revolución y a Fidel, que han permitido la realización de mi formación profesional.
- ❖ A mis padres, que me han apoyado tanto.
- ❖ A mi hermano y familia en general.
- ❖ A mis abuelos.
- ❖ A mi tutor.
- ❖ A todos mis compañeros.



# *AGRADECIMIENTOS*

## **Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras**

- A Dios por haber hecho realidad este sueño.
- A mis padres, Madeleine Antúnez Coca y Miguel Ángel Leyva Adames por su ejemplo de sencillez y voluntad, a mi hermano Brayan Alejandro Leyva Antúnez, por el apoyo brindado.
- A mis abuelos que, aunque algunos no estén han sido uno de los principales impulsores de que este sueño se haga realidad.
- A mi tutor: Dr.C. Segundo Pereda Hernández, por su dedicación, ejemplo y cariño demostrado desde los primeros días en el Departamento de Ingeniería Hidráulica.
- Al Dr. C. José Antúnez Coca quién a pesar de sus enfermedades me ha brindado todo su apoyo como asesor durante la realización de este trabajo.
- Al MSc. Onell Pérez Hernández por el apoyo brindado durante toda la realización de este trabajo.
- A mis tíos Juan del Toro Coca, Ana María Antúnez Coca, Luis Leyva Adames, Jorge Enrique Leyva Adames, Osmaris Leyva Calderín y Damaris Rodríguez por todo el apoyo brindado durante mi cursar por la Universidad.
- A todos mis compañeros de la Facultad de Construcciones en especial a: Alejandro Lobaina Rosell, Yuglia Argote Suarez, Nadieska Martínez La O, Alfredo Antón Gonzáles, Pedro Enrique Torres Céspedes, Emiliana Mambú Noe y Leodanis Labañino Hinojosa.
- A todos los que de forma directa e indirecta contribuyeron con mi formación.

A todos, mi eterna gratitud.



*PENSAMIENTO*

**Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras**

**La voluntad hidráulica no es suficiente y tiene que elaborarse toda una estrategia no solo del desarrollo total de los recursos hidráulicos, sino también de la utilización óptima del agua.**

**Fidel Castro Ruz**





# RESUMEN

## **Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras**

En el presente trabajo, se pretende dar respuesta a la comparación técnico - económica entre dos tecnologías diferentes en la forma de ejecución de la excavación de canales hidráulicos. Se trata del interés que suscita las diferencias sustanciales entre la tecnología convencional, es decir, en la que se emplean los equipos y técnicas convencionales de movimiento de tierras y la tecnología empleando explosivos. En ambos casos se solapan operaciones, las que no deberán afectar el proceso de comparación. Para dar respuesta a esta interrogante se tomó la construcción de un tramo de canal hidráulico para trasvase aproximadamente de 1km de longitud, el cual afortunadamente y para fines de confirmación de nuestra hipótesis ya se encuentra construido, se trata del canal Birán - Báguanos, tratado en la tesis de Ludia Matilla Ramírez del curso 2015-16. Es necesario aclarar que el alcance de este trabajo, se circunscribe exclusivamente a la excavación de la traza del canal con sus particularidades geométricas y topográficas, de modo que, no se trata de la construcción del canal en su totalidad, si no solo del proceso de su excavación con los dos métodos a comparar. Durante el desarrollo del trabajo se deberán emplear todos los conocimientos adquiridos en el decursar de la carrera, principalmente en aquellas asignaturas afines que le permitirán concluir con un documento de carácter general que brinda posibilidades de su empleo en el proceso docente educativo de la carrera.

---

---

**Abstract:**

---

In the present work, we intend to give answer to the technical cost-reducing comparison between two different technologies in the way of execution the excavation of hydraulic canals. It has to do with the interest that provokes the substantial differences between the conventional technology, and other one using explosives. We took the construction of a stretch of hydraulic canal for decanting approximately of 1km of length in order to give answer to this question.

It is necessary to become clear than the reach of our work, the excavation of the trace of the canal with his geometric and topographic particularities is circumscribed exclusively, of mode than, it does not have to do with the construction of the canal completely, but only of the process of his excavation with the two methods to make a comparison.

They will have to use all of the knowledge acquired in the time of the studies during the development of work, principally in those related subjects of study that it will be allowed coming to an end with a document of general character that offers possibilities of his job in the teaching educational process of the speciality.



# *INDICE*

**Índice:**

Introducción .....	1
Capítulo I: Marco Teórico Conceptual .....	7
1.1 Canales Hidráulicos .....	7
1.1.1 Un resumen histórico.....	7
1.1.2 Clasificación de los canales .....	8
1.2 Procedimiento para el diseño de canales: .....	8
1.3 Trazado de los canales. ....	9
1.4 Diseño de la Sección Típica Hidráulica. ....	9
1.4.1 Métodos utilizados para el diseño de la Sección Típica Hidráulica.....	10
1.5 Costos de los canales. ....	10
1.5.1 Movimiento de Tierra. ....	10
1.5.2. Equipos utilizados en el movimiento de tierra: .....	12
1.6 Excavación de canales.....	13
1.6.1 Excavación con el empleo de métodos convencionales.....	14
1.6.2 Excavación con empleo de explosivos. ....	16
1.6.3 Clasificación de las sustancias explosivas: .....	17
Capítulo II. Materiales y Métodos.....	20
2.1 Descripción del tramo en estudio.....	20
2.1.1 Investigaciones Ingeniero-Geológicas.....	20
2.1.2 Diseño hidráulico del canal. ....	21
2.2 Definiciones y Parámetros que es preciso considerar .....	22
2.3 Selección de los equipos: .....	23

## **Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras**

2.5 Cargadores .....	30
2.5.1 Campo de aplicación .....	31
2.5.2 Rendimiento Nominal de los Cargadores. ....	32
2.6 Camiones de volteo:.....	34
2.6.1 Características Principales.....	35
2.6.2 Campo de Aplicación de los Camiones de Volteo (CV). ....	36
2.7 Excavadoras.....	38
2.7.1 Campo de Aplicación. Rendimiento. ....	39
2.7.2 Determinación Analítica del Rendimiento Nominal: .....	39
2.8 Motoniveladora.....	43
2.8.1 Campo de aplicación. Rendimientos.....	44
2.8.2 Cálculo de la producción horaria de las motoniveladoras.....	45
2.9 Excavación del canal usando voladuras .....	48
2.9.1 Cálculo del tiempo de perforación del conjunto de barrenos y selección de la máquina de perforación.....	53
2.9.2 Cantidad de sustancia explosiva por barreno .....	55
CAPÍTULO III: COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS.....	60
3.1 Estructura del Costo Horario.....	60
3.2 Listado de equipos y materiales:.....	61
3.3 Cálculo de los costos de los materiales y equipos utilizando las técnicas convencionales. ....	62
3.4 Cálculo de los costos de los materiales y equipos utilizando la técnica de voladuras:.....	64
Conclusiones .....	67
Recomendaciones .....	68
Bibliografía .....	69
Anexos.....	72



# *INTRODUCCIÓN*

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladoras.

## **Introducción**

El agua potable es imprescindible para todas las formas de vida, incluida la humana de ahí que su acceso se ha incrementado sustancialmente durante las últimas décadas en la totalidad de la superficie terrestre. Sin embargo, estudios de la Organización de la Naciones Unidas para la alimentación (FAO), estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes del 2030. (Tamayo, 2011).

Hace millones de años el hombre se vio en la necesidad de buscar soluciones de llevar el agua de un lugar a otro para de esta forma satisfacer sus necesidades; ejemplo de esto es la construcción de grandes canales. Los egipcios fueron sin dudas los primeros pueblos que se sirvieron de canales para fertilizar los campos con las aguas del Nilo y los romanos construyeron canales, que constituyen obras de notable envergadura, de mampostería o excavados en rocas con arcos para cruzar los barrancos que conducían agua hacia las ciudades para su abastecimiento y para el riego de sus cultivos. (Matilla, 2016)

Sin duda alguna, los canales construidos en el viejo continente no fueron los únicos que se edificaron para llevar el agua hacia sus regadíos, también en América se destaca uno de los más importantes asentamientos poblacionales Los Mayas, construyeron complicadas redes de canales que conducían de partes altas del terreno hacia diferentes tipos de depósitos alimentándose de intrincados sistemas de desagüe que se originaban en las plazas y estructuras mayores.

Con el desarrollo de los diferentes regímenes sociales, la expresión de desarrollo de esta rama se alcanza con la era capitalista, pues surgen nuevas maquinarias como la excavadora con pala frontal o retroexcavadora, palas cargadoras, camiones de volteo (dúmpfer), tractores, traíllas, mototraíllas, perforadoras, etc. y se comienza a utilizar como técnica el uso de explosivo.

Antes del triunfo de la Revolución Cubana solo existían 13 pequeños embalses, dedicados principalmente al riego de la caña y al abastecimiento a la población, con una capacidad de 48 millones de metros cúbicos de agua parciales y existía 1 planta

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

depuradora de aguas residuales. En zonas rurales y de montaña estos servicios eran desconocidos por la población. (Romeo, 2016).

Cuba es uno de los países que lleva a cabo una intensa lucha para el ahorro y cuidado del agua por eso con el triunfo revolucionario de 1959, comienza un cambio en su política y la situación antes expuesta constituyó un reto que se debía superar, se establecieron normativas, decretos y nuevas leyes dirigidas al cambio. (Romeo, 2016).

En los años 1961 y 1962 el país sufrió grandes sequías que afectaron al sector agropecuario, seguido del arribo del ciclón Flora, en octubre de 1963, considerado hasta hoy como uno de los mayores desastres naturales que ha afectado a la nación. (Romeo, 2016).

Con el paso del Flora ocurrieron importantes daños en la agricultura y la ganadería y se lamentaron numerosas pérdidas de vidas humanas causadas por las innumerables inundaciones, lo que acentuó el papel estratégico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) creado en 1962, dio el nacimiento de un gran movimiento para la ejecución de obras de infraestructura hidráulica, el que se conoció como voluntad hidráulica. (Romeo, 2016).

La creación del INRH creó capacidades humanas y mecanismos que ponen hoy al país en una posición privilegiada por enfrentar los fenómenos naturales y sus secuelas de destrucción y muerte. Esto conllevó a la construcción de embalses, canales magistrales, obras de protección y estaciones de bombeo para el abasto de agua, acueductos y alcantarillados en las ciudades y en el campo, lo que favoreció además el beneficio de la agricultura y el desarrollo de la hidroenergía.

En la década de los 80 la voluntad hidráulica, enfrenta nuevos retos gracias a una nueva idea denominada "Rescate de la Voluntad Hidráulica" del Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz, el cual propone trasvasar el agua, es decir, llevar el vital recurso de un sitio a otro, orientando el 30 de septiembre de 1989, la construcción del Trasvase Este-Oeste, propuesta que se ve atrasada por el período especial y no es

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

hasta el año 2005 que se retoma la construcción del trasvase ya que en este año el país sufrió una intensa sequía principalmente en la zona Oriental. (Romeo, 2016).

El Trasvase Este-Oeste consiste en un complejo de obras, formado por presas, túneles y canales magistrales. Estos últimos son estructuras de un costo elevado fundamentalmente por los grandes movimientos de tierra que se realizan en su ejecución. La racionalización del costo total de un canal depende de una correcta excavación y utilización de su técnica, selección del trazado, un adecuado dimensionamiento de su sección transversal, de la tecnología de revestimiento empleada, de las condiciones geológicas e hidrológicas imperantes y de la construcción del mismo. (Lías, 2014.)

La construcción, es una tarea que puede parecer bastante tediosa en un principio, un elemento importante es su planificación y dentro de ella el costo de construcción de la obra en sí, en lo que se debe tener presente, los recursos materiales y humanos que participan y que generan gastos. En la ejecución, se lleva a cabo el mayor gasto en condiciones normales, pero hay otros gastos que son esenciales y no deben subestimarse.

Es importante reconocer que es insuficiente la información acerca de las ventajas y desventajas existentes entre las diferentes posibles variantes de ejecución de los canales hidráulicos, lo que nos permite adoptar como **problema de investigación:** La necesidad técnico-económica, de revelar los parámetros más convenientes de las técnicas empleadas en la ejecución de canales hidráulicos.

Este trabajo está dirigido a realizar la excavación de un canal hidráulico utilizando dos técnicas diferentes: las técnicas convencionales y la técnica de voladuras.

Lo que permite identificar como **objeto de investigación** el canal magistral Birán-Báguano -Banes (que tiene como objetivo el riego de zonas agrícolas.)

Por lo que se establece como **objetivo general de la investigación:** determinar los datos técnicos económicos en la excavación de canales con las técnicas convencionales y de voladuras en la construcción de un mismo objeto de obra.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

La necesidad de profundizar desde el aspecto teórico – práctico, revelado en las consideraciones anteriores, permite delimitar como **campo de acción**: Los Canales Hidráulicos.

En la argumentación del objeto y el campo de esta investigación, se logra establecer la necesidad de revelar las peculiaridades de las excavaciones de canales, desde su carácter multifactorial y el carácter singular de su construcción, lo que implica su significación técnica económica y lo erige en la orientación epistémica de la investigación.

En tal sentido se definen los siguientes **Objetivos Específicos**:

- 1 Realizar una investigación bibliográfica referente a la excavación de canales.
- 2 Realizar los cálculos técnico-económicos correspondientes a cada una de las técnicas empleadas en la excavación de canales.
- 3 Comparar según los resultados las técnicas empleadas.

Desde esta perspectiva, la **hipótesis** expresa; Si se realiza la comparación técnico-económica de las dos técnicas empleadas en la excavación del canal, entonces, será posible definir las diferencias entre ellas en su proceso constructivo.

Para el desarrollo de la lógica de la investigación, se realizaron las **tareas científicas** siguientes:

- 1 Análisis de la literatura escrita sobre la temática. (Estado del arte)
- 2 Seleccionar la brigada compleja adecuada para la ejecución de la obra con el empleo de la técnica convencional de movimiento de tierras.
- 3 Seleccionar la técnica de voladuras adecuada al caso.
- 4 Realizar los cálculos económicos correspondientes a cada una de las técnicas empleadas.
- 5 Comparar ambos resultados, teniendo en cuenta las variables técnico-económicas.

Para la consecución de los resultados se emplearon diferentes métodos de

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

investigación, destacándose entre los teóricos:

- Histórico-Lógico: para determinar las principales tendencias históricas de la excavación de canales.
- Análisis-Síntesis: para analizar toda la lógica técnico económica de los métodos de excavación de canales.
- ✓ Análisis documental: por esta vía, se estudiaron y sistematizaron los diferentes modelos de excavación de canales, sus antecedentes y fundamentos técnico-económicos en la excavación de canales.

Entre los métodos empíricos utilizados están:

- Observación: de las diferentes técnicas de excavaciones y como vía de constatación de los logros y dificultades evidenciados en este tipo de trabajo.
- El método estadístico - matemático: para la cuantificación y procesamiento de los datos obtenidos, como resultado de las encuestas y del trabajo con los especialistas, lo que posibilita su posterior análisis, interpretación y presentación.

Entre las técnicas y procedimientos utilizados se encuentran:

**Técnica de excavación convencional:** La excavación y extracción del material se puede realizar de forma manual y con el uso de maquinaria si se desea ahorrar tiempo y costos.

**Técnica de voladuras:** se utiliza cuando el área donde se realizará el trabajo está constituida por un manto de roca, por piedras de gran tamaño o en terrenos en los que se necesita realizar grandes volúmenes de excavación. Cabe resaltar, que antes de ejecutar este tipo de excavación debe realizarse un estudio previo de suelos.

La contribución a la teoría se expresa con un estudio de factibilidad técnico-económico, que permite establecer una lógica sustentada en la utilización de las técnicas de excavación de canales.

El aporte práctico de la tesis, está fundamentado en el empleo de la técnica de voladuras y la comparación con los métodos convencionales.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

**La significación práctica** se constata en el sentido social y está dada por el impacto positivo que se logra una vez realizado los cálculos correspondientes a dichas técnicas, se podrá definir la vía más efectiva y económica que permitirá concluir con un documento que brinde posibilidades de empleo en el proceso docente educativo de la carrera.

**La actualidad** se manifiesta en su correspondencia con una de las prioridades del Ministerio de la construcción y el INRH, relacionada con el perfeccionamiento constructivo de las obras hidráulicas, así como el perfeccionamiento de la calidad en los servicios prestados en el sector hidráulico



# *CAPITULO I*

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

## **Capítulo I: Marco Teórico Conceptual**

### **1.1 Canales Hidráulicos**

Son conductos abiertos en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, dado que la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera. (Rodríguez, 2011).

#### **1.1.1 Un resumen histórico.**

El conocimiento empírico del funcionamiento de los canales se remonta a varios milenios. En la antigua Mesopotamia se usaban canales de riego, en la Roma Imperial se abastecían de agua a través de canales construidos sobre inmensos acueductos, y los habitantes del antiguo Perú construyeron en algunos lugares de los Andes, canales que aún funcionan; claro es el ejemplo de los canales de Cumbe Mayo, el centro hidráulico más importante de los Andes. El conocimiento y estudio sistemático de los canales se remonta al siglo XVIII, con Chézy, Bazin y otros. (Ven Te Chow, 1982.)

#### Antiguo Egipto

Varios reyes de Egipto intentaron unir el mar Rojo con el Mediterráneo. Solimán II, emperador de los turcos, empleó sin ningún efecto más de cincuenta mil hombres para restablecer este canal, que había desaparecido debajo de la arena. (Ven Te Chow, 1982.)

Los egipcios fueron, sin duda, también uno de los primeros pueblos que se sirvieron de canales para fertilizar los campos con las aguas del Nilo y, cuando las tierras se hallaban demasiado altas, empleaban máquinas para elevar el agua a la altura necesaria. La mayoría de estas se dice que las inventó Arquímedes en su viaje a Egipto. Algunos suponen que la mayor parte de las bocas del Nilo fueron canales abiertos por la mano del hombre. Aristóteles decía que el brazo canópico era el único natural, mientras que Heródoto supone que solo el bolvítico y el bucólico eran artificiales. (Ven Te Chow, 1982.)

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Sesostris I y sus sucesores intentaron poner en comunicación el Nilo con el mar Rojo, en cuya empresa perecieron, durante el reinado de Neco, unos ciento veinte mil hombres. El proyecto se abandonó por la predicción de un oráculo que manifestó que por ese medio se abriría, quizá, un pasaje a los bárbaros. Más adelante continuó Darío este mismo canal que, según Heródoto, tenía ya cuatro días de navegación, al paso que Diodoro dice que este Príncipe no hizo más que construir una parte de él, dejando lo demás imperfecto por haberle demostrado que el mar Rojo estaba más alto que Egipto y que si cortaba el istmo inundaría todo aquel país, lo mismo que con poca diferencia refieren otros autores. (Ven Te Chow, 1982.)

### **1.1.2 Clasificación de los canales**

#### **• Los canales naturales:**

Incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes y estuarios de mareas. (Ven Te Chow, León, 1994).

#### **• Los canales artificiales:**

Son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de vegetación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canales de madera, etc. Así como canales de modelos construidos en el laboratorio con propósitos experimentales. (Ven Te Chow, 1994).

### **1.2 Procedimiento para el diseño de canales:**

En el diseño de un sistema de canales deben considerarse factores de estudios tales como: la topografía, textura y estructura de suelos, porosidad total y efectiva, capacidad de retención de agua, y en especial la permeabilidad de los diferentes estratos que permitirá determinar la presencia de capas impermeables o poco permeables que influirán en forma decidida en la altura del nivel freático dentro del perfil. Para un diseño apropiado es necesario hacer una serie de estudios, que permitan tomar las decisiones adecuadas. (Matilla, 2016).

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Como información general, se requieren planos geodésicos que aporten datos relacionados con el área ocupada, topografía; estudios anteriores relacionados al suelo de la zona que permitan establecer datos geohidrológicos valiosos para el análisis del problema; registros de las observaciones de aguas subterráneas.

Una vez que ya conocemos los parámetros; gasto máximo, velocidad máxima y área mínima, se deberá realizar iteraciones, de sucesivas secciones transversales a fin de encontrar aquella sección que sea capaz de trasladar de manera segura el caudal para el cual se diseña. (Ven Te Chow, 1994).

Luego de obtener los resultados generales del diseño del canal se procede a la construcción del mismo.

Es recomendable que el canal quede en corte o excavación, aunque puede aceptarse que parte de él quede en la plataforma de relleno. Para canales en media ladera se buscará que el tirante sea el máximo posible, a fin que el ancho del canal disminuya y el movimiento de tierras sea menor. Sin embargo, en suelos rocosos por consideración constructiva podría seleccionarse tirantes pequeños y utilizar la plataforma de excavación para el camino de mantenimiento.

### **1.3 Trazado de los canales.**

El criterio que dirige el trazado de los canales y la selección de una u otra posibilidad es el de conseguir la mayor eficiencia hidráulica y seguridad de las obras con el menor costo. Existe una vinculación estrecha entre el trazado en planta, la pendiente longitudinal y las dimensiones de la sección transversal con el costo total del canal. El trazado compromete el perfil del terreno y este a su vez condiciona las posibles pendientes de fondo necesarias para el correcto funcionamiento de la conducción. Al mismo tiempo la pendiente del fondo interviene de manera importante en las dimensiones de la sección transversal. (Matilla, 2016).

### **1.4 Diseño de la Sección Típica Hidráulica.**

En el diseño hidráulico de los canales se deben conjugar las leyes de la hidráulica con varios criterios técnicos, constructivos, de operación y de seguridad. La Sección

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Típica Hidráulica, STH se diseña considerando el régimen de circulación uniforme y que satisfaga a su vez los criterios establecidos. (Matilla, 2016).

#### **1.4.1 Métodos utilizados para el diseño de la Sección Típica Hidráulica**

Los métodos empleados para dimensionar la STH tienen su origen generalmente en la condición de no erosión que se adopte. Todos se basan en considerar la ocurrencia del régimen uniforme y por tanto deben satisfacer las ecuaciones características de este régimen de circulación. Las más empleadas en nuestro país son las ecuaciones de Manning y Chezy. (Matilla, 2016).

#### **1.5 Costos de los canales.**

El movimiento de tierra representa en muchos casos el valor mayor del costo de un canal, aunque en el caso de canales revestidos el costo del revestimiento puede incluso superar al del movimiento de tierra. El costo de las obras asociadas puede representar un 20 a un 30% del costo total en canales largos, pero incluso puede superar el 50% en canales cortos con trazados complejos. (Matilla, 2016).

##### **1.5.1 Movimiento de Tierra.**

Se denomina movimiento de tierras al conjunto de operaciones que se realizan con los terrenos naturales, a fin de modificar las formas de la naturaleza, obtención de materiales (gravas, arenas, metales y otros) o de aportar materiales útiles en obras públicas, minería o industria. El costo del movimiento de tierra está asociado a los volúmenes de excavación, de relleno, de compactación, así como, de traslado y acarreo, en función del tipo de terreno y del equipamiento o método de realizar cada una de las operaciones. (Matilla, 2016).

En el cálculo de estos volúmenes de movimiento de tierra se utilizan el método de las secciones o el de las cuadrículas y se debe tener en cuenta los cambios de volúmenes experimentados por el suelo en las diferentes operaciones, lo que influye directamente en el cálculo y cantidad de equipos de movimiento de tierra. (Matilla, 2016).

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

**Cambios de volumen:** Los terrenos, ya sean suelos o rocas más o menos fragmentadas, están constituidos por la agregación de partículas de tamaños muy variados. Entre estas partículas quedan huecos, ocupados por aire y agua. Si mediante una acción mecánica variamos la ordenación de esas partículas, modificaremos así mismo el volumen de huecos. Es decir, el volumen de una porción de material no es fijo, sino que depende de las acciones mecánicas a que lo sometamos. El volumen que ocupa en una situación dada se llama volumen aparente. (Matilla, 2016).

En Cuba, se emplea una tabla muy general para establecer los diferentes valores de los volúmenes de los materiales según sea el caso, pues existen cambios en dichos volúmenes de acuerdo con la acción que reciba, la tabla se explica por si sola. (Ver tabla1).

Tabla I. Coeficientes de cambios de volumen de los Materiales de suelos. Fuente: Precons II, (2008).

Clase de suelo	Estado actual del material	Transformado a:		
		Natural	Esponjado	Compactado
Arena	Natural			
	Esponjado	1.00	1.11	0.95
	Compactado	0.90	1.00	0.86
Tierra común y Mat. Húmedos.	Natural	1.00	1.25	0.90
	Esponjado	0.80	1.00	0.72
	Compactado	1.11	1.39	1.00
Arcilla y rocosos.	Natural	1.00	1.43	0.90
	Esponjado	0.70	1.00	0.63
	Compactado	1.11	1.59	1.00

**Esponjamiento y factor de esponjamiento:** Al excavar el material en banco, éste resulta removido con lo que se provoca un aumento de volumen. Se denomina factor

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

de esponjamiento (Swell Factor) a la relación de volúmenes antes y después de la excavación.

### **1.5.2. Equipos utilizados en el movimiento de tierra:**

Según el trabajo de diploma de (Matilla, 2016) se puede clasificar la maquinaria de excavación y movimiento de tierras, atendiendo a su medio de traslación, en dos grandes grupos.

- Máquinas que excavan situadas fijas, sin desplazarse: Realizan excavaciones en desmontes o bancos. Cuando la excavación a realizar sale de su alcance, el conjunto de la máquina se traslada a una nueva posición de trabajo, pero no excava durante este desplazamiento. Entre los cuales tenemos: Excavadoras hidráulicas con cazo o martillo de impacto, excavador de cables (scrapers de cable), Dragalinas (excavadoras de arrastre).
- Máquinas que excavan y trasladan la carga: son máquinas que efectúan la excavación al desplazarse, o sea, en excavaciones superficiales. La excepción es la cargadora, que cuando excava es en banco, pero luego se traslada con la carga, aunque la aplicación normal de ésta máquina es para cargar material ya excavado o suelto. Entre los cuales tenemos: Tractores con hoja empujadora, Tractores con escarificador, Mototraillas, Cargadoras de cadena o estera y de neumáticos, excavador de rueda frontal, excavadoras de cangilones y Dragas de rosario.

En el caso de este trabajo, se realizará la selección de los equipos más convenientes, según criterio propio, para la ejecución de la excavación siguiendo el concepto de brigada o conjunto de equipos, que se refiere a aquella brigada de equipos que realizan la labor con criterio de conjunto o agrupación interrelacionados y donde uno de ellos se constituye como equipo guía lo que permitirá hacer un balance de la brigada y por tanto obtener la mejor variante, que significa que si lo mejor, está relacionado con el costo, el mejor conjunto será el que logre el más bajo de los costos, por el contrario, si lo que se quiere es

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladoras.

terminar cuanto antes, entonces lo mejor será el conjunto que tenga mayor rendimiento y por tanto tomará menos tiempo en la ejecución.

### *El impacto ambiental en las obras de movimiento de tierra*

Toda obra relacionada a una actividad de movimientos de tierra conlleva consigo misma una inherente perturbación al medio ambiente en el cual se va a desempeñar y en la cual contribuirá de forma positiva o negativa al cambio físico de la naturaleza. (Matilla, 2016).

### *Alteraciones temporales durante la fase de ejecución.*

El movimiento de material contribuye a la perturbación de la flora y fauna, la gran cantidad de ruidos y vibraciones producidos por las maquinarias constituyentes de estos proyectos conllevan a una contaminación auditiva. La degradación de las aguas afecta seriamente a la fauna acuática. (Matilla, 2016).

*Protección de las actuaciones de alteraciones geomorfológicas:* las medidas paliativas al movimiento de tierras, son la restauración revegetalizada de las superficies afectadas, la cual independientemente del efecto paisajístico tiene otro más importante, que es la contención de la erosión producida por las lluvias. (Matilla, 2016).

## **1.6 Excavación de canales.**

La **excavación** es el proceso de excavar y retirar volúmenes de tierra u otros materiales para la conformación de espacios donde serán alojados cimentaciones, tanques de agua, hormigones, mamposterías y secciones correspondientes a sistemas hidráulicos o sanitarios según los planos de cada proyecto. (Artículo 210-07, Instituto Nacional de Vías).

A partir de que el objetivo de este trabajo es la comparación entre los dos métodos seleccionados para la excavación del canal de referencia, se hará un breve resumen de ambos métodos.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

### **1.6.1 Excavación con el empleo de métodos convencionales.**

Llamamos métodos convencionales a aquellos donde se encuentran los equipos de movimiento de tierra antes mencionados.

En el Artículo 210-07, Instituto Nacional de Vías se constata que: “La construcción de los canales, zanjas de drenaje, zanjas interceptoras y acequias, así como el mejoramiento de obras similares y cauces naturales se deberá efectuar de acuerdo con los alineamientos, secciones y cotas indicados en los planos determinados por el Proyectista. En general, en esta clase de obras la pendiente longitudinal no deberá ser menor de 0.25%, salvo que el Proyectista decida lo contrario.”

“Toda desviación de las cotas y secciones especificadas, especialmente si causa estancamiento del agua o erosión, deberá ser subsanada por el Constructor, a entera satisfacción del Proyectista.”

“Todos los materiales provenientes de las excavaciones de los canales que sean utilizables y, según los planos y especificaciones o a juicio del Proyectista, necesarios para la construcción o protección de terraplenes, pedraplenes u otras partes de las obras proyectadas, se deberán reutilizar en ellos.”

“Los materiales provenientes del destape se deberán almacenar para su uso posterior en sitios accesibles y de manera aceptable para el Proyectista; estos materiales se deberán usar preferentemente para el recubrimiento de los taludes de los terraplenes terminados.”

“Los materiales sobrantes de la excavación deberán ser colocados de acuerdo con las instrucciones del Proyectista y en zonas aprobadas por este; se usarán de preferencia para el tendido de los taludes de terraplenes o para emparejar las zonas laterales de la vía cercanas al mismo.”

“Cuando los materiales sobrantes no se puedan emplear en las obras del proyecto, se deberán transportar y disponer en vertederos conforme a lo indicado en los planos del proyecto, las especificaciones particulares o las instrucciones del Proyectista.”

“Los materiales aprovechables de la excavación de los canales y obras similares, se deberán utilizar en los terraplenes del proyecto, extender o acordonar a lo largo de

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

los cauces excavados, o disponer según lo determine el Proyectista, a su entera satisfacción.”

Orta Amaro, plantea en su libro Maquinarias de Movimiento de Tierra que en el proceso de excavación de los canales se realizan cortes a lo largo del canal, mediante su eje longitudinal, no mayores de 30m, depositando y entongando el material hasta que exista una pila de buen tamaño, la cual una vez formada se empujará transversalmente fuera del área del canal. Conociendo el fin del talud (mediante las estacas fijadas por la comisión de topografía), se procede a excavar y conformar estos transversalmente hasta culminarlos. (Orta, 2016).

El Art. 321 de Excavación en zanjas y pozos, plantea que, “entre las tareas de excavación de zanjas, incluyen la preparación, la excavación y nivelación de la misma; se considerará la cama de asiento si fuese necesario, el relleno de la zanja y el retiro y transporte del material sobrante.”

“Una vez realizado el destape, el desbroce y el replanteo de la zanja, se procede a excavar la misma. De modo que la carga del material se realiza si lo permite el ancho de la zanja, ubicando la retroexcavadora en el eje de la zanja, a la cota del terreno sin excavar para terrenos de tierra, o recién volados en terrenos rocosos, retrocediendo la retroexcavadora a medida que va avanzando el frente.”

“Los camiones que retirarán la carga se ubican a un costado de la zanja, a la cota del terreno natural. Deben cuidar de no hacer acopios ni acercarse a los camiones a una distancia mínima que se calcula igual a la altura de la zanja, tomada desde el borde. A medida que se va excavando, se determinan las características del material obtenido para darle el destino, ya sea: relleno de la zanja, transporte a vertedero u otro uso.”

“Se tomará todas las medidas indispensables para mantener drenadas las áreas de excavación y demás áreas de trabajo. Se deberá tener cuidado para que no se presenten depresiones y hundimientos. La superficie final de la excavación deberá encontrarse libre de cavidades que permitan la retención de agua y tendrá, además,

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

pendientes transversales y longitudinales que garanticen el adecuado drenaje superficial. “

“Si las excavaciones presentan deterioro antes del recibo definitivo de las obras, se eliminarán los materiales desprendidos o movidos y posteriormente se realizarán las correcciones complementarias ordenadas por el cliente, con el fin de asegurar la estabilidad de las excavaciones en todo momento.”

“No se colocará material excavado en sitios donde interfiera con el drenaje de aguas superficiales o subterráneas, y por ningún motivo se arrojará materiales provenientes de la excavación sobre fuentes de agua existentes en el área de los trabajos.”

### **1.6.2 Excavación con empleo de explosivos.**

Un explosivo es aquella sustancia que por alguna causa externa (roce, calor, percusión, etc.) se transforma en gases; liberando calor, presión o radiación en un tiempo muy breve. (Artículo, Internet; explosivos).

La excavación de zanjas con explosivos presenta una serie de características particulares que obligan a modificar los criterios de diseño de las voladuras en banco y a adaptar las mismas a la naturaleza cambiante de las rocas, así como a tomar medidas especiales en lo referente al control de las vibraciones y proyecciones, pues es frecuente que tenga que realizarse cerca de núcleos urbanos. (López, 1970).

Paralelamente, la perforación de barrenos progresó con acontecimientos decisivos como fueron en 1861 la aplicación del aire comprimido como fuente de energía en los equipos rotopercutivos, la utilización de las grandes perforadoras rotativas y de los martillos de fondo desde la década de los 50 y el desarrollo de los martillos hidráulicos a finales de los años 70. (López, 1970).

El arranque con explosivos es desde el siglo XVII, cuando se empezó a utilizar la pólvora en minería, uno de los métodos más populares. Los avances que han marcado hitos históricos han sido el invento de la dinamita por Alfred Nobel en 1867, la utilización del ANFO a partir de 1955, el desarrollo de los hidrogeles desde finales de los años 50 hasta nuestros días, y por último, la preparación de agentes

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

explosivos como las emulsiones, el ANFO pesado, etcétera, que se encuentran aún en evolución. (López, 1970).

No obstante, la voladura de rocas, se ha considerado hasta épocas recientes como un arte nacido de la pericia y experiencia de los artilleros, pero en la actualidad ese procedimiento de arranque se ha transformado en una técnica basada en principios científicos surgidos del conocimiento de las acciones ejercidas por los explosivos, los mecanismos de rotura de la roca y propiedades geomecánicas de los macizos rocosos. (López, 1970).

### **1.6.3 Clasificación de las sustancias explosivas:**

La clasificación de las sustancias explosivas de diferentes tipos puede efectuarse de múltiples maneras, no obstante, hay tres formas principales ampliamente aceptadas: por naturaleza, por sensibilidad y por utilización. Más aún en la clasificación que se da es muy difícil y es frecuente encontrar tipologías con base en un grupo químico funcional y en nombres comerciales cuando se trata de mezclas de sustancias explosivas. (Artículo internet.)

La excavación con explosivos involucra riesgos, es una operación peligrosa que debe ser confiada a personal capacitado para esta especialidad. Por ello se establece un **plan de seguridad** antes de comenzar con las detonaciones. (Arguelles, 2011).

#### *Medidas de seguridad*

1. El trabajo se realiza con unos taladros llamados barrenos, en la roca de mayor o menor longitud, en función del frente a abrir.
2. Luego se limpia el barreno, se carga el cartucho y se lo introduce en el barreno. A continuación, se limpia el barreno cuidadosamente, se carga el cartucho, se introduce en el barreno, se retaca, se conectan los detonadores a la fuente de alimentación y se detonan.
3. Después se debe comprobar que todos los barrenos hayan explotado y que no ha habido alguno fallido.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

4. Para efectuar *desmontes* se ejecuta por bancos, no superando nunca los 15 metros de altura.
5. Para efectuar *terraplenado*, se rellena con material hasta la marca de la cota. Este relleno se realiza por tongadas que se van apisonando hasta lograr la compactación necesaria.
6. Se utilizan tierras naturales y limpias; pueden ser obtenidas de la propia excavación o de préstamos que ya se definen en la etapa de proyecto, o se autorizan por el Director de Obra.

### *Trabajos en Tierra*

Tendrá en consideración los siguientes ítems:

1. Características del terreno, tales como: cohesión, densidad, compacidad; son factores que influyen en el rendimiento de la maquinaria.
2. Factores intrínsecos del terreno, tales como: asentamientos, niveles freáticos, zonas plásticas, que pueden incrementar la medición.
3. Factores externos, tales como factores climáticos, tendidos aéreos o subterráneos, edificaciones vecinas, tráfico, que pueden hacer que se paralice la excavación.
4. Formas de ejecutar las excavaciones, teniendo en cuenta profundidad, sección, altura, etc.; esto nos orientará hacia el tipo de maquinaria más adecuada a emplear.

Los trabajos en tierra se realizan por lo general por medios mecánicos con la maquinaria adecuada en cada caso.

Durante los Trabajos de Replanteo debemos prever la ubicación de rampas para salida y entrada de camiones; es necesario delimitar el área de nuestra actuación y marcar puntos de referencia externos que nos sirvan para tomar datos topográficos.

Deberá tener en cuenta la cota final de la excavación y dejar las tierras a nivel, ya que resultaría muy costoso tener que volver a rellenar lo ejecutado.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Es importante conocer el ángulo de talud natural del terreno, sobre todo los de poca cohesión, conocer la ubicación exacta al excavar dejando paramentos ataluzados.

El talud adecuado a cada terreno no solo se aplica al corte principal sino a todos los frentes de excavación, incluyendo las rampas. (Mengual, 2008).

Aunque el método más apropiado dependa del terreno, de la litología, etc., la apertura de canales con zanjadoras resulta ser, mayoritariamente, el sistema más eficiente, por cuanto constituye la máquina un avance en cuanto a la tecnología. Sin embargo, la selección del método dependerá de la disponibilidad de máquinas que tengan las empresas nacionales. A continuación, se muestra una tabla donde se reflejan las características de cada uno de los métodos mencionados. (Ver tabla II)

Tabla II: Comparación entre las técnicas convencionales y voladuras. Fuente: Mengual, (2008).

<b>Efectos Resultantes de la excavación con explosivos.</b>	<b>Efectos resultantes de la excavación con métodos convencionales.</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>-Sobrexcaación importante.</li><li>-Sección de la zanja muy irregular e inestable.</li><li>-Dispersión del material excavado pudiendo causar problemas medioambientales y contaminación de los cauces colindantes.</li><li>-El material resultante de la excavación necesita ser evacuado de forma temporal o definitiva.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Sobrexcaación moderada.</li><li>-Sección de la zanja irregular.</li><li>-Los materiales excavados y depositados cerca de la zanja pueden causar problemas medio-ambientales.</li><li>-Parte del material resultante de la excavación necesita ser evacuado de forma temporal o definitiva.</li></ul>



## *CAPITULO II*

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

## **Capítulo II. Materiales y Métodos**

En este capítulo se realizará la selección de los métodos de excavación que se emplearan en la obra. Se comenzará con la determinación de las características del suelo, puesto que cualquier método de excavación, ya sea con equipos de movimiento de tierra y/o con el uso de explosivos y barrenación, depende del tipo de suelo, en tal sentido se empleará un método relativamente simple. En Cuba existe la empresa nacional de investigaciones aplicadas (ENIA), que se encarga de satisfacer las necesidades de las empresas de la construcción en tal dirección. De acuerdo con nuestra decisión de trabajar un canal ya construido, podemos tomar directamente los tipos de suelo allí seleccionados, por lo que resumiendo, se dará las características del suelo objeto de investigación en la tesis que hicieron el diseño hidráulico del canal Mejías-Báguanos.

### **2.1 Descripción del tramo en estudio.**

El canal magistral Birán-Báguano-Banes nace en la presa Birán y toma rumbo norte pasando por los poblados Cueto, Báguano y Tacajó, llega a las inmediaciones de Banes, por el sur, luego de cruzar la carretera a Guardalavaca. Tiene una longitud de 68 km hasta el municipio de Banes. En el recorrido desde la presa Birán hasta el municipio Báguano tiene una longitud de 30 km que a su vez está subdividido en tres tramos, cada uno de 10 km de longitud. Para este trabajo de diploma se utilizará 10 km de longitud de los últimos 10 km que se ha designado como tramo III de nombre Mejías-Báguano.

#### **2.1.1 Investigaciones Ingeniero-Geológicas**

Geológicamente se caracteriza por sedimentos de la formación Río Jagüeyes, que está constituida por Margas, Aleurolitas y Calizas, también se puede encontrar la formación Camazán constituida por Calizas, Margas y Calcarenitas. Información que se encuentra en el plano Geológico Canal Tramo III Birán-Báguano-Banes de las investigaciones ingeniero-geológica tramo III Presa Mejías-Báguano.

En la zona de estudio aparecen dos capas ingeniero-geológicas:

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Capa Nº 1. Es la capa vegetal, de color pardo oscuro a pardo crema y composición arcillosa, plástica, carbonatada, con fragmentos pequeños de caliza y potencia promedio de 0.20-0.45 m, que puede ser superior. Esta capa no tiene importancia a los efectos prácticos de la construcción del canal, sin embargo, debe situarse en un lugar previsto en el proyecto de organización de obra para ser reutilizada posteriormente en la conformación del relieve natural.

Capa Nº 2. Es una arcilla de muy alta plasticidad, con hinchamiento alto, ligeramente húmeda, de consistencia media, carbonatada, que clasifica como CH. El color varía generalmente de pardo amarillento a pardo amarillento con tonalidades grisáceas en la zona comprendida desde la superficie del terreno hasta la cota de fondo del canal.

### 2.1.2 Diseño hidráulico del canal.

#### *Diseño de la Sección Típica Hidráulica*

- Caudal de diseño: 7.5 m<sup>3</sup>/s.
- Talud del canal: 1.5 (de acuerdo al tipo de terreno arcilloso).
- BL: 0.2 m
- So: Pendiente media.

Los resultados del diseño de la STH del tramo de estudio se encuentran en la tabla III

Tabla III. Resultados del diseño de la STH. Fuente: Matilla, (2016).

Resultados								
Parámetros hidráulicos y de la STH								Régimen
L(m)	b (m)	Yn (m)	V (m/s)	P (m)	Yc (m)	T (m)	H (m)	
1000	3.0	2.05	0.85	8.64	1.04	7.40	2.25	Subcrítico

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

En la Tabla IV se muestran los Resultados de los volúmenes de trabajo del tramo en estudio según el Trabajo de Diploma de Ludia Matilla Ramírez que resultó del cálculo de la variante 6 empleando el Programa AutoCAD Land.

Tabla IV Resultados de los volúmenes de trabajo. Fuente: Matilla, (2016).

<b>Desbroce (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Excavación (m<sup>3</sup>)</b>
22412,874	116304,295

## **2.2 Definiciones y Parámetros que es preciso considerar.**

### *Densidad del Material.*

Considerando el peso, tamaño de partícula y el contenido de humedad de los diversos materiales dentro de estas categorías, la densidad (peso específico en toneladas por metro cúbico) según su estado, puede tener importantes variaciones. (Ballester- Capote, 1997).

Para obtener la densidad de un material se utiliza comúnmente su Peso en Banco. Normalmente cuando un contratista oferta una excavación de un determinado número de metros cúbicos, se considera ese material en su estado natural sin modificar. El contratista licita entonces sobre metros cúbicos en banco (bm<sup>3</sup>). (Ballester- Capote, 1997).

### *Esponjamiento.*

Cuando se excava un material, normalmente se fractura en partículas menores que ya pueden ajustarse entre sí tanto como estaban en su estado natural. Esa reacomodación de las partículas crea huecos en el material, provocando un incremento de su volumen llamado esponjamiento. Ahora el material debe medirse en metros cúbicos sueltos (sm<sup>3</sup>). Por ejemplo, 2,1 toneladas de tierra húmeda que ocupasen exactamente un metro cúbico en banco, ocuparán aproximadamente 1,25 metros cúbicos cuando la excavemos con una pala. Este aumento de volumen

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

(esponjamiento) se expresa como el porcentaje de aumento de volumen respecto a su estado natural. El material de nuestro ejemplo tiene un esponjamiento del 25% o, expresado de otro modo, tiene un factor de esponjamiento, hinchamiento o expansión de 1,25. (Ballester- Capote, 1997).

Es importante utilizar el factor de esponjamiento porque la capacidad de la mayoría de la maquinaria de movimiento de tierras se mide en metros cúbicos.

Aplicando otro factor, el factor de corrección en banco o factor volumétrico de corrección (FVC), convertimos los  $\text{sm}^3$  en  $\text{bm}^3$ . El FVC se calcula con la fórmula:

$$FVC = \frac{100}{100 + \text{esponjamiento}} \quad (1)$$

Si introducimos el 25 por 100 de esponjamiento, determinamos, que el

$$FVC = \frac{100}{100 + 25} = 0,8$$

### **2.3 Selección de los equipos:**

Se tomará de forma preliminar los siguientes equipos:

Buldócer (BE), Mototrailla (MT), Motoniveladora (MN), Cargador frontal sobre gomas (CG), Retroexcavadora (RE) y Camión de Volteo (CV).

A partir de la organización realizada y el método de trabajo empleado, se establecerán las fórmulas que rigen el proceso de cada uno de ellos, lo que servirá como conocimiento general y también permitirá en caso de ser conveniente, hacer los análisis correspondientes cuando los rendimientos no se correspondan con las condiciones reales de la obra, es por ello que de forma detallada se harán los cálculos de cada uno de los equipos que intervienen en el proceso de excavación.

### **2.4 Buldócer**

Es una máquina que es imprescindible en éste tipo de obra, usándose como máquina principal o auxiliar. El buldócer puede ser montado sobre esteras o sobre neumáticos y sirve para hacer traslados de volúmenes de material a distancias

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

relativamente cortas, condición que se tendrá en cuenta en el momento de precisar sus condiciones de trabajo en el frente. (Pereda, 2002.)

Sin embargo, dadas las posibles situaciones que se pueden presentar durante la construcción del tramo de canal nos inclinamos por la selección de un buldócer sobre esteras o cadenas, principalmente por sus ventajas en cuanto al agarre sobre el suelo de tierra en caso de existir un considerable aumento de la humedad por las lluvias u otras causas.



Fig. 1 Buldócer. Fuente: Mascus, (2017.)

Según (Pereda, 2002.) el rendimiento del Buldócer se calcula por la siguiente fórmula:

$$RBE = C n , m^3/h \quad (2)$$

Dónde:

C, es la capacidad del volumen del prisma formado delante de la hoja en metros cúbicos.

n, es el número de ciclos por hora, que está formado por la sumatoria de los tiempos gastados por los mandos del equipo durante su trabajo, en minutos, de manera que:

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

$n = 60/t_c$

(3)

Donde  $t_c$ , es el tiempo del ciclo en minutos.

En el rendimiento del buldócer como en cualquier máquina de trabajo cíclico tiene una primordial importancia, la capacidad **C** frente a la hoja del equipo, la cual estará influenciada por las características del suelo, como ya hemos mencionado y desde luego, también por la potencia de los motores, de acuerdo con la cual se tomarán las dimensiones de la hoja.

De acuerdo con el trabajo de (Simoneaux, 2009), hay una forma típica de mover el buldócer en el frente de trabajo cuando se trate de un canal o zanja, en las siguientes figuras, 2 y 3 se refleja la forma.

Como se plantea en la literatura consultada los pases se harán longitudinalmente al eje del canal, haciendo una pila al final que es recomendable sea a los 30-50 metros, de donde se puede recoger en los camiones de volteo, con la ayuda de un cargador frontal.

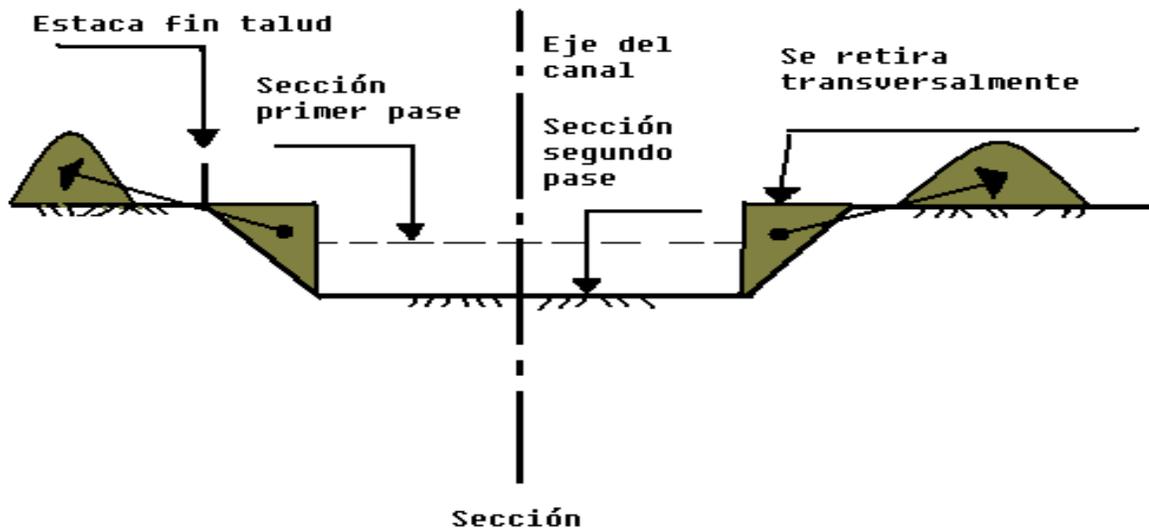


Figura: 2. Apertura o excavación de canales de sección trapezoidal. Fuente: Simoneaux, (2009)

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

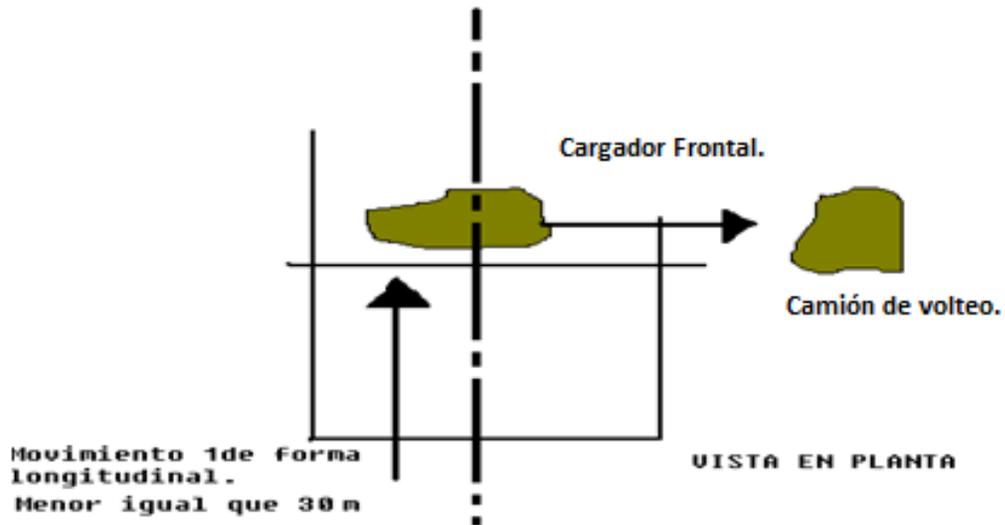


Figura: 3. Vista en planta. Fuente: Simoneaux, (2009)

El rendimiento del BE como fue expresado antes, depende de varios factores, así como de la organización en el frente de trabajo.

Es decir, cómo se evidencia el rendimiento depende de la capacidad de la hoja del buldócer y del número de ciclos por hora, desde el principio se decidió tomar la distancia de acarreo del material cortado por la hoja en 40 m, debido a que como se sabe la distancia de acarreo juega un papel decisivo en el rendimiento del equipo, de tal manera que eso se refleja en la fórmula a través del volumen frente a la hoja, representado por el volumen del prisma de arrastre  $V_p$  (ver gráfico, fig. 4)

$$C = V_p \times \beta, m^3 \quad (4)$$

Dónde:

$V_p$  = volumen del prisma de arrastre, que dependerá del ancho  $L$  y altura de la hoja  $h$  en m y del tipo de material, ángulo que forma el lado inferior del prisma de tierra con la horizontal,  $\tan \alpha$ . De modo que, variando los valores de esos parámetros, podremos cambiar el rendimiento del BE.

$$V_p = h^2 L / 2 \tan \alpha \quad (5)$$

$\beta$  Sin embargo dependerá de las pérdidas que se produzcan durante el traslado o acarreo del material, normalmente, se toman las pérdidas cuando el acarreo es

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladoras.

horizontal y se suman cuando hay pendiente hacia abajo o se restan cuando la pendiente es subiendo. (Baladinski)

$$\beta = 1 - mL \quad (6)$$

El coeficiente m varía de acuerdo con las características del suelo.

Para arenas secas.....m=0,004

Para suelos cohesivos secos.....m=0,008

Para suelos cohesivos y humedad normal...m=0,006

Hasta ahora, solo hemos prestado atención al valor de C, sin embargo, no es menos importante el valor de número de ciclos por hora n.

$$n = \frac{60}{t_c}, \text{ ciclos por hora.} \quad (7)$$

Donde  $t_c$  es el tiempo que toma un ciclo de trabajo en minutos.

$$t_c = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \text{ min} \quad (8)$$

Donde

$t_1$  = tiempo para el corte del suelo, hasta llenar el prisma de arrastre,

$t_2$  = tiempo de acarreo del suelo,

$t_3$  = tiempo de descarga del suelo, (para nuestro caso es 0)

$t_4$  = tiempo de retorno vacío,

$t_5$  = tiempo de cambio de marcha. (Se toma de acuerdo con la práctica como 0,17 min)

Los tiempos dependerán de las velocidades tomadas en cada una de las fases de excavación, así que el corte debería realizarse siempre en 1ra y puede que en 2da si el suelo es blando o ya está excavado, el arrastre del prisma podrá realizarse según circunstancias en 1ra o 2da y el retroceso en la máxima velocidad, todas en km/h.

Como se evidencia analizando las fórmulas, el rendimiento será tanto mayor cuanto menor sea el tiempo del ciclo.

De acuerdo con los gráficos de rendimiento de las máquinas de trabajo cíclico, a medida que aumenta la distancia disminuye el rendimiento, por lo que para el

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

buldócer, en dependencia de su potencia esa distancia está alrededor de 30-50 m. sumando las distancias de corte y acarreo.

Del gráfico se comprende por evidencia, que de acuerdo con la distancia de trabajo así varía el rendimiento del equipo, lo mismo se cumple para cualquier otro equipo de trabajo cíclico, como es el caso de los camiones de volteo, la Mototrailla, la motoniveladora y el cargador frontal.

Ahora estamos en condiciones de calcular el tiempo de ejecución de la obra, partiendo de los volúmenes calculados para la excavación.

$$T = \frac{\text{Volumen de Excavación}}{\text{Rendimiento Real BE}}, \text{ horas.} \quad (9)$$

El rendimiento real, es el mismo nominal o teórico afectado por el coeficiente de utilidad productiva que en este caso se aceptará un valor **de 0,70** como suficientemente bueno.

Por lo tanto:

$$Rr = Rn \times Kup \quad (10)$$

Datos:

Modelo de la hoja D 7R-7U

$$m=0.006m \quad \alpha=30^{\circ}$$

$$\text{Largo de la hoja} = 2.70m \quad l_1=10m \quad l_2=40m \quad l_3=50m$$

$$\text{Altura de la hoja} = 0.93m \quad V_c=3.7 \text{ k/h} \quad V_a=6.9 \text{ k/h} \quad V_{ret}=8.3 \text{ k/h}$$

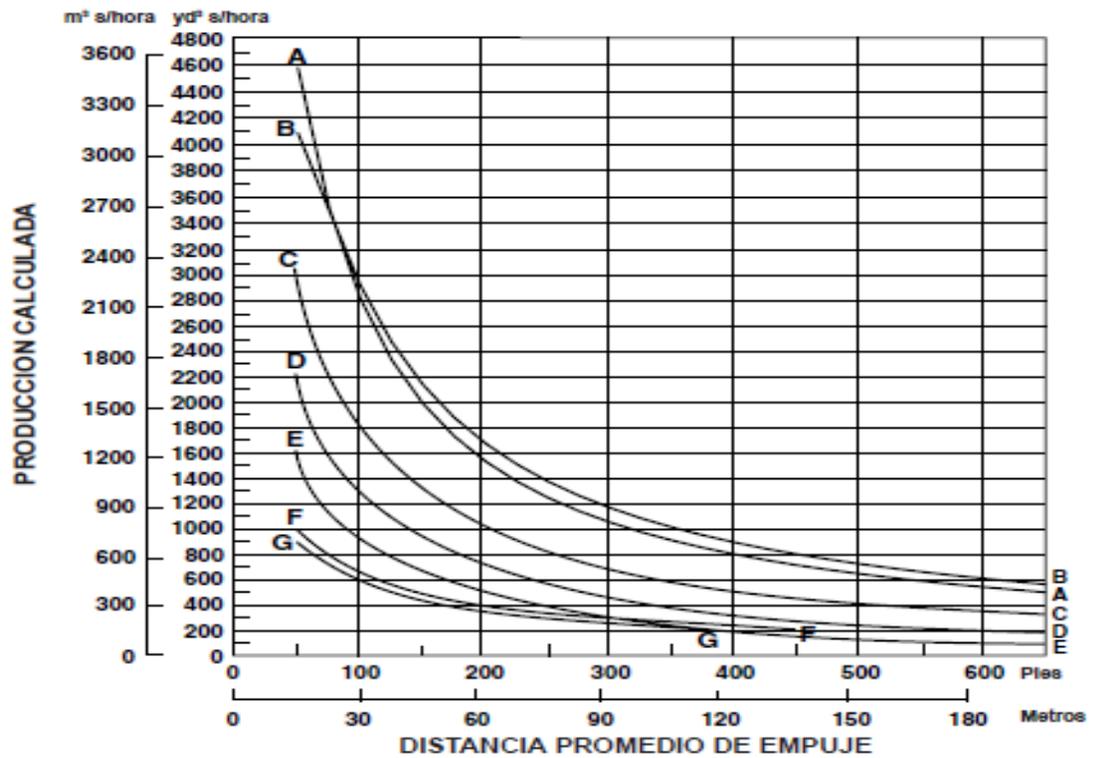
$$Vp = \frac{h^2 L}{2 \tan \alpha} = \frac{(0.93)^2 \times 2.70}{2 \tan(30)} = 2.02m^3$$

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladoras.

Hojas Topadoras

Cálculos de producción  
● Hojas U

PRODUCCION CALCULADA ● Hojas universales ● D7G hasta D11R



CLAVE

- A — D11R-11U
- B — D11R CD
- C — D10R-10U
- D — D9R-9U
- E — D8R-8U
- F — D7R-7U
- G — D7G-7U

NOTA: Este gráfico se basa en gran número de pruebas y estudios en condiciones y trabajos diversos. (Consulte los factores de corrección que hay después de estas gráficas.)

Figura 4. Gráfico de rendimiento contra distancia. Fuente: Caterpillar, (2001).

$$R_n = C \cdot n \quad \beta = 1 - m \cdot l = 1 - 0.006 \cdot 40 = 0.76m$$

$$C = V_p \cdot \beta \quad C = 2.02 \cdot 0.76m = 1.53 \text{ m}^3$$

$$n = 60/t_c \quad T_c = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$$

Los tiempos se calculan por la siguiente formula:

$$t = \left(\frac{l}{v}\right) \times 60 \quad (11)$$

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

$$t_3 = 0 \quad t = (l/v) * 60 \quad t_1 = 0.16 \text{ m} \quad t_2 = 0.35 \text{ m} \quad t_4 = 0.36 \text{ m} \quad t_5 = 0.34$$

$$t_c = 0.16 + 0.35 + 0.36 + 0.34 = 1.21 \text{ m}$$

$$n = 60/t_c = 60/1.21 = 49.59 \text{ ciclos /hora.}$$

$$R_n = C * n = 49.59 * 1.53 = 75.87 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$R_r = R_n * 0.70 = 75.87 * 0.70 = 53.109 \text{ m}^3/\text{h}$$

$T = \text{volumen}/R_r = 116304.295/53.109 = 2189.92 \text{ h}$ , si tomamos un régimen de trabajo de 10 horas diarias entonces, la excavación por BE usando un solo equipo se extenderá por 218.992 días, lo que equivale a 7 meses y 3 días sin interrupciones.

## **2.5 Cargadores**

Máquina autopropulsada sobre ruedas o cadenas, equipada con una cuchara frontal, su estructura soporte y un sistema de brazos articulados, capaz de cargar y excavar mediante su desplazamiento y el movimiento de los brazos, y de elevar, transportar y descargar materiales. (Ballester- Capote, 1997).

Los Cargadores no son más que tractores con un aditamento especial que propicia la carga, excavaciones ligeras y acarreo muy cortos, es un equipo muy utilizado para la transportación de suelos o materiales a granel (áridos, cal, etc.). Existen distintos tipos los cuales realizan las operaciones o labores de forma diferente, tal como se explicó en los métodos de trabajo. Es importante conocer bien dichos métodos de trabajo, ya que así se asegura un mayor rendimiento. (Ballester- Capote, 1997).

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.



Figura: 5. Cargador Frontal. Fuente: google, (2019).

### 2.5.1 Campo de aplicación

La operación fundamental que realiza la cargadora es la carga de materiales sueltos, ya sea para descargar sobre el equipo de transporte o sobre una pila o montón en el terreno. También puede cargar materiales sueltos, producto de una excavación, ya sea por medios mecánicos o explosivos y apilados sobre el terreno. (Simoneaux, 2009.)

*Métodos de trabajo.*

- De la Carga de Materiales:
- Mediante Cargadores Frontales:

1º El Cargador se coloca de frente a la pila del suelo.

2º El camión se coloca marcha atrás contra la pila de material formando un ángulo entre 60° y 70° con ésta (según NC 052 – 026:78)

3º Una vez así el cargador avanza para proceder al llenado del cubo o pala, hecho esto dará marcha atrás girando a la vez, hasta colocarse perpendicular al camión.

4º Se eleva el cubo o pala a la altura necesaria para poder vaciarlo sobre la cama del camión, sin golpear ésta.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

5<sup>o</sup> Se retrocede hacia atrás una vez vacío y se gira colocándose frontalmente a la pila, para repetir de nuevo el ciclo.

- Del Acarreo o transporte de material:

Se realiza más eficazmente con Cargadores Frontales sobre Neumáticos, por su mayor movilidad y por poder colocar el cubo o pala en una posición que permite se mantenga colmada o llena de material.

Consiste en transportar materiales a distancias no mayores de:

≤ 90 m: Si se emplean Cargadores Frontales Sobre Esteras.

≤ 120 m: Si se emplean Cargadores Frontales sobre Neumáticos.

Esta operación se realiza para realizar pequeños rellenos, rehinchos, limpieza o traslado de materiales, etc., que no requieren de utilizar camiones para tal fin, o que no se puedan emplear por limitaciones de área.

### **2.5.2 Rendimiento Nominal de los Cargadores.**

De forma similar a los anteriores equipos el Rendimiento Nominal de estos equipos para la operación de carga, se halla por:

$$RN_{CAR} = \frac{C \times 60 \times K_{LL}}{tc} , \text{ en: m}^3 \text{ esp/hora} \quad (12)$$

Donde:

C = capacidad nominal del cubo, en m<sup>3</sup> esp. (Generalmente es un dato).

K<sub>LL</sub> = Coeficiente de Llenado. Varía según tipo de suelo y se determina por la Tabla 6 del Anexo (entrando con la capacidad geométrica o nominal del cubo y tipo de suelo) o también K<sub>LL</sub> se puede hallar adoptando:

K<sub>LL</sub> = 1,00 Suelo Clasificación I

K<sub>LL</sub> = 0.97 Suelo Clasificación II

K<sub>LL</sub> = 0.95 Suelo Clasificación III

Determinación de los factores:

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

$t_c$  : tiempo de un ciclo de trabajo (en minutos)

$$t_c = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \frac{L}{V_v} + \frac{L}{V_c} \quad (13)$$

Dónde:(según tabla 8 de los anexos)

$t_1$  = tiempo de llenado de la pala (min.)

$t_2$  = tiempo de elevación de la pala (min.)

$t_3$  = tiempo de descarga (min.)

$t_4$  = tiempo de cambio de velocidades (min.)

$L$  = 10 metros (distancia media aproximada) de recorrido vacío y lleno

$V_c$  = Velocidad del Cargador cargado, en m/min.

$V_v$  = Velocidad del Cargador vacío, en m/min.

A continuación, se muestran los resultados de la selección del cargador de nuestra obra.

Datos:

$$L=10\text{m} \quad t_1=0.15 \quad t_2=0.13 \quad t_3=0.15 \quad t_4=0.18$$

$$V_v=65 \text{ m/min} \quad C=1\text{m}^3$$

$$V_c= 58 \text{ m/min}$$

$$t_c= 0.15+0.13+0.15+0.18+10/65+10/58$$

$$t_c= 0.94\text{min}$$

$$RN \text{ cargador} = (Cx60xKII) / t_c = (1x60x1)/0.94 = 63.83 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$RN \text{ cargador} = 63.83 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Rr \text{ cargador} = 63.83 * 0.70 = 44.68 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N_{\text{cargadores}} = \frac{RN_{\text{buldocer}}}{RN_{\text{cargador}}} \quad (14)$$

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

$$N_{\text{cargadores}} = R_{N_{\text{buldocer}}} / R_{N_{\text{cargador}}} = 75.87 / 63.83 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 1.19 \approx 1 \text{ cargador.}$$

$$T = \text{volumen canal} / R_{\text{real CG}} = 116304.295 / 44.68 = 2603.05 \text{ h}$$

De acuerdo con los datos obtenidos, el cargador tiene mucha reserva de rendimiento, lo que permite dedicarlo a otras labores dentro de la obra o mejor aún sería rehacer el cálculo buscando un rendimiento más cercano al del buldócer cambiando las características con otro modelo más pequeño.

## **2.6 Camiones de volteo:**

Máquina autopropulsada sobre ruedas, con caja abierta, que transporta materiales y los descarga. La carga se efectúa por medios externos. (Ballester- Capote, 1997).

Como puede verse, la definición anterior es muy general, aunque centra muy bien que es máquina, exclusivamente de transporte y que debe ser cargada mediante otra máquina o medio externo. Por otra parte, no precisa, ni menciona nada de la forma de descarga, aunque comúnmente es por 'vuelco' trasero o lateral, también existen camiones con descarga por el fondo de la caja. (Ballester- Capote, 1997).



Figura: 6. Camión de Volteo, KRAZ. Fuente: Vladimirovich, (2018).

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladoras.

### 2.6.1 Características Principales.

- Ancho máximo no mayor de 2,5 (para poder circular por carreteras).
- Peso máximo por eje, a plena carga de 13 toneladas.
- Capacidad máxima de carga:  $\leq 12 \text{ m}^3$
- Velocidades en directa, del orden de los 80 Km/h.
- Amortiguación apta para transitar sobre caminos, carreteras y áreas que posean buena superficie de rodadura (pavimentados o con capa de coronación resistente).

En Cuba existen distintos tipos, marcas y modelos de varios países, algunos de los más conocidos se exponen en la tabla V.

Tabla V: Tipos, marcas y modelos de camiones de volteo. Fuente: Capote-Ballester, (1997).

ZIL 130 (V8)	de la URSS	con capacidad de 3.5 m <sup>3</sup> y 4 m <sup>3</sup>
MAZ 503	de la URSS	con capacidad de 4.1 m <sup>3</sup>
KRAZ	de la URSS	con capacidad de 12 m <sup>3</sup>
FIAT	de Italia	con capacidad de 9.1 m <sup>3</sup>
HINO	de Japón	con capacidad de 4.8 m <sup>3</sup>
ROMAN	de Rumania	con capacidad de 8 – 10 m <sup>3</sup>
TAINO	de Cuba	con capacidad de 10 – 12 m <sup>3</sup>
PEGASO	de España	con capacidad de 7.5 y 11.5 m <sup>3</sup>
BERLIET	de Francia	con capacidad de 10 m <sup>3</sup>
LEYLAND	de Inglaterra	con capacidad de 12 m <sup>3</sup>

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladoras.

### **2.6.2 Campo de Aplicación de los Camiones de Volteo (CV).**

Se emplean para transportar materiales sueltos, a granel, tales como: suelos, en los trabajos de Movimiento de Tierra; áridos, para la construcción de distintas obras (autopistas, canales, etc.) y otros (azúcar, fertilizantes, cal, etc.). (Ballester- Capote, 1997).

El rendimiento depende de los factores locales, principalmente:

- Distancia de acarreo
- Condición de la vía.
- Unidad de carga.
- Condiciones tecnológicas del vehículo.

#### *Caja Basculante.*

Los camiones con volquete están provistos de una carrocería especial, comúnmente denominada caja basculante o simplemente volquete. Aun cuando la clasificación del conjunto camión-carrocería está dada por la capacidad portante del chasis-cabina, las características y tipos de cajas basculantes, varían de acuerdo con dichas capacidades. (Ballester- Capote, 1997).

En la tabla IV, pueden apreciarse las capacidades de las cajas basculantes apropiadas para diferentes capacidades portantes de los chasis-cabina y potencia neta del motor.

De hecho, los chasis-portadores con capacidades superiores a los 19 m<sup>3</sup>, poseen características especiales, tanto si son rígidos como si son articulados.

Un elemento que no llega a influir en igual medida en el chasis portador como en las cajas basculantes, lo es el tipo de carga que se va a transportar.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Tabla VI. Capacidades de las cajas basculantes para el transporte de materiales a granel con densidades menores de 2t/m<sup>3</sup>. Fuente: Ballester- Capote, (1997).

Capacidad de la Caja Basculantes (m <sup>3</sup> ) Neta(HP)	Capacidad Portante	Potencia del chasis-cabina
De 3 a 5	7000 a 11000 kg	130-160
De 5 a 8	12000 a 17000 kg	200-240
De 8 a 12	18000 a 25000 kg	240-320
De 12 a 19	26000 a 38000 kg	320-350

En atención a los tipos de carga para las cuales se les destinan, las cajas basculantes pueden ser:

- Para tierras y materiales de poca abrasividad.
- Para arenas y piedras de abrasividad media.
- Para rocas y materiales altamente abrasivos.

A continuación, se muestran los resultados de los cálculos correspondientes a la selección de los camiones que se utilizarán para el acarreo del material excavado.

Como quiera que la función del camión es netamente auxiliar, se acostumbra a calcular el número de unidades que son necesarias emplear bajo un esquema que el equipo cargador se mantenga permanentemente trabajando.

$$N_c = 1 + t_{mov} + \frac{t_{\theta}}{t_c} \quad (15)$$

Dónde:

t<sub>mov</sub> - es el tiempo de recorrido o ciclo del camión una vez cargado, min.

$$t_{mov} + t_{\theta} = \left( \frac{L_{vc}}{v_c} + \frac{L_{ret}}{v_{ret}} \right) \times 60 + t_{\theta} \quad (16)$$

$$t_{mov} + t_{\theta} = (2/11 + 2/30) \times 60 + 3 = 17.91 \text{ min}$$

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

$t_{\theta}$  = tiempo de descarga incluyendo maniobras, min-

$L_{vc}$  = Longitud de viajes cargados.

$L_{ret}$  = Longitud de retorno.

$V_c$  = Velocidad de viajes cargados.

$V_{ret}$  = Velocidad de retorno.

Para el caso que estudiamos, tenemos:

$t_c$  – es el tiempo que toma para la carga. min

$$t_c = \frac{\text{Volumen esponjado y capote del CV}}{R_n \text{ cargador}} \times 60, \text{ min} \quad (17)$$

$$t_c = (12 / 63.83) * 60 = 11.28 \text{ min}$$

$$N_c = 1 + 17.91 / 11.28 = 2.58 \text{ CV}$$

En este caso parece una cantidad de CV alta, por lo que aumentaremos las velocidades en la etapa de recorrido cargado y vacío de retorno.

$$t_{mov} + t_{\theta} = (2/13 + 2/40) * 60 + 3 = 15.23 \text{ min}$$

$$N_c = 1 + 15.23/11.28 = 2.35 \approx 2 \text{ CV}$$

Sigue siendo el número de CV algo alto, pero se puede tener reservas de CV para otras actividades en la obra o también elegir otro modelo que posea un rendimiento mayor de tal manera que el número de camiones sea menor.

## 2.7 Excavadoras

Máquina autopropulsada sobre ruedas o cadenas con una superestructura capaz de efectuar una rotación de al menos 360°, que excava o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de una cuchara fijada a un conjunto de pluma u balancín o brazo, sin que el chasis o la estructura portante se desplace. (Ballester- Capote, 1997).

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.



Figura: 7. Excavadora, 329 EL: Fuente: Caterpillar, (2017).

### **2.7.1 Campo de Aplicación. Rendimiento.**

El campo de aplicación de las excavadoras viene dado por el órgano de trabajo (aditamento) que tenga instalado el equipo base en obra. (Ballester- Capote, 1997).

En cuanto a los aditamentos, la descripción de todas las aplicaciones posibles que se pueden emplear en las excavadoras, nos referimos a las más comunes:

Equipo Pala Frontal; Equipo Retro.

En el caso que nos ocupa se seleccionará la excavadora tipo retro, éstas se emplean principalmente para excavar por debajo del nivel de sustentación. Por esto se utiliza para la excavación de zanjas y cimientos estrechos y profundos, que son las operaciones normadas para esta máquina. Se emplea para excavación con carga directa sobre transporte. Su rendimiento está dado por los m<sup>3</sup> que puede excavar en una hora y se puede ver en la tabla que mostramos a continuación. En este caso particular, trabajará como equipo fundamental cuando se trate de realizar las labores de perfilado de los taludes y bordes del canal, en cuyo caso tendremos necesidad de componer un nuevo conjunto de equipos, tomándola a ella como principal.

### **2.7.2 Determinación Analítica del Rendimiento Nominal:**

El rendimiento de estos equipos en una posición fija (sin desplazarse) se obtendrá según la expresión:

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

$$RN_{REX} = \frac{C \times 3600 \times (K_{ll} \times K_r \times K_g)}{t_c} , \text{ en m}^3/\text{h} \quad (18)$$

Dónde:

C = Capacidad. Nominal de la Pala ( $\text{m}^3$  esponjados). Dato del Fabricante.

Según Garay y Zemp la capacidad nominal o geométrica de una pala o cubo es aquella que brinda el fabricante del equipo (a menos que se indique lo contrario) y es el volumen geométrico de la pala hasta el borde (volumen que ocuparía el agua) más el colmo o montículo que forma el material esponjado. Si queremos determinar el volumen natural de la pala o cubo.

Entonces:

$$C_{nat} = C \times f_{ESP-Nat} \quad (19)$$

$t_c$ : tiempo de un ciclo de trabajo (en segundos) en una posición fija. Se determina según Tabla 2 del Anexo. Este dependerá de la Capacidad Nominal de la Pala del Equipo (C) y del tipo de terreno.

$K_{ll}$ : factor o coeficiente de llenado, que da idea de la eficiencia del llenado de la pala. Se determina por la Tabla 3 del Anexo según dureza, tipo de suelo y capacidad nominal de la pala.

*Factor o coeficiente de recorrido ( $K_r$ ):*

Esta toma en cuenta que durante el recorrido de la pala del equipo (ya sea Frente de Pala o Retro) puede llenarse exactamente, desbordarse o no llenarse completamente y por tal razón puede afectarse el rendimiento.

Procedimiento a seguir:

- 1- Determinar: el recorrido o carrera óptima de la Pala (según Tabla 4 en ANEXOS con tipo de suelo y capacidad nominal de la cuchara). Este valor indica aquel recorrido que posibilita el llenado total y exacto de la pala al concluirse el mismo (en metros) en una sola pasada.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

2- Se determina, se mide o se estima el recorrido efectivo o real de la Pala (en metros)

3- Se halla la relación:  $\frac{\text{carrera} \cdot \text{efectiva}}{\text{carrera} \cdot \text{óptima}} \times 100$  y con ese valor expresado en % se entra en la Tabla 5 y se obtiene el factor de carrera: Kr. Si la Cefec. = Cóptima  $\rightarrow Kr = 1$ )

*Factor o Coeficiente de Giro (Kg.):*

Toma en cuenta las pérdidas de tiempo al realizarse el giro lateral de la pala. Se halla según Tabla 6, del Anexo atendiendo al ángulo de giro a realizar, el que a su vez está determinado por la posición del equipo donde se depositará el material excavado o el lugar donde este se colocará. (Simoneaux, 2009.).

Ahora bien, generalmente estos equipos al trabajar e ir excavando tienen necesidad de desplazarse y en este tiempo evidentemente no trabajan, luego esto afecta el rendimiento. ¿Cómo considerar las afectaciones por los desplazamientos?

Se procederá tal como se explica seguidamente:

1. Determinar la Cantidad de desplazamiento por hora (n):

$$n = \frac{RN_{REX}}{V_o} \quad (20)$$

$RN_{REX}$  = Rendimiento Nominal del Equipo sin desplazarse, m<sup>3</sup>/h

$$RN_{rex} = \frac{C \times 3600 \times (K_{ll} \times K_r \times K_g)}{t_c} \quad (21)$$

$V_o$ : Volumen que excava el equipo en una posición (sin desplazarse), m<sup>3</sup> esponjados.

$$V_o = (L \times a \times h) \times fsd_{-E}, \text{ m}^3 \text{ esponjados.} \quad (22)$$

L, a, h: son las dimensiones medias de frente de cantera, en metros.

$fsd_{-E}$ : factor de conversión de natural a esponjado, de la Tabla 1 del Anexo.

2. Determinar el tiempo que demora cada desplazamiento ( $t_d$ ) en segundos.

Según Tabla 7 en Anexo.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

3. Se calcula el tiempo total perdido por los sucesivos desplazamientos según:

(n x td), en segundos.

Se determina el Rendimiento Nominal según:

$$RN = C \frac{[3600 - (n \times td)]}{tc} (K_{ll} \times K_r \times K_g) \text{ , m}^3/\text{h esponjados.} \quad (23)$$

A continuación, se muestran los resultados del cálculo de la excavadora tipo retro que se utilizará en el canal:

Datos

$$t_c = 31 \text{ segundos} \quad K_{ll} = 1,10 \quad K_g = 0,79 \quad C = 1.12 \text{ m}^3 \quad t_d = 40 \text{ segundos}$$

$$RN \text{ retro} = (1.12 \times 3600 \times (1.10 \times 0.97 \times 0.79)) / 31 = 109.63 \text{ m}^3/\text{h.}$$

$$V_0 = (10 \times 1.5 \times 10) \times 2.25 = 42 \text{ m}^3$$

$$n = 109.63 / 42 = 2.6 \text{ desplazamiento/ hora}$$

$$RN = 1.12 * \frac{(3600 - (2.6 * 40))}{31} * (1.10 * 0.97 * 0.79) = \mathbf{106.47 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$Rr \text{ retro} = 106.47 * 0.70 = \mathbf{74.53 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Asumiendo que la sumatoria de los frentes de trabajo de la retro alcanza un aproximado de un 10 % del volumen total del canal.

Sin embargo, todo parece indicar que la retro trabajará con una reserva de rendimiento bastante alta, lo que se puede tratar de resolver al final cuando se haga el balance de la brigada.

$$T = (V_{\text{canal}} * 10\%) / R_{\text{retro}} = 11630.4295 / 74.53 = 156.05 \text{ h} / 10 = 15.6 \text{ días.}$$

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

## 2.8 Motoniveladora

Motoniveladora: Máquina autopropulsada sobre ruedas, con una hoja ajustable situada entre los ejes delantero y trasero que corta, mueve y extiende materiales con fines generalmente de nivelación. (Ballester- Capote, 1997).

La definición anterior es muy general, se centra muy bien en la hoja que, como órgano de trabajo, es el elemento que se define como "niveladora" por el tipo de trabajo que realiza y con qué objeto. (Ballester- Capote, 1997).

La motoniveladora es una máquina encuadrada dentro del grupo de máquinas de movimiento de tierras, que se diferencia del resto de las demás en que su función es la de mover, en lugar de remover la tierra. (Ballester- Capote, 1997).



Figura: 8. Motoniveladora. Fuente: Simoneux, (2009).

Los tractores, las cargadoras, mototrillas o dúmperes, trasladan el material al lugar donde conviene amontonarlo o verterlo, llevándolo, incluso a veces, a muchos kilómetros de distancias. La motoniveladora, levanta y desplaza la tierra para situarla a poca distancia nivelándola en un perfil diferente. En resumen, la diferencia básica con el resto de las máquinas de movimiento de tierras es la "corta distancia de transporte de tierra y la precisión con que realiza esta función". (Ballester- Capote, 1997).

Es sin dudas, conjuntamente con los compactadores, la máquina por excelencia del "acabado" de las obras de movimiento de tierras.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Su evolución y desarrollo desde su aparición como máquina de movimiento de tierras hasta nuestros días; su versatilidad de funciones, fiabilidad, rapidez de acción, facilidad de conducción y su gran producción, la hacen sin dudas, una de las máquinas más apreciadas de cuantas participan en una obra de movimiento de tierras. (Ballester- Capote, 1997).

Existen dos tipos principales de Motoniveladoras, clasificación de accionamiento de los órganos de trabajo:

a) Motoniveladoras Mecánicas.

b) Motoniveladoras Hidráulicas.

En nuestro país la mayoría son de mandos hidráulicos por las ventajas que presenta este (mayor precisión y rapidez en los movimientos de la hoja y el escarificador). (Simoneaux, Humberto, 2009.).

En la bibliografía y en manuales se clasifican o agrupan atendiendo a otras características como son:

a) Por su autonomía (Niveladoras y Moto-Niveladoras)

b) Por su peso (ligeras, medianas, pesadas y superpesadas)

c) Por su potencia nominal (pequeñas, medianas y grandes).

### **2.8.1 Campo de aplicación. Rendimientos**

Las motoniveladoras se utilizan fundamentalmente en la realización de operaciones como:

Extendido de materiales.

Nivelación de superficie.

Apertura de cunetas.

Perfiles de taludes.

Otras.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladoras.

Estas máquinas se utilizan por excelencia en la realización de labores de acabado de las obras de movimientos de tierra. (Simoneaux, 2009.).

Los trabajos específicos que pueden realizar son:

- 1- Desbroce y Descortezado (ligero).
- 2- Excavaciones (pequeñas).
- 3- Aperturas de Cunetas (en V).
- 4- Aperturas de Cunetas de Fondo Plano (o de "Plato" o Sección Trapezoidal).
- 5- Reapertura de limpieza de cunetas.
- 6- Perfilado de Taludes.
- 7- Rectificación de Paseos.
- 8- Escarificación.
- 9- Riego o Extendido de materiales.
- 10- Nivelación y Perfilado de superficies o explanadas.
- 11- Remoción de Superficies asfálticas (pavimentos).

### **2.8.2 Cálculo de la producción horaria de las motoniveladoras.**

Las motoniveladoras realizan operaciones muy diversas, por lo general en fajas "largas y estrechas" y a diferentes velocidades, según sea el tipo de trabajo que realice. (Ballester- Capote, 1997).

En la siguiente expresión, se puede encontrar una "formula" válida para el cálculo de la producción horaria ( $m^2/h$ ):

$$QA = V \times (Le - Lo) \times 1000 \times Kup \quad (24)$$

Dónde:

QA = Producción horaria, en  $m^2/h$

V = Velocidad de trabajo, en Km/h

Le = Largo efectivo de la hoja en m

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Lo = Ancho de solape, en m. (en este caso Lo=0), trabaja apilando el material del destape o desbroce, el cual será transportado al área destinada al mismo para su posterior uso en la reforestación o resiembra.

Kup = Coeficiente de la eficiencia= igual para todos los equipos del conjunto, (Kup=0,70).

Como valores promedios de "velocidad de trabajo" podemos recomendar los siguientes:

Reparación de caminos	2 - 6	Km/h
Apertura de cunetas	1,6 - 4	"
Perfilado	1,6 - 2,6	"
Removiendo nieve	7 - 25	"
Nivelando	2 - 8	"

Los valores de "largo efectivo de la hoja" y "ancho de solape", dependerán del ángulo que tome la hoja durante el perfilado, la nivelación o el corte. Sin embargo, para el caso que nos ocupa donde emplearemos el equipo solo en la actividad de desbroce, no se hace necesario emplear solape debido a que lo emplearemos en el traslado y apilado del material resultante, el cual posteriormente será sacado con la combinación cargador-camión (CG-CV). De manera que emplearemos en esta fase el BE y la MN. Como se sabe para preparar las condiciones para la excavación, en dependencia de la sección típica, la explanada deberá tener de 10 a 20 metros a cada lado del eje del canal. (Ballester- Capote, 1997).

Se tendrá en cuenta que la motoniveladora se usará para la terminación de la obra y por tanto no se especificará su rendimiento, solo que se aceptará como suficiente los valores expresados en las tablas anteriores y sin cálculo previo usaremos los valores allí reflejados.

Inicialmente, se formará solo una brigada de MT, de tal manera que se trabajará con un esquema organizativo consecutivo-paralelo, así se establecerá que cada equipo se traslada al próximo frente una vez termine el precedente. Todo sin embargo

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladoras.

estará determinado por el equipo guía. Todo lo dicho presupone que se trabajará con una sola brigada o conjunto de equipos, aunque en realidad se puede multiplicar el número de equipos guías que en este caso particular se ha considerado al buldócer como el equipo que llevará el ritmo de la obra, lo que estará determinado por la aceptación o no de los rendimientos del conjunto y por tanto el tiempo de ejecución de la obra.

El equipo guía va a estar determinado por la fase que se encuentre en ejecución, por ejemplo: En la fase de desbroce el equipo guía podrá ser el buldócer o la Mototrailla. El equipo guía es llamado así porque los restantes equipos que trabajan supeditan su rendimiento a él, esto permite al programador formar una brigada sin exceso ni defecto de rendimiento o sea balanceada (equilibrada).

La ejecución del canal estará formada por las tres fases naturales, o sea, la fase de desmonte, de desbroce y la fase de excavación, solo que en este caso solo se hará la fase de excavación, por cuanto solo esta es la actividad comparable entre ambos métodos. Se tendrá en cuenta desde luego, no solo el diseño hidráulico del canal, pero también las dimensiones que el mismo toma en ancho y profundidad, la siguiente tabla muestra la primera selección de los equipos a emplear para esta obra.

Tabla. VII. Resumen de la selección de los equipos a emplear para esta obra. Fuente: Autor, (2019).

Equipo	Actividad	Rn m <sup>3</sup> /h	Kup	Rr m <sup>3</sup> /h	Tiempo, horas	Cantid. de equ	Factor balance	Total equ.
B.E	Excava	75.87	0,70	53.109	2189.92	1	1	1
C.G	Carga	63.83	0.70	44.68	156.05	1	1	1
M.N	Riega	-	0.70	-	-	1	1	1
C.V	Transporta	-	0.70	-	156.05	2	1	2
M.T	Corta y....	-	0.70	--	-	1	1	1
R.E	Excava y Carga	109.6	0.70	74.53	156.05	1	1	1

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

## 2.9 Excavación del canal usando voladuras

Se puede definir la voladura como un proceso donde se emplea la energía concentrada en una sustancia llamada sustancia explosiva (SE), que consiste en una sustancia química con la propiedad de liberar de manera instantánea la energía contenida cuando recibe un impulso externo producido por un golpe, el fuego, o la acción de una mecha de fuego, o un cordón detonante y/o una cápsula detonante accionada por corriente eléctrica. (Pereda, 2002.)

En la construcción de obras viales es frecuente la necesidad de realizar voladuras a cielo abierto en tierra y roca, tanto para la ejecución de tramos a media ladera, tramos en corte, para la ejecución del drenaje, así como para la extracción y ablandamiento del suelo en los préstamos laterales, así como en obras hidráulicas de diferentes tipos y designaciones. Esta se emplea también para la construcción de explanadas o terrazas que posean zonas en corte o excavación, donde exista la necesidad de realizar voladuras de nivelación para facilitar su construcción; el ablandamiento del suelo (fragmentación) antes de ser excavado, para disminuir así las resistencias que ofrece ante las máquinas al corte (en suelos duros y muy duros, clasificación IV y V).

En el caso que nos ocupa, nos apoyaremos en ésta técnica para excavar el canal hidráulico de referencia, con la finalidad como fue expresado anteriormente, de tener la posibilidad de hacer una comparación entre las dos técnicas empleadas.

Debido al alto costo de los explosivos actuales se puede pensar sin hacer comprobaciones que ésta técnica resultará la más cara, sin embargo, reflexionando sobre el asunto, y conociendo que existen sustancias explosivas, que no lo son en su origen pero que poseen las cualidades para explotar si reciben un tratamiento previo mezclándolo con otro componente. Nos referimos al ANFO, cuyas características las detallamos a continuación.

Se conoce como **ANFO** a la unión simple del Nitrato de Amonio (Fertilizante) con una determinada cantidad de Fuel Oil, en cuyo caso si se considera una SE siempre y cuando se use una **SE iniciadora**. (López, 1970.)

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

La velocidad de detonación es una característica a tener en cuenta en la elección del explosivo. Se optará por explosivos que detonan lentamente, dando lugar a que su energía se desarrolle de forma progresiva, cuando se vuelen rocas blandas o se requiera una fragmentación gruesa, mientras que se debe escoger explosivos dotados de elevada velocidad de detonación cuando se pretendan fragmentaciones más intensas en rocas duras. (López, 1970.)

De tal manera que ya la SE empleada estará formada por dos componentes relativamente baratos y cuya eficiencia y acción está garantizada por la práctica de muchos años. Solo hay tener en cuenta que el nitrato de amonio es higroscópico y, por tanto, en presencia de agua se puede emplear solo teniendo medidas especiales de colocación, por ejemplo, usando envolturas impermeables. (López, 1970.)

La sensibilidad de iniciación del ANFO disminuye conforme aumenta el diámetro de los barrenos. En la práctica los multiplicadores de 150g son efectivos en diámetros de carga inferiores a los 150mm, y por encima de ese calibre se recomiendan multiplicadores en cantidades entre 400 a 500g. (López, 1970.)

Aunque el ANFO se emplea predominantemente como carga a granel, es importante saber que la energía por metro lineal de columna disminuye con el desacoplamiento. Cuando el confinamiento de la carga no es grande la velocidad de detonación y la presión máxima sobre las paredes de los barrenos disminuyen. (López, 1970.)

#### *Volumen de Material:*

Los volúmenes de excavación a realizar y ritmos de trabajo marcan los consumos de explosivos a efectuar dentro de las operaciones de arranque.

En las obras de mayor envergadura las cantidades de explosivos pueden llegar a aconsejar su utilización a granel, ya que posibilitan la carga mecanizada desde las propias unidades de transporte, se reducen los costes de mano de obra dedicada a dicha operación y se aprovecha mejor el volumen de roca perforado. (López, 1970.)

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

#### *Condiciones de Seguridad:*

Un punto de equilibrio, a veces no fácil de lograr en un explosivo es el binomio sensibilidad-seguridad. Los explosivos gelatinosos tienen una alta sensibilidad, pero si en la pila de escombros queda por algún motivo (descabezamiento de barrenos, rotura de cordón detonante, etc.), restos de explosivo y es necesario el empleo de maquinaria pesada: tractores de orugas o excavadoras, puede producirse la detonación con riesgo para el personal de operación. En este problema se ha resuelto con empleo de los hidrogeles y emulsiones que son insensibles a los golpes, fricciones y estímulos subsónicos, pero poseen un grado de sensibilidad adecuada para la iniciación. (López, 1970.)

#### *Problemas de Entorno:*

Las principales perturbaciones que inciden sobre el área próxima a las voladuras son las vibraciones y onda aérea. (López, 1970.)

Desde el punto de vista del explosivo, aquellos que presentan una elevada –ET- son los que dan lugar a un mayor nivel de vibraciones. Así, si es factible, será mejor utilizar el ANFO que hidrogeles. El seccionado y secuenciado de cargas se puede realizar también con explosivos a granel y encartuchados aplicando diferentes técnicas de iniciación. (López, 1970.)

En cuanto a la onda aérea, se recomienda que el explosivo tenga una relación –ET/EB- equilibrada y sobre todo que se controle el diseño geométrico de la voladura. (López, 1970.)

#### *Sistemas Eléctricos de Iniciación:*

Detonadores eléctricos convencionales:

Estos accesorios están constituidos por una cápsula de aluminio o cobre en la que se aloja un inflamador, un explosivo iniciador y un explosivo base. La potencia de los detonadores viene dada por la cantidad de fulminato de mercurio de que disponen, normalmente de 1 ó 2 gramos que corresponden a los números de potencia 6 y 8

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

respectivamente, o cualquier otro explosivo equivalente, por ejemplo, pentrita prensada, etc. (López, 1970.)

Si el detonador es de retardo o micro retardo entre el inflamador y el explosivo primario existe un elemento pirotécnico retardador. (López, 1970.)

#### *Explosores Convencionales:*

Dentro del grupo de explosores los más utilizados son los de condensador. Mediante una magneto de manivela u una pila se carga progresivamente el condensador cerrándose el círculo de forma automática o controlada cuando la tensión alcanzada en el mismo es la adecuada y se produce la descarga de corriente en un tiempo muy breve. (López, 1970.)

#### *Explosores Secuenciales:*

En operaciones donde el diámetro de perforación obliga a subdividir la columna de explosivo para reducir las cargas operantes, se utilizan detonadores eléctricos de distinto número dentro de cada barreno. (López, 1970.)

También cuando las voladuras se disparan con un conjunto grande de barrenos la serie normal de detonadores eléctricos puede llegar a suponer una limitación técnica. Para obviar este problema se han desarrollado, desde hace relativamente poco tiempo, los explosores secuenciales. Básicamente, está constituido por un sistema de descarga por condensadores y un equipo electrónico con temporizador para energizar varios circuitos en intervalos de tiempo distintos. El número de circuitos más comunes es de 10 y cada uno de ellos puede programarse en los modelos ms. (López, 1970.)

#### *Configuración de las cargas:*

Los manuales de voladura de rocas en general plantean que cuando los barrenos son de pequeña longitud deben usarse columnas continuas de explosivos, pero si los barrenos son de bastante profundidad la mejor relación coste/efectividad se obtendrá con cargas espaciadas. (López, 1970.)

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Se ha demostrado que la tensión generada por la detonación de una carga aumenta cuando la relación longitud de barreno sobre el diámetro se incrementa de 0 a 20, permaneciendo constante a partir de ese valor. (López, 1970.)

Existen fórmulas para el cálculo de las cargas de barrenos cuando hay solo una superficie libre, como es el caso que nos ocupa, ya que tenemos una superficie natural en toda la longitud del canal, la situación particular nos obliga a razonar sobre la cantidad de sustancia explosiva concentrada y como los cálculos están diseñados para su empleo en rocas, es decir, en nuestro caso tenemos una roca blanda (suelo categoría I). por lo que tenemos que tener en cuenta este aspecto y rebajar consecuentemente la cantidad de explosivos por cálculo de manera que la voladura no sea en ningún caso de proyección. (López, 1970.)

Lo planteado en el párrafo anterior, nos permite usar las palabras del manual de voladura de rocas (López Jimeno) que dice, “La excavación de zanjas con explosivos presenta una serie de características particulares que obligan a modificar los criterios de diseño de voladuras en banco y adaptar las mismas a la naturaleza cambiante de las rocas, así como a tomar medidas especiales en lo referente al control de las vibraciones y proyecciones, pues es frecuente que tengan que realizarse cerca de núcleos urbanos.” (López, 1970.)

De acuerdo con la misma fuente se denomina zanja a aquellas obras lineales de superficie con una anchura comprendida entre 0,8 y 3 m y una profundidad que puede oscilar entre 0,5 y 5 m. (López, 1970.)

#### *Diámetro de perforación*

Los calibres empleados dependen de las dimensiones de las zanjas y las limitaciones impuestas por los niveles de vibración admisibles, teniendo todos los aspectos mencionados. (López, 1970.)

En la siguiente tabla (VIII) se dan algunos criterios de selección de los parámetros de la voladura.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Tabla (VIII). Algunos criterios de selección de los parámetros de la voladura. Fuente: Pereda, (2002).

Dimensiones de las zanjas, m	Diámetros de perforación, mm
Anchura – $AZ \leq 1$ Profundidad – $H \leq 1,5$	32 - 45
Anchura – $AZ \geq 1$ Profundidad – $H \geq 1,5$	50 - 65

### 2.9.1 Cálculo del tiempo de perforación del conjunto de barrenos y selección de la máquina de perforación.

El tiempo de perforación del conjunto de barrenos necesarios, dependerá de la profundidad de los barrenos, así como de su cantidad, de acuerdo con la tesis de (Simoniaux, 2009), parece una buena opción el uso de una carretilla barrenadora neumática modelo T- 43 (Francia) que permite la perforación de los barrenos de 65 mm ya definidos en la presente tesis, esta máquina, con una productividad aproximada de 10 m/h.



Fig. 9. Carretilla barrenadora neumática sobre neumáticos portátil. Fuente: Simoneaux, (2009).

Cálculo de cargas para mullido o trituración de rocas (sin proyección externos) denominada también “removido de tierra y roca) en préstamos o canteras:

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Es el empleado en Canteras o Préstamos para extracción de materiales en capas o escaleras de espesor o altura máximo de 5 m; para el removido de rocas para construir zanjas, romper grandes rocas o cuando existan edificaciones cercanas que no permitan el empleo de grandes cargas con proyección exterior.

El trabajo se realiza escalonadamente (haciendo “frentes de cantera”) con longitudes de barreno aproximadamente igual a la altura “H” del frente de cantera o tajo, siendo:

$L = (0,90-0,95) h$ , en rocas blandas.

$L = (1,10 -1,15) h$ , en rocas duras.

De esa longitud L se debe dejar  $1/3 L$  libre de explosivos para realizar “ataque” o retacado del barreno, para asegurar la correcta voladura.

La cantidad de explosivos se calculará según la siguiente fórmula:

$$C = A \times M \times h^3, \text{ Kg. (expresión más usual), luego: } Q \text{ total} = \sum Q_i \quad (25)$$

Siempre debe realizarse Esquemas de las Voladuras a realizar donde se detalle la posición de los barrenos, su profundidad, así como otros detalles que permitan realizar las mismas con la mayor calidad, seguridad y economía posible.

Como se ve, es posible hacer un símil con nuestra obra, debido al interés de no proyectar la masa de suelo volada, por tanto:

Datos:

$H = 2,25 \text{ m}$

$A = 2,0 \text{ m}$

Longitud de los barrenos:

$L = (0,90-0,95) h$ , en rocas blandas.

$L = 0,90 h = 0,90 \times 2,25 \approx 2,0 \text{ m}$ ,

Además, se perforarán dos barrenos laterales cuya profundidad será  $1/2 L$ , por tanto, debemos agregar a la longitud total 2 m y serán entonces 4 m de barrenación por fila.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Tomando este valor como definitivo para la longitud de los barrenos de este caso, se puede entonces determinar el total de longitud de barrenos para la obra completa (1 km).

$L_{total} = 1000 \times 4 = 4\ 000$  m y de acuerdo con el rendimiento de la barrenadora seleccionada, de 20 m/h y tomando en cuenta que el equipo debe trasladarse varias veces en el intervalo de 1 hora, y que el Kup de la brigada, incluida la carretilla es de 0,70, entonces

$$20 \times 0,70 = 14 \text{ m/h}$$

Y obtenemos el tiempo neto de barrenación del total de los barrenos:

$$4\ 000/14 = 285.7 \text{ horas}$$

El tiempo neto se refiere al tiempo de solo perforación, mientras que se hace necesario tomar en cuenta los cambios de posición del equipo después de terminar un barreno, el manual de voladura de rocas trae una tabla para seleccionar el tiempo que se debe tomar para el cambio de instrumento.

A todo lo anterior, hay que agregar que en la etapa de barrenación, se incrementa el tiempo de barrenación en 5 minutos por cada cambio de posición del instrumento y conociendo que en cada fila transversal es necesario hacer dos cambios, por lo tanto, se incrementará el tiempo en 10 minutos por cada 3 barrenos, por lo que el tiempo total de la barrenación de un 1km será:

$285.7 + 83 \text{ h} = 368.7$  y trabajando 10 horas por día la perforación del total de los barrenos tomará 36.87 día.

### **2.9.2 Cantidad de sustancia explosiva por barreno**

a) Cálculo de Cargas Concentradas: para determinar el peso que debe tener la carga concentrada (en Kg) se empleará la expresión:

$$Q = (M \times A) \times h^3 \text{ en Kg.} \quad (26)$$

Dónde:

Q: peso carga concentrada, en Kg.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

M: coeficiente que depende del índice de hornillo (Tabla 10 del Anexo)

A: consumo específico de explosivos, depende de la naturaleza o dureza del suelo y del tipo de explosivo que se emplea ( $\text{Kg/m}^3$ ).

h- Línea de menor resistencia o piedra. m (profundidad)

Los valores para este caso son los siguientes:

$$A = 0,40$$

$$M = 0,70 \text{ para } n = 0,05 - 0,35$$

$$h = 2 \text{ m}$$

$Q = (0,70 \times 0,40) 2^3 = 0,28 \times 8 = 2,24 \text{ kg}$  de ANFO para los barrenos centrales principales, de tal manera que, de acuerdo con nuestras decisiones, para los barrenos de contorno o auxiliares, en los cuales se disminuirá la carga a la mitad e incluso menos por ejemplo se cargará con 1,10 kg de SE.

Por lo tanto, se tendrá un gasto de SE por fila de:

$$2,24 + 1,10 \times 2 = 2,24 + 2,20 = \underline{4,44 \text{ kg.}}$$

El total de sustancia explosiva (ANFO) será para un sector:

Transversalmente en el esquema de voladura se encuentran tres barrenos cuyas longitudes son diferentes, como ya fue expresado, en la fila principal por el centro del canal tendrán 2m y 1m de profundidad los restantes. (Ver figura (2.10 y 2.11).

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

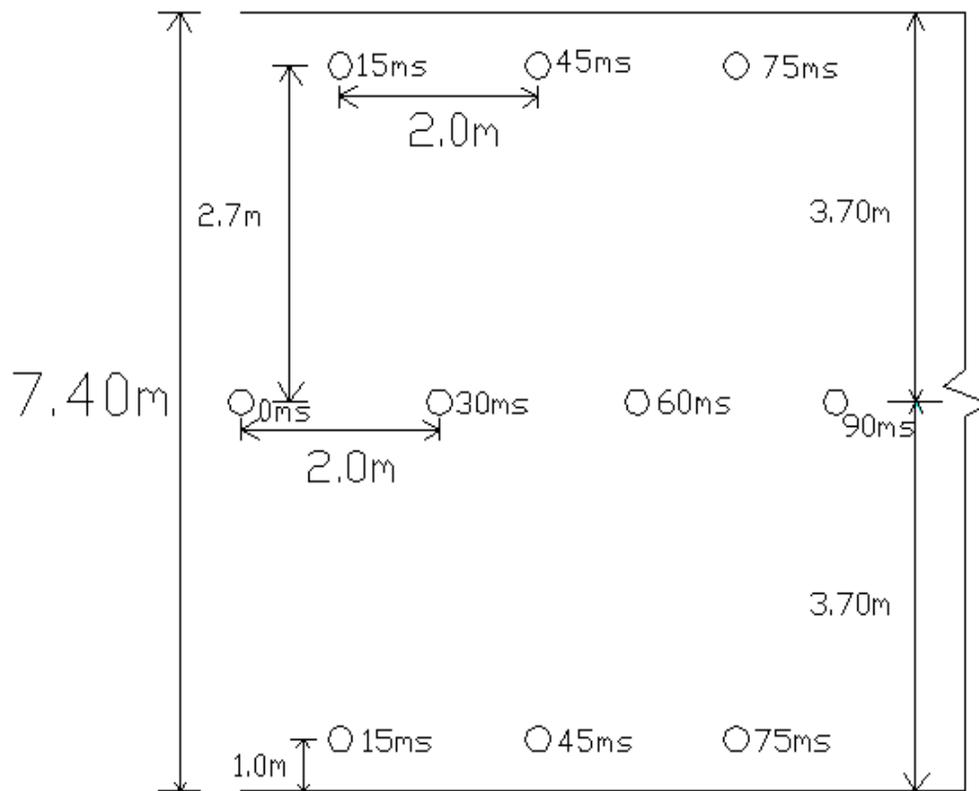


Figura 10. Vista en planta del esquema de voladura del canal. Fuente: Autor, (2019).

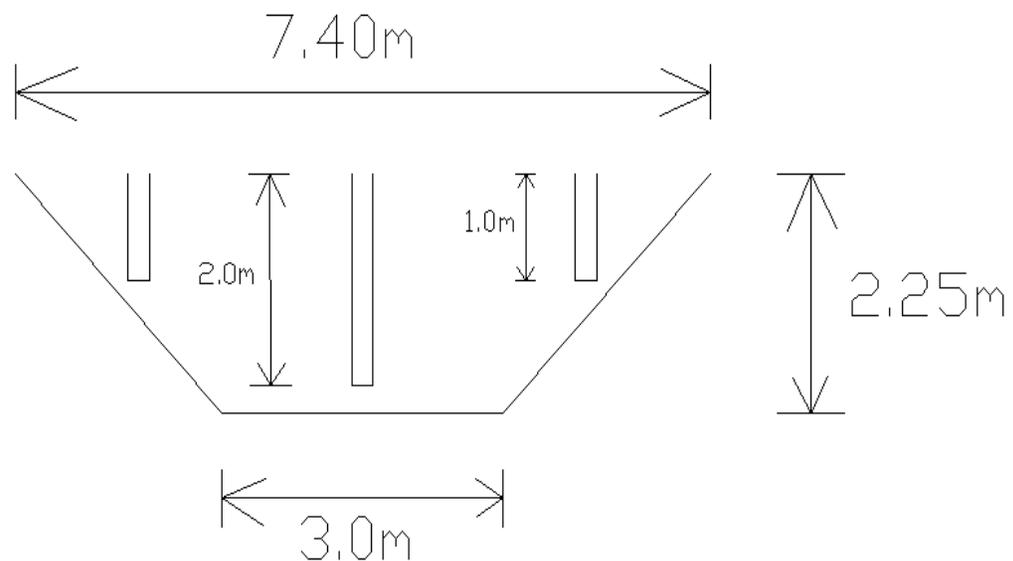


Figura 11. Vista transversal del esquema de voladura del canal. Fuente: Autor, (2019).

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

#### Datos

Longitud de un sector = 50m

Distancia entre barrenos = 2m

Número de barrenos por sector = 75

Número de barrenos por fila transversal = 3

Cantidad de filas transversales en un sector = 25

Cantidad de sustancia explosiva por fila transversal = 4.44 Kg

Cantidad de sustancia explosiva por sector = 222 Kg

Cantidad de sustancia explosiva en el tramo del canal = 2220 Kg

Si se toma en consideración que es necesario emplear una carga de fondo con un electro detonador se tendrá que emplear:

Una carga de fondo iniciadora y un electro detonador, por lo tanto, se emplearán 75 cargas de fondo por sector y 75 electro-detonadores y en todo el tramo del canal se utilizarán 1500 cargas de fondo y 1500 electro-detonadores con retardo.

Una vez realizado los cálculos de los parámetros de la voladura, quedaría la determinación de los tiempos para la limpieza del producto de la voladura, se puede considerar que la voladura proporcionará un volumen de material equivalente al volumen calculado para el caso de los equipos convencionales y se sugiere tomar los mismos rendimientos de los equipos que se emplearán en la limpieza del material volado.

En este caso el conjunto de equipos que pueden ser empleados para esta labor son los mismos que han sido calculados para la ejecución del canal con equipos convencionales de movimiento de tierra de tal manera que el equipo guía en este momento sería el cargador frontal con los camiones, empleando el buldócer de esteras como equipo auxiliar para apilar el material, luego los plazos ya calculados de barrenación y voladura se le deberá agregar los plazos de carga y transporte del

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.  
material resultante. Razón por la cual solo intervendrá en la comparación los costos de explotación en la fase de excavación.



## *CAPITULO III*

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

### **CAPÍTULO III: COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS**

Empleando el método de organización usando Barras de Gantt podemos organizar correctamente las actividades de la obra, pero antes se explicará que, para el proceso de voladura, se dividirá la obra en 20 sectores de 50 m c/u, aclaramos que en el caso de la ejecución con métodos convencionales los sectores serán también convenientemente divididos en secciones de 50 m c/u, por lo tanto, tendremos 20 sectores.

En este capítulo se hará el listado de actividades de cada uno de los métodos empleados usando la metodología del MICONS, conocida como Precons II, por lo que comenzaremos con el método convencional, es decir empleando los equipos convencionales para el movimiento de tierra, pero nuevamente queremos aclarar que la fase decisiva para el control de costos lo es la fase de excavación, puesto que los equipos deben ser empleados indistintamente con uno u otro método.

#### **3.1 Estructura del Costo Horario.**

Junto con la tendencia del incremento de la mecanización para la realización de los trabajos de obras públicas de forma satisfactoria y económica, los costes horarios de las máquinas toman máxima importancia y ocupan un gran porcentaje de los costes totales de toda obra de ingeniería. Por lo tanto, la estimación del coste horario de las máquinas, constituye un factor muy importante a la hora de evaluar el coste de la unidad de obra.

En el segundo capítulo del presente trabajo, se hizo la selección de los equipos que formarían parte de las brigadas de equipos convencionales para la excavación del canal, así como también la máquina de barrenación y de los materiales que intervendrán en la voladura.

A continuación, se mostrará un listado al mayor detalle posible de los equipos y materiales empleados en uno y otro método, con la finalidad de hacer el presupuesto de cada uno en la fase de excavación.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

### **3.2 Listado de equipos y materiales:**

#### *Equipos:*

1. Buldócer de esteras.
2. Cargador frontal.
3. Camiones de volteo.
4. Retroexcavadora.
5. Motoniveladora.
6. Carretilla barrenadora.
7. Máquina explosora.
8. Compresor.

#### *Materiales:*

- 1 Combustible diésel.
- 2 Aceite hidráulico.
- 3 Aceite de transmisión.
- 4 Grasas.
- 5 Neumáticos.
- 6 Electros detonadores con micro retardo.
- 7 Nitrato de Amonio (fertilizante) + Fuel-Oil (ANFO).

#### *Costo de explotación de los equipos:*

- 1- Amortización o Depreciación.
- 2- Intereses, impuestos y seguros.

#### *Costo de mano de obra:*

- 1- Operador de buldócer.
- 2- Ayudante de operador de buldócer.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

- 3- Operador de cargador frontal.
- 4- Chofer de camión de volteo.
- 5- Operador de motoniveladora.
- 6- Operador de retroexcavadora.
- 7- Ayudante de operador de retroexcavadora.
- 8- Operador de carretilla barrenadora.
- 9- Operador de compresor.
- 10-Artillero.
- 11-Ayudante de artillero.

A continuación, se muestran los cálculos de los costos de los materiales y equipos a utilizar en la excavación del canal utilizando las técnicas convencionales y de voladuras. De manera que también se mostrará la organización del trabajo en cada uno de los casos antes mencionado que posibilitará la ejecución del mismo.

### **3.3 Cálculo de los costos de los materiales y equipos utilizando las técnicas convencionales.**

Para realizar esta tarea, se hará uso del manual PRECONS II donde se encuentran reflejados los costos de las actividades, las que estarán reflejadas en forma de tabla con sus códigos, unidades de medida y la sumatoria por los conceptos de materiales, mano de obra y uso de equipos.

En la tabla (IX) se muestran los resultados de los costos de materiales y equipos que se emplearán en la ejecución de la **excavación** del canal utilizando las técnicas convencionales en 1 kilómetro de longitud. Según los precios actuales del PRECONS II.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

Tabla (IX). Costos de equipos y materiales. (Técnicas convencionales). Fuente: Autor, (2019).

Listado de actividades.	Código.	U / M Cantidad. m <sup>3</sup>	Tiempo total de equipo ( h )	Costo mano de obra. (\$)	Costo de equipos. (\$)	Costo de Combustible. (\$)	Costo de aceite de transmisión. (\$)	Costo de aceite hidráulico. (\$)	Costo de materiales. (\$)	Costo de la obra. (\$)
Excavación en el canal con B.E.	012625	11630 4.295 m <sup>3</sup>	2189.9 2	(\$) 8606.4	(\$) 58470.9	(\$) 4020.7	(\$) 51	(\$) 50.7	(\$) 4122.4	(\$) 71199.7
Carga y transporte con C.G.	016021	11630 4.295 m <sup>3</sup>	2603.0 5	(\$) 7080.3	(\$) 31731.2	(\$) 444.4	(\$) 121. 3	(\$) 60.3	(\$) 626	(\$) 39437.5
Acarreo del material con C.V.	016154	11630 4.295 m <sup>3</sup>	2603.0 5	(\$) 14160.6	(\$) 63462.4	(\$) 16904.2	(\$) 1041. 2	(\$) 476. 3	(\$) 18421. 7	(\$) 96044.7
Excavado y carga del material con R.E.	016021	11630. 4 m <sup>3</sup>	156.05	(\$) 613.3	(\$) 3679.7	(\$) 483.9	(\$) 7.2	(\$) 3.6	(\$) 494.7	(\$) 4787.7
Acabado y perfilado con M.N.	018112	5815.2 m <sup>3</sup>	156.05	(\$) 613.3	(\$) 2882.2	(\$) 469	(\$) 7.2	(\$) 3.6	(\$) 479.8	(\$) 3975.3
									Σ	(\$) 215444.9

En la figura 12 se muestra el esquema de organización de obra seleccionado para realizar la **excavación** del canal empleando las técnicas convencionales en un sector de 50 m de longitud utilizando el Diagrama de Gantt.

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

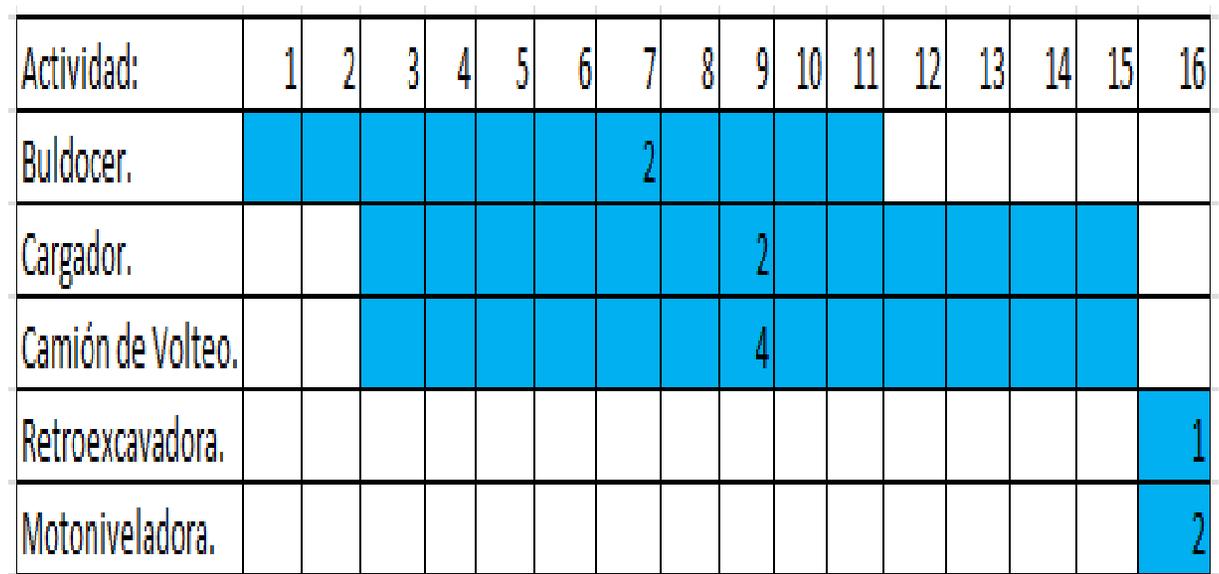


Figura 12. Diagrama de Gantt para la técnica convencional en un sector de 50m. Fuente: Autor, (2019).

### 3.4 Cálculo de los costos de los materiales y equipos utilizando la técnica de voladuras:

En la tabla X se muestran los resultados de los costos de materiales y equipos de la ejecución de la **excavación** del canal utilizando voladuras en un kilómetro de longitud.

Tabla X. Costos de equipos y materiales. (Técnica de voladuras). Fuente: Autor, (2019).

Actividades	Equipo.	U / M	Tiempo. ( h )	Costo mano de obra. (\$)	Costo de equipos (\$)	Costo de Combustible. (\$)	Costo de Materiales (aceites) (\$)	Costo de ANFO. (Amex) (\$)	Costo de electrodos detonadores. (\$)	Costo de Carga de fondo. (\$)	Costo total de la actividad.
Barren	Caretilla barrenadora.	4000 ( m )	654 ( h )	(\$) 1497.66	(\$) 4721.9	----- ---	----- ---	----- ---	----- ---	----- ---	(\$) 6219.6

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

ación.	Compresor.	4000 ( m )		654 ( h )	(\$) 1778.9	(\$) 1916.2	(\$) 111.18	-----	-----	-----	-----	(\$) 3806.3
Carga y voladura.	Maquina explosora.	-2.22 T (ANFO) -1500 electrodetonadores.		10 ( h )	(\$) 125.2	-----	----- --	-----	(\$) 3145.7	(\$) 3390	(\$) 4567.5	(\$) 21254.3
Carga y transporte.	Cargador de Goma.	116304.295 m <sup>3</sup>		2603.05 ( h )	(\$) 7080.3	(\$) 31731.2	(\$) 444.4	(\$) 181.6	-----	-----	-----	(\$) 39437.5
Acarreo del material con C.V.	Camión de Volteo	116304.295 m <sup>3</sup>		2603.05 ( h )	(\$) 14160.6	(\$) 63462.4	(\$) 16904.2	(\$) 1517.5	-----	-----	-----	(\$) 96044.7
Excavado y carga del material.	Retroexcavadora.	11630.4 m <sup>3</sup>		156.05 ( h )	(\$) 613.3	(\$) 3679.7	(\$) 483.9	(\$) 10.8	-----	-----	-----	(\$) 4787.7
Acabado y perfilado .	Motoniveladora.	5815.2 m <sup>3</sup>		156.0 ( h )	(\$) 613.3	(\$) 2882.2	(\$) 469	(\$) 10.8	-----	-----	-----	(\$) 3975.3
											Σ	(\$) 175525.4

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras.

En la figura 13, se muestra el esquema de organización de obra seleccionado para realizar la excavación del canal empleando la técnica de voladuras en un sector de 50 m de longitud utilizando el Diagrama de Gantt.

Actividad:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Barrenación:		2																
Carga y Voladura.				6														
Carga, acarreo y acabado.												9						

Figura 13. Diagrama de Gantt para la técnica de voladuras en un tramo de 50m. Fuente: Autor, (2019).



*CONCLUSIONES*

## Conclusiones

1. En nuestro país se han construido miles de kilómetros de canales con fines de abastecimiento a la población y agrícolas, usando tanto las técnicas convencionales como con el uso de explosivos, ejemplo de ello son los canales del **trasvase Este-Oeste**. Donde se emplean ambas técnicas de manera combinada.
2. Hasta ahora no se conoce de trabajos que aborden las ventajas y desventajas de los dos métodos mencionados en el párrafo anterior, aunque se conoce que la construcción con el uso de explosivos tiene un número considerable de limitaciones, sobre todo cuando se realiza en áreas urbanas.
3. No obstante, se puede plantear que, con las técnicas actuales y el desarrollo de la industria afín, se ha demostrado que empleando cargas disminuidas y con empleo de micro retardos, ha sido y es posible realizar voladuras seguras aun con edificaciones cercanas.
4. Se sabe que cuando el suelo es rocoso el único método posible es con el empleo de la técnica de perforación y explosivos, sin embargo, cuando el suelo entra en la categoría de roca blanda o suelo arcilloso seco o húmedo, es necesario conjugar las características de ambos métodos para obtener los beneficios técnico-económicos del más adecuado.
5. Definitivamente hasta donde llegaron los límites de la presente tesis, se puede concluir que el método con explosivos es más ventajoso en la fase de excavación, obteniéndose una ventaja económica de 39919.5 CUP. por kilómetro.



# *RECOMENDACIONES*

### **Recomendaciones**

1. Sería muy positivo probar la variante del empleo de la Zanjadora y compararla con el método convencional de máquinas de movimiento de tierra, lo que podrá hacerse en próximos trabajos de diploma, en cuyo caso será conveniente contactar con el equipo de proyectos del trasvase este-oeste.
2. La naturaleza del suelo impone la técnica a emplear en obras cuyas magnitudes sobrepasen decenas de kilómetros y asumiendo como inevitable y cierta la anisotropía del suelo, lo más probable es que sean las dos técnicas analizadas en el presente trabajo las que simultáneamente se empleen.



# *BIBLIOGRAFÍA*

## Bibliografía

1. Arguelles, Fernando, Excavación con explosivo. 2011. Visitado el 22 de marzo de 2019. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/94075177/Excavacion-con-Explosivos>
2. Art. 321. Excavación en Zanjas y Pozos. OC 326/2000. Geotecnia Vial referente a Materiales de Construcción de Explanaciones y Drenajes. Visitado el 19 de marzo de 2019. Disponible en: [http://www.carreteros.org/normativa/pg3/ordenes/circulares/326\\_2000/321.pdf](http://www.carreteros.org/normativa/pg3/ordenes/circulares/326_2000/321.pdf)
3. Artículo, Explosivo. 2012. Visitado el 22 de marzo de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Explosivo>
4. Canal (Ingeniería). Visitado el 19 de marzo de 2019. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Canal\\_\(ingenier%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_(ingenier%C3%ADa))
5. Capítulo 2. Equipos y Técnicas Constructivas. Visitado el 18 de marzo de 2019. Disponible en: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>
6. Francisco Ballester- Jorge Capote, Maquinarias de Movimiento de Tierra: Criterios de Selección. Edición: febrero de 1997.
7. Instituto Nacional de Vías, Artículo 210 – 07, Excavación de la explanación, canales y préstamos. Visitado el 4 de marzo 2019, Disponible en: [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_IN\\_V-07/Especificaciones/Articulo210-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_IN_V-07/Especificaciones/Articulo210-07.pdf)
8. Juan José Paretas, Leopoldo Gallardo, Mirtha López, Alejandro Montecinos y Enrico Turrini. *Energía, agua y transferencia de tecnología*. Habana : Editorial CUBASOLAR, 2000.
9. Lías Pupo, Yusmey y otros, "El impacto sociocultural del trasvase Este-Oeste: un estudio de caso" en *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, diciembre

2014. Visitado el 11 de marzo de 2019, Disponible en: [https://www.ecured.cu/Trasvase\\_Este-Oeste](https://www.ecured.cu/Trasvase_Este-Oeste)
10. López Jimeno, Carlos y otros, Manual de perforación y Voladuras.1970.
  11. Manual de excavación de Zanjas y Cunetas, 7 de mayo de 2014. Visitado el 19 de marzo de 2019. Disponible en: Internet.
  12. Matilla Ramírez, Ludia, Análisis de variantes de trazado del tramo III del canal magistral Birán-Báguano-Banes, Trabajo de diploma curso 2015-2016.
  13. Mengual Muños, Alberto, Movimientos de Tierra.2008. Visitado el 22 de marzo de 2019. Disponible en: [https://www.urbipedia.org/hoja/Movimiento\\_de\\_Tierras](https://www.urbipedia.org/hoja/Movimiento_de_Tierras)
  14. NC 052-027:78. Equipos y técnicas Constructiva. Visitado el 18 de marzo de 2019. Disponible en: <https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/equipos-y-tecnicas-constructivas.pdf>
  15. Orta Amaro, Pedro Andrés, Maquinarias de Movimiento de Tierra, Editorial Universitaria Félix Varela, La Habana, 2016.
  16. Pereda Hernández, Segundo, Explosivo en la construcción, Monografía. Editado con medios propios: Santiago de Cuba. 1980.
  17. Rodríguez Ruiz, Pedro, Conceptos y Elementos de un Canal.2011. Visitado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/>
  18. Romeo Matos, Lizandra, Fidel y una voluntad hidráulica que perdura.2016. Visitado el 20 de febrero de 2019. Disponible en: <http://www.trabajadores.cu/20160809/fidel-y-una-voluntad-hidraulica-que-perdura/>
  19. Simoniaux, Humberto, Maquinarias de Movimiento de Tierra. Trabajo de diploma curso 2008-2009.

20. Tamayo, Marlen, El agua: un preciado líquido. Museo Nacional de Historia Natural. La Habana, Cuba. 2011. Visitado el 11 de marzo 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Agua>
21. Ven Te Chow, Hidráulica de los canales abiertos. 1982. Visitado el 19 de marzo de 2019. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Canal\\_%28ingenier%C3%ADa%29](https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_%28ingenier%C3%ADa%29)
22. Ven Te Chow, León, P HD. *Hidraulica de los canales abiertos*. Bogota Colombia : s.n., 1994.



*ANEXOS*

## **Anexos**

### **Tablas**

- 1- Tabla de los coeficientes de cambios de volumen de los suelos.
- 2- Duración del ciclo de operación de las Palas Mecánicas (Frente pala y Retro).
- 3- Factor de llenado (Kll) para las Palas Mecánicas.
- 4- Recorrido Optimo de Ataque de las Palas Mecánicas.
- 5- Factor de carrera (Kr) aplicable a recorridos de ataques distintos a los de la Tabla 4.
- 6- Factor de giro (Kg) de las Palas Mecánicas.
- 7- Longitud y duración aproximada del desplazamiento de las Palas Mecánicas al excavar.
- 8- Indicadores de explotación de los Cargadores.
- 9- Valores del coeficiente A para explosivos de potencia normal.
- 10-Valores de los coeficientes M y Ma en función del índice de hornillo.

**Tabla 1: Tabla de los coeficientes de cambios de volumen de los suelos.**

<b>Rendimiento de Maquinaria. 1978</b>	<b>Tabla de los coeficientes de cambios de volumen de los materiales.</b>			
<b>Clase de suelo.</b>	<b>Estado actual del material</b>	<b>Transformado a:</b>		
		<b>Natural</b>	<b>Esponjado</b>	<b>Compactado</b>
Arena.	Natural	1	1,11	0,95
	Esponjado	0,9	1	0,86
	Compactado	1,05	1,17	1
Tierra común y Materiales Húmedos.	Natural	1	1,25	0,9
	Esponjado	0,8	1	0,72
	Compactado	1,11	1,39	1
Arcilla y Rocoso.	Natural	1	1,43	0,9
	Esponjado	0,7	1	0,63
	Compactado	1,11	1,59	1
Roca.	Natural	1	1,5	1,3
	Esponjado	0,67	1	0,87
	Compactado	0,77	1,15	1

**Tabla 2: Duración del ciclo de operación de las palas mecánicas.**

Capacidad nominal de la cuchara. yd <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	3/4 0.57	1 0.75	1 1/2 1.12	2 1.50	2 1/2 1.90	3 2.25	3 1/2 2.65	3 4
Designación del terreno.								
Tierra gredosa húmeda o arcilla arenosa ligera...seg.	16	17	18	18	20	21	23	24
Arena o grava.....seg. Buena tierra	16	17	18	18	20	21	23	24
Buena tierra común.....seg.	19	20	20	21	22	24	25	26
Arcilla dura y tenaz.....seg.	22	23	24	24	25	26	27	28
Arcilla Húmeda adherente..... seg.	29	30	31	31	32	33	34	35
Roca bien troceada, de fácil carga...seg.	16	17	18	19	20	23	24	25
Desmante con rocas y raíces molestas para la cuchara (aparte de las pérdidas del tiempo para elegir el punto de ataque).....seg. Roca mal retrocedida de	17	18	19	20	21	22	23	24
Dimensiones superiores a la cuchara (aparte de las pérdidas del tiempo para desplazar bloques).....seg.	16	17	18	19	20	23	24	25

**Tabla 3: Factor de Eficiencia de Llenado  $K_{II}$  para palas mecánicas.**

Capacidad nominal de cuchara . . .		{	yd <sup>3</sup>	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4
		{	m <sup>3</sup>	0,57	0,75	1,12	1,50	1,90	2,25	2,65	3
Terreno:		Coeficiente de crecimiento admitido				Factor $k_r$					
Excavación fácil	Tierra gredosa húmeda o arcilla arenosa ligera . . . . .	1,30	1,15	1,15	1,15	1,16	1,16	1,16	1,20	1,22	
	Arena o grava . . . . .	1,13	0,93	0,93	0,96	0,96	0,96	0,98	1,02	1,02	
Excav. media	Buena tierra común compacta, cargada en estado virgen . .	1,19	1,00	1,00	1,00	1,04	1,04	1,04	1,06	1,06	
Excav. dura	Arcilla dura y tenaz . . . . .	1,49	} 1,10	1,10	1,10	1,12	1,12	1,12	1,16	1,17	
	Arcilla húmeda adherente . .	1,43									
Amontonamiento	Roca muy bien troceada . . . . .	1,56	0,80	0,89	0,90	0,91	0,94	1,00	1,02	1,02	
	Desmontes comunes con rocas y raíces . . . . .	1,75	0,87	0,87	0,87	0,90	0,90	0,95	0,96	0,96	
	Roca mal triturada . . . . .	2,00	0,58	0,75	0,78	0,83	0,85	0,91	1,05	1,14	

**Tabla 4: Recorrido óptimo de ataque de las palas mecánicas.**

Capacidad nominal de la cuchara	{	yd <sup>3</sup>	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4
	{	m <sup>3</sup>	0,57	0,75	1,12	1,50	1,90	2,25	2,65	3
Tierra gredosa húmeda o arcilla arenosa ligera . . . . . m		1,50	1,80	2,15	2,35	2,55	*	*	*	
Arena y grava . . . . . m		1,50	1,80	0,57	2,35	2,55	2,66	2,75	2,80	
Buena tierra común . . . . . m		2,05	2,35	2,80	3,10	3,40	3,55	3,65	3,70	
Arcilla dura y tenaz . . . . . m		2,40	2,70	3,30	3,70	4	4,25	4,40	4,60	
Arcilla húmeda adherente . . . . . m		2,40	2,70	3,30	3,70	4	4,25	4,40	4,60	

**Tabla 5: Factor  $k_1$  aplicable a recorridos de ataque distintos de los de la tabla 17.**

Relación entre recorrido efectivo y óptimo	20%	40%	60%	80%	100%	120%	140%	160%	180%	200%
Factor $k_1$	0,87	0,93	0,97	0,99	1	0,985	0,96	0,93	0,9	0,87

**Tabla 6: Factor de giro  $K_g$  de las palas mecánicas.**

Angulo de giro efectivo.	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
Factor de giro.	1.26	1.16	1.07	1.0	0.88	0.79	0.71

**Tabla 7: Longitud y duración del desplazamiento de las Palas Mecánicas al excavar.**

<b>Capacidad nominal de pala (m³).</b>	<b>0.57</b>	<b>0.75</b>	<b>1.12</b>	<b>1.50</b>	<b>1.90</b>	<b>2.25</b>	<b>2.65</b>	<b>3.0</b>
<b>Long. desp. (l<sub>0</sub>).</b>	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.4
<b>Duración desp. (t<sub>d</sub>).</b>	30	35	40	50	55	65	70	75

**Tabla 8: Indicadores de Explotación de los Cargadores.**

Clasificación de los cargadores según su capacidad de cuchara (en metros cúbicos)	Tiempo empleado en las operaciones (min)												Velocidad de traslado.					
	t1			t2			t3			t4			Cargado (Vc m/min)			Vacio (Vv m/min)		
	Clasificación de suelos																	
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
< 1 - 1.7	0,1	0,12	0,15	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,1	0,12	73	76	68	80	80	80
1,8 - 2,4	0,13	0,17	0,2	0,1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,16	0,2	0,16	63	60	58	70	70	70
2,5 - 3,0	0,13	0,15	0,2	0,11	0,13	0,2	0,15	15	0,15	0,18	0,2	0,18	60	58	56	65	65	65
$t_c = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + 10 / V_c + 10 / V_v$																		
Clasificación de los suelos: I (kl = 1) II (kl = 0,97) III (kl = 0,95)																		

**Tabla 9: Valores del coeficiente A para explosivos de potencia normal.**

<b>Clasificación de las tierras y rocas.</b>	<b>Grados de dureza.</b>	<b>Valores de A.</b>
Tierra mullida.	I	0.26– 0.33
Tierra vegetal.	II	0.33– 0.57
Tierra con arena y cascajo.	II	0.51– 0.83
Arena compacta o húmeda.	I	0.83– 0.89
Arena movediza.	I	1.06– 1.18
Tierra arenosa.	II	0.56– 0.77
Tierra arcillosa.	III	0.68– 0.83
Arcilla.	III	0.82– 0.90
Arcilla dura, loes., creta, yeso, tobas resquebrajadas, piedra pómez densa y pesada, conglomerado con cementado calcáreo.	IV – VI	0.90– 1.05
Piedra arenisca con cementado arcilloso, esquistos arcillosos, rocas calizas, margas, arcilla compacta carbonatada.	VII – VIII	0.90– 1.15
Areniscas, con cemento calcáreo, dolomitas, rocas calcáreas, magnesitas, margas duras.	VIII – X	0.90– 1.25
Areniscas y calcáreas duras	VIII – XII	0.95– 1.40
Granito, diorita	<b>IX –XVI</b>	1.25– 1.60
Cuarcita	XIV	1.25– 1.40
Basalto, andesita	XII – XVI	1.25– 1.60
Pórfido	<b>XIV XV</b>	1.40– 1.50

**Tabla 10: Valores de los coeficientes M y Ma en función del índice de hornillo.**

n	M	Ma	n	M	Ma	n	M	Ma
0.00	0.70	0.70	1.55	4.36	2.83	3.05	33.2	10.0
0.05	0.70	0.70	1.60	4.73	2.99	3.10	35.0	10.4
0.10	0.70	0.71	1.65	5.14	3.14	3.15	36.9	10.8
0.15	0.70	0.72	1.70	5.57	3.31	3.20	38.9	11.1
0.20	0.70	0.73	1.75	6.02	3.47	3.25	41.0	11.2
0.25	0.70	0.75						
0.30	0.70	0.77	1.80	6.51	3.65	3.30	43.2	11.8
0.35	0.70	0.80	1.85	7.04	3.83	3.35	45.4	12.2
0.40	0.71	0.83	1.90	7.59	4.01	3.40	47.7	12.6
0.45	0.74	0.86	1.95	8.18	4.21	3.45	50.1	13.0
0.50	0.78	0.90	2.00	8.81	4.40	3.50	52.6	13.4
0.55	0.83	0.95	2.05	9.48	4.61	3.55	55.2	13.8
0.60	0.88	0.99	2.10	10.2	4.82	3.60	57.9	14.2
0.65	0.95	1.05	2.15	10.9	5.04	3.65	60.7	14.7
0.70	1.02	1.10	2.20	11.7	5.26	3.70	63.6	15.1
0.75	1.10	1.17	2.25	12.5	5.49	3.75	66.5	15.5
0.80	1.20	1.23	2.30	13.4	5.70	3.80	69.6	16.0
0.85	1.30	1.30	2.35	14.3	5.97	3.85	72.8	16.4
0.90	1.41	1.38	2.40	15.3	6.22	3.90	76.1	16.9
0.95	1.54	1.46	2.45	16.3	6.47	3.95	79.5	17.4
1.00	1.68	1.55	2.50	17.4	6.73	4.00	83.0	17.8
1.05	1.84	1.64	2.55	17.5	7.00	4.05	86.6	18.3

Análisis de la excavación de un canal hidráulico empleando las técnicas convencionales y voladuras

1.10	2.00	1.73	2.60	19.7	7.28	4.10	90.4	18.8
1.15	2.19	1.83	2.65	21.0	7.58	4.15	94.2	19.3
1.20	2.39	1.94	2.70	22.3	7.85	4.20	98.2	19.8
1.25	2.61	2.05	2.75	23.6	8.14	4.25	102.3	20.3
1.30	2.85	2.17	2.80	25.1	8.45	4.30	106	20.9
1.35	3.11	2.29	2.85	26.6	8.76	4.35	111	21.4
1.40	3.38	2.42	2.90	28.1	9.07	4.40	115	21.9
1.45	3.69	2.55	2.95	29.7	9.40	4.45	120	22.5
1.50	4.01	2.69	3.00	31.4	9.73	4.50	125	23.0