



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora



Autor: Onel Griñón Bordes

Tutor: DrC. Segundo Pereda Hernández.

Santiago de Cuba 2020

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

AGRADECIMIENTOS

- *Dar mi total agradecimiento a mis padres por su apoyo constante*
- *A mis abuelos a los que están y a los que ya no me acompañan en este momento*
- *A mi hermana la cual siempre me aconsejó*
- *A mis amistades especialmente José Antonio La O, Ana Luisa Sarmiento, Reynier Limonta, Carlos Medina, José Luis Guerra, José Luis Caamaño y Rafael Ammides que siempre estaban al pendiente de mis calificaciones*
- *A Beatriz, Eleazar, Yolanda e Ileana los cuales formaron parte de mi vida y me dieron un apoyo constante y eso lo aprecio*
- *A Danay la cual siempre me motivó a estudiar*
- *A todo el claustro de profesores los cuales nos han impartido todos sus conocimientos a lo largo de estos 5 años*
- *Y a otros que de una forma directa e indirecta formaron parte de este gran momento*

A todos ellos gracias.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres, los cuales sacrificaron mucho para q este momento fuera posible, al igual que me brindaron un apoyo incondicional durante todo el decursar de mi vida y mi carrera, cuando pensé q no podía más ellos me dieron el empujón que necesitaba para poder lograr mis metas.

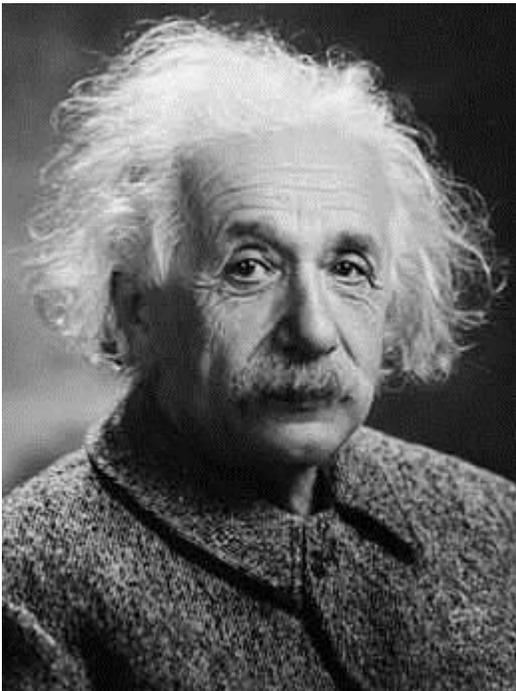
Gracias.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

PENSAMIENTO

"Somos arquitectos de nuestro propio destino"

Albert Einstein



Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Resumen

En el presente trabajo, se pretende dar respuesta a la comparación técnico - económica entre las tecnologías diferentes en la forma de ejecución de la excavación de canales hidráulicos. Veremos en el decursar del texto las diferencias sustanciales en la excavación de canales con el empleo de zanjadoras, respecto a otras tecnologías. Encada una de ellas se solapan operaciones, las que no deberán afectar el proceso de comparación, debido al hecho de que en todas las tecnologías se emplearán equipos similares en actividades específicas, todo cual estará representado en el proceso constructivo de la obrade referencia. 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**, desarrollado en la tesis de Ángel Raidel Leyva Antúnez el pasado curso **2018-2019**,el cual a su vez se basó en la Tesis de Ludia MatillaRamírez del curso **2015-2016**.

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 el empleo de una Zanjadora.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

ABSTRACT

ABSTRACT.

In the present work, we want to show the particularities in the form of execution of the excavation of hydraulic channels with the employment of a trenching machine. We will see in the text the substantial differences in the excavation of channels with the trenching machine, employment, regarding other technologies. In each one of them operations are overlapped, those that won't affect the comparison process, due to the fact that in all the technologies similar teams will be used in specific activities.

To give answer to this question we took the construction of a tract of hydraulic channel approximately of 1km of longitude for decantation, the one which fortunately and it stops ends of confirmation of our hypothesis it is already built, it is the channel Birán-Báguanos, developed in Ángel's Raidel Leyva Antúnez thesis, the past course 2018-2019, the one which in turn was based in the Thesis of Ludia Matilla Ramirez of the course 2015-2016.

It is necessary to clarify that the reach of this work, is bounded exclusively to the excavation of the trajectory of the channel with its geometric and topographical particularities, so, it is not the construction of the channel in its entirety, if not alone of the process of its excavation with the employment of a trenching machine that is required to have comparison approach

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

INDICE

Introducción	10
Capítulo I. Marco Teórico Conceptual	14
1.1- Canales Hidráulicos.....	14
1.1.2- Clasificación de los canales.....	14
1.2- Procedimiento para el diseño de canales.....	14
1.3- Trazado de los canales.....	15
1.4- Diseño de la Sección Típica Hidráulica.....	15
1.4.1- Métodos utilizados para el diseño de la Sección Típica Hidráulica.....	16
1.5- Costos de los Canales.....	16
1.5.1- Movimiento de Tierra.....	16
1.6- Excavación de Canales.....	18
1.6.1- Excavación con el empleo de métodos convencionales.....	18
1.6.2- Excavación con empleo de explosivos.....	18
1.6.3- Excavación con empleo de Zanjadoras.....	19
1.6.4- Tipos de Zanjadoras.....	19
Capítulo II. Excavación del canal con empleo de una Zanjadora	29
2.1- Descripción del tramo en estudio.....	29
2.1.1- Investigaciones Ingeniero-Geológicas.....	29
2.1.2- Diseño Hidráulico del Canal.....	30

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

2.2-Maquinaria a emplear para la excavación de la sección del canal.....	31
2.3-Zanjadora.....	31
2.4-Excavadoras.....	32
2.4.1-Campo de Aplicación. Rendimiento.....	33
2.4.2-Determinación Analítica del Rendimiento Nominal.....	34
2.5-Camión de volteo.....	37
2.5.1-Campo de Aplicación de los Camiones de Volteo (CV).....	38
2.5.2-Caja Basculante.....	39
2.6-Selección del número de camiones a emplear.....	39
Capítulo III: Cálculo económico de la variante empleada. Comparación de los resultados respecto a otras variantes de ejecución.....	42
3.1-Estructura del Costo Horario.....	42
3.2-Cálculo de los costos de los materiales y equipos utilizando la Zanjadora.....	42
3.3-Cálculo de los costos de los materiales y equipos utilizando las técnicas convencionales.....	44
3.4-Cálculo de los costos de los materiales y equipos utilizando la técnica de voladuras.....	45
Conclusiones Generales.....	48
Recomendaciones.....	48
Bibliografía.....	49

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

INTRODUCCIÓN

Se denomina agua potable o agua para el consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción para beber o preparar alimentos. El suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre desde la Antigüedad. Ya en la Grecia clásica se construían acueductos y tuberías de presión para asegurar el suministro local. En algunas zonas se construían y construyen cisternas o aljibes que recogen las aguas pluviales. Estos depósitos suelen ser subterráneos para que el agua se mantenga fresca y sin luz, lo que favorecería el desarrollo de algas.

En Europa se calcula un gasto medio por habitante de entre 150 y 200 L de agua potable al día, aunque se consumen como bebida tan sólo entre 2 y 3 litros. En muchos países el agua potable es un bien cada vez más escaso y se teme que puedan generarse conflictos bélicos por la posesión de sus fuentes.

De acuerdo con datos divulgados por el programa de monitoreo del abastecimiento de agua potable patrocinado en conjunto por la OMS y UNICEF, el 87 % de la población mundial, es decir, aproximadamente 5900 millones de personas (marzo de 2010), dispone ya de fuentes de abastecimiento de agua potable, lo que significa que el mundo está en vías de alcanzar, e incluso de superar, la meta de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) relativa al agua potable.

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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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.

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 Traslase Este-Oeste, propuesta que se ve atrasada por el período especial y no es hasta el año 2005 que se retoma la construcción del traslase ya que en este año el país sufrió una intensa sequía principalmente en la zona Oriental. (Romeo, 2016).

El Traslase 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 entre otros aspectos. (Lías, 2014.)

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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Problema de investigación: La necesidad técnico-económica, de revelar los parámetros técnico-económicos de las tecnologías empleadas en la ejecución de canales hidráulicos.

Este trabajo está dirigido a realizar la excavación de un canal hidráulico utilizandozanjadoras, lo que hasta la actualidad no conocemos sus posibilidades de empleo y por tanto sus indicadores técnico-económicos.

Lo que permite identificar como:

Objeto de investigación

El canal magistral Birán-Báguano-Banes (que tiene como objetivo el riego de zonas agrícolas.)

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 técnico-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 la ejecución del canal empleando una Zanjadora.
- 3 Comparar según los resultados las técnicas relacionadas de trabajos anteriores

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Desde esta perspectiva,

La hipótesis expresa: Si se realiza la comparación técnico-económica de las técnicas empleadas en la excavación del canal, entonces, será posible definir las ventajas y desventajas 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 zanjadoras para el movimiento de tierra
- 3 Realizar los cálculos económicos correspondientes a la técnica empleada.
- 4 Comparar los resultados, teniendo en cuenta las variables técnico-económicas.

Estructura de la Investigación:

Introducción:

Capítulo I: Marco teórico conceptual.

Capítulo II: Excavación del canal con el empleo de una Zanjadora

Capítulo III: Cálculo económico de la variante empleada. Comparación de los resultados respecto a otras variantes de ejecución.

Conclusiones y recomendaciones.

Bibliografía

Anexos

Capítulo I:

Marco Teórico Conceptual

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

CAPÍTULO I. Marco Teórico Conceptual.

1.1 Canales Hidráulicos:

En ingeniería se denomina canal a una construcción destinada al transporte de fluidos —generalmente utilizada para agua— y que, a diferencia de las tuberías, es abierta a la atmósfera. También se utilizan como vías artificiales de navegación.

1.1.2 Clasificación de los Canales:

- **Canales naturales:** Se denomina canal natural a las depresiones naturales en la corteza terrestre, algunos tienen poca profundidad y otros son más profundos, según se encuentren en la montaña o en la planicie. Algunos canales permiten la navegación, generalmente sin necesidad de dragado.
- **Canales de riego:** Éstos son vías construidas para conducir el agua hacia las zonas que requieren complementar el agua precipitada naturalmente sobre el terreno.
- **Canales de navegación:** Un canal de navegación es una vía de agua hecha por el hombre o natural que normalmente conecta lagos, ríos u océanos.

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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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.

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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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

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.

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.

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.

En el cálculo de estos volúmenes de movimiento de tierra se utiliza 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.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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.

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.

Clase de suelo	Estado actual del material	Transformado a:		
		Natural	Esponjado	Compactado
Arena	Natural	1.00	1.11	0.95
	Esponjado	0.90	1.00	0.86
	Compactado	1.05	1.17	1.00
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

Fuente: (Precons II).

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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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

1.6Excavación 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 métodos seleccionados para la excavación del canal de referencia, se hará un breve resumen de los métodos.

1.6.1Excavación con el empleo de métodos convencionales.

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

1.6.2Excavación 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.

La excavación de zanjas con explosivos se realiza principalmente cuando el suelo es predominantemente rocoso, aunque puede usarse también en suelo normal, 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).

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

1.6.3 Excavación con empleo de Zanjadoras.

Se emplea en ocasiones donde se necesita instalar varios tubos o cables por debajo de la tierra. Para zanjas de larga distancia esta máquina puede ser más adecuada que la excavadora. En el caso de este trabajo se utilizará en la excavación de un canal

1.6.4 Tipos de Zanjadoras

Las zanjadoras existen de distintos tamaños y pueden usar distintas herramientas de corte, según la profundidad y el corte requerido de la zanja y la dureza del suelo. Porque son equipos muy peligrosos las zanjadoras necesitan ser manejadas con mucho cuidado.

Zanjadoras de rueda

Una Zanjadora de rueda está compuesta de una rueda de metal dentada. Su uso y mantenimiento es más barato y puede cortar suelos más duros que las zanjadoras de cadena. Gracias a su rueda, es posible trabajar en suelos duros y blandos, ya sea homogéneos (rocas compactas, limos, arena) o heterogéneos (roca quebrada, aluviones, morrenas). Esto es cierto debido al hecho de que la rueda de corte trabaja en la limpieza de la zanja. Por consiguiente, es menos sensible a la presencia de bloques en el suelo. También se usa para cortar la calzada para el mantenimiento de la carretera y para tener acceso a las redes ubicadas bajo tierra.

Zanjadoras de cadena

Una zanjadora de cadena funciona como una motosierra para remover la tierra. Como útiles de corte se emplean para ello una serie de picas instaladas en la superficie de la cadena. Este tipo de zanjadoras puede cortar suelos muy duros y excavar zanjas profundas. El ángulo de la herramienta se puede ajustar para determinar la profundidad del corte. Para cortar una zanja, la herramienta se mantiene en un ángulo fijo, mientras que la máquina se arrastra lentamente.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

La zanjadora de cadena es la herramienta adecuada para la apertura de zanjas con un diámetro importante (telecomunicaciones, electricidad, drenaje, agua, gas, depuración de agua...) en zona rural. La evacuación de los escombros de la zanja se puede hacer a través de una cinta transportadora reversible ubicada a la derecha o a la izquierda de la máquina.

Micro Zanjadoras

Las micro-zanjadoras son especializadas para el trabajo en zona urbana. Es un vehículo de dimensión reducida para zanjar en la acera o en calzadas estrechas. Realiza micro zanjas para el despliegue de redes de telecomunicación, especialmente para las conexiones FTTx.

Zanjadoras portables

Es igual a las excavadoras de zanjas de cadena más grandes, pero tiene un peso de 90 kg

Medidas de Seguridad

- Lea el manual de operador de la Zanjadora antes de manejarla
- Las personas deben situarse a por lo menos 2m o más de la Zanjadora mientras funciona
- El manejo de la Zanjadora debe hacerse solamente desde el asiento del operador en el minicargador
- No maneje la Zanjadora sin los protectores de las cadenas instalados
- Siempre averigüe si hay instalaciones subterráneas de servicio público
- Nunca trate de quitar rocas de la cadena excavadora mientras esta funcionando

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Tabla II y III: Rendimiento según tipos de suelos

Tipo de material	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Dureza (Mohs)	Abrasividad	Rendimiento esperado
				m ³ /h
Arcillas	10-100	2	Nula	80-350
Yeso	40-450	2	Nula	60-350
Caliza Dolomita	100-1000	3.0-4.0	Poco a medianamente abrasiva	20-100
Arenisca	100-1500	4.5-5.5	Abrasiva	16-70
Gneiss Basalto	1500-4000	6	Muy abrasivo	6-20
Granito Andesita Cuarzo	1500-4000	6.5-7	Muy abrasivo	Método no recomendado
Hormigón Asfalto, etc...	Depende del espesor			

Fuente: Internet 20/02/20

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Tabla III

	Rendimiento esperado
	ML/h
Arcilla	De 1 a 3 ML/min
Arenisca	
Lulitas	
Hormigón en masa (no armado)	0.4-0.5 ML/min dependiendo de la compactación del Hormigón (contenido SiO ₂ vs CaCO ₃)

Fuente: Internet 20/02/20

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Tabla VI: Uso de Zanjadoras según el tipo de suelo

Ejemplos de tipos de rocas	Método de excavación apropiado	Desgaste de picas	Utilización de los materiales excavados
Caliza	Zanjadora de Cadenas	Moderado	Bueno a aceptable
Dolomita	Zanjadora de Cadenas	Moderado	Bueno a aceptable
Arenisca	Zanjadora de Cadenas	Moderado-Elevado	Aceptable
Basalto Gneiss	Zanjadora de Cadenas(el empleo de martillos neumáticos puede ser necesario al nivel de las zonas de dureza elevada)	Elevado	Aceptable a mínimo
Granito Andesita	Uso de explosivos Nota: El empleo de Zanjadora es marginal por no ser económico	Extremo	Aceptable a mínimo
Chert Riolita	Martillos hidráulicos + retroexcavadora Empleo de explosivos	No aplica	Mínimo a nulo

Fuente: Internet 20/02/20

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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.

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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

tengan las empresas nacionales. A continuación, se muestra una tabla donde se reflejan las características de cada uno de los métodos mencionados. (Ver tabla III)

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Tabla IV: Comparación entre las diferentes técnicas.

Efectos Resultantes de la excavación con explosivos.	Efectos resultantes de la excavación con métodos convencionales	Efectos resultantes de la excavación con Zanjadoras
<p>-Sobrexcaación importante.</p> <p>-Sección de la zanja muy irregular e inestable.</p> <p>-Dispersión del material excavado pudiendo causar problemas medioambientales y contaminación de los cauces colindantes.</p> <p>-El material resultante de la excavación necesita ser evacuado de forma temporal o definitiva.</p>	<p>-Sobrexcaación moderada.</p> <p>-Sección de la zanja irregular.</p> <p>-Los materiales excavados y depositados cerca de la zanja pueden causar problemas medio-ambientales.</p> <p>-Parte del material resultante de la excavación necesita ser evacuado de forma temporal o definitiva.</p>	<p>-Sobrexcaación mínima</p> <p>-Sección de la zanja regular</p> <p>-Los materiales excavados se acopian de forma continua y paralela de la zanja</p>

Fuente: Internet 21/02/20

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Tabla V: Ventajas y desventajas de los tipos de métodos

Explosivos	Excavación	Zanjadora
<p>-Rocas macizas, abrasivas de dureza elevada.</p> <p>-No conviene en el caso de rocas macizas compuestas por bloques dispersos y de pequeños tamaños.</p> <p>-Ejecución relativamente fácil.</p> <p>-Retroexcavadora y camiones necesarios para evacuar material volado.</p> <p>-Particularmente útil en pendientes pronunciadas.</p>	<p>-Rocas macizas compuestas por bloques dispersos y de pequeños tamaños.</p> <p>-No aconsejable en rocas macizas, abrasivas y de dureza elevada.</p> <p>-De fácil aplicación, pero con bajos rendimientos según el caso.</p> <p>-Útiles en el caso de giros/ángulos pronunciados.</p> <p>-Útiles donde el terreno pasa a ser blando a rocoso en distancias cortas.</p>	<p>-Rocas de dureza baja a elevada.</p> <p>-El método de excavación puede no resultar económico en rocas de extrema abrasividad y dureza.</p> <p>-No aconsejable en terrenos formados por bloques dispersos de rocas de dureza elevada.</p> <p>-La máquina de gran dimensión requiere una correcta preparación de la pista.</p> <p>-Su rendimiento es óptimo en largas distancias de terrenos rocosos y homogéneos.</p>

Fuente:21/02/20

Capítulo II:

Excavación del canal con el empleo de una Zanjadora

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

CAPÍTULO II. Excavación del canal con empleo de una zanjadora

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, con el uso de explosivos y barrenación o con el empleo de una zanjadora, 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, daremos 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 1 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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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:

Capa N° 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 N° 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 m³/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 VI.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Tabla VI. Resultados del diseño de la STH.

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	2.05	0.85	8.64	1.04	7.40	2.25	Subcrítico

Los Resultados de los volúmenes de trabajo de dicha obra se muestran en la tabla VII la cual fue tomada de la tesis de Ángel Raidel Leyva Antúnez el pasado curso **2018-2019**,

Tabla VII Resultados de los volúmenes de trabajo.

Desbroce(m ²)	Excavación(m ³)
22412,874	116304,295

Fuente: Tesis Leyva

2.2-Maquinaria a emplear para la excavación de la sección del canal

Se tomará de forma preliminar los siguientes equipos:

Zanjadora, 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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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.

2.3-Zanjadora

Para la excavación de la sección cuadrada del canal es necesario el empleo de una Zanjadora la cual debe contar con una cinta transportadora para evitar que el material extraído pueda afecte el movimiento de otras maquinarias a emplear, el tipo de Zanjadora que cumple con las características para este trabajo es la Zanjadora de cadenas sobre orugas **RC-760/1219** la cual cuenta con las siguientes características:

- Cuenta con motores hidráulicos de alto par para excavación en roca
- Cadena de excavación doble
- Profundidad máxima de excavación de 500 cm
- Personalización del ancho de excavación el cual varía entre 71-81-91-102-112-150 cm
- Sistema de extracción de tierra mediante cinta transportadora con capacidad de almacenamiento en ambos lados de la máquina
- Ancho de banda transportadora 96cm
- Tensor hidráulico de la cadena de excavación
- Suspensión antivibratorias en motor, radiadores, bombas hidráulicas y cabina, además de aire acondicionado y calefacción en esta última para brindar comodidad a la hora del empleo del equipo
- Laser para la nivelación de zanjas lo cual permite una mayor exactitud
- Autonomía de trabajo de 10 h (a máxima carga)
- Capacidad del tanque de combustible de 1450 L

Debido a que la base del canal es de 3m y el ancho máximo de cadena de la Zanjadora es de 1.50m la Zanjadora debe de dar 2 pases para poder realizar el corte.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

2.4-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).



Figura: 2. Excavadora.

2.4.1-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 m³ que puede excavar en

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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.

2.4.2-Determinación Analítica del Rendimiento Nominal:

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

$$RN_{REX} = \frac{C \times 3600 \times (Kll \times Kr \times Kg)}{tc} , \text{ en m}^3/\text{h}$$

Dónde:

C = Capacidad. Nominal de la Pala (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:

$$C_{nat} = C \times f_{ESP-Nat}$$

tc: 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.

Kll: 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.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Factor o coeficiente de recorrido (Kr):

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.
- 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. = Cópima \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):

$$n = \frac{RN_{REX}}{Vo}$$

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

RN_{REX} = Rendimiento Nominal del Equipo sin desplazarse, m^3/h

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

V_0 : Volumen que excava el equipo en una posición (sin desplazarse), m^3 esponjados.

$V_0 = (L \times a \times h) \times fsd_{-E}$, m^3 esponjados.

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.

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

$(n \times t_d)$, en segundos.

Se determina el Rendimiento Nominal según:

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

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

Datos

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

$$RN_{retro} = \frac{1.12 * 3600 * (1.10 * 0.97 * 0.79)}{31} = 109.63 \text{ m}^3/h$$

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

$n = 109.63/42 = 2.6$ desplazamiento/ hora

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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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

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.

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

2.5-Camión 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).

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



Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Figura: 3. Camión de volteo. (KRAZ).

Tabla VIII: Tipos, marcas y modelos de camiones de volteo.

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

Fuente: (Capote-Ballester,1997)

2.5.1-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.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

- Unidad de carga.
- Condiciones tecnológicas del vehículo.

2.5.2-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).

Tabla IX. Capacidades de las cajas basculantes para el transporte de materiales a granel con densidades menores de 2t/m³. Fuente (Ballester- Capote, 1997).

Capacidad de la Caja Basculante Neta(m ³)	Capacidad Portante	Potencia del chasis-cabina (HP)
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

Fuente: (Capote-Ballester, 1997)

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.

2.6-Selección del número de camiones a emplear

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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.

$$N_c = 1 + t_{mov} + \frac{t_{\theta}}{t_c}$$

Dónde:

t_{mov} - es el tiempo de recorrido o ciclo del camión una vez cargado, min.

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

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

t_{θ} = 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

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

$$t_c = (10 / 63.83) \times 60 = 8.97 \text{ min}$$

$$N_c = 1 + 17.91 / 8.97 = 2.1 \text{ CV} \approx 2 \text{ CV}$$

Capítulo III

Cálculo económico de la variante empleada. Comparación de los resultados respecto a otras variantes de ejecución.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Capítulo III: Cálculo económico de la variante empleada.

Comparación de los resultados respecto a otras variantes de ejecución.

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.

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 calculadas en la tesis de Leyva las cuales serán comparadas con el método de excavación con Zanjadora. De manera que también se mostrará la organización del trabajo en cada uno de los casos antes mencionado que posibilitará la ejecución del mismo.

3.2-Cálculo de los costos de los materiales y equipos utilizando la Zanjadora

En la tabla (X) se muestran los resultados de los costos de materiales y equipos que se emplearán en la ejecución de la excavación del canal utilizando la técnica de

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

excavación con Zanjadora en 1 kilómetro de longitud. El listado de precios utilizados para dichos cálculos me fue enviado por la empresa del PRECONS, dichos precios son los mas actuales utilizados. Dichos precios también pueden ser empleados por los estudiantes para realizar cálculos más exactos en los futuros proyectos.(Anexos 2)

Listado de actividades.	Código.	U / M Cantidad. m ³	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 material. (\$)	Costo de la obra. (\$)
Excavación en el canal	012625	116304.29	2907.6	8972.6	113979.9	65230.2	3568.2	859	18421.7	211031.6
Acarreo del material con C.V.	016154	116304.29	2907.6	17240	82953.8	18899.4	1250.3	492	18421.7	139257.2
									Σ	350288.8

Actividades	1	2	3	4
Zanjadora	1			
Retroexcavadora			1	
Camión de Volteo			2	

Figura 4. Diagrama de Gantt para la técnica de excavación con zanjadora en un sector de 100m

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

3.3-Cálculo de los costos de los materiales y equipos utilizando las técnicas convencionales:

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.

Tabla (XI). Costos de equipos y materiales. (Técnicas convencionales.)

Listado de actividades.	Código.	U / M Cantidad. m ³	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 material. (\$)	Costo de la obra. (\$)
Excavación en el canal con B.E.	012625	11630 4.295 m ³	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 ³	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 ³	2603.0 5	(\$) 14160.6	(\$) 63462.4	(\$) 16904.2	(\$) 1041.2	(\$) 476.3	(\$) 18421.7	(\$) 96044.7
Excavado y carga del material	016021	11630. 4 m ³	156.05	(\$) 613.3	(\$) 3679.7	(\$) 483.9	(\$) 7.2	(\$) 3.6	(\$) 494.7	(\$) 4787.7

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

con R.E.										
Acabado y perfilado con M.N.	018112	5815.2 m ³	156.05	(\$) 613.3	(\$) 2882.2	(\$) 469	(\$) 7.2	(\$) 3.6	(\$) 479.8	(\$) 3975.3
									Σ	(\$) 215444.9

Fuente: Del autor.

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.

Actividad:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Buldocer.						2																		
Cargador.												2												
Camión de Volteo.												4												
Retroexcavadora.																							1	
Motoniveladora.																							2	

Figura 5. Diagrama de Gantt para la técnica convencional en un sector de 50m.

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.)

Activid	Equipo.	U / M		Tie mp	Costo mano	Costo de	Costo total de				
---------	---------	-------	--	--------	------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------------

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

ades				o. (h)	de obra. (\$)	equipos . (\$)	Com busti ble. (\$)	ANF O. (Am ex) (\$)	electro s detona dores. (\$)	Carga de fondo. (\$)	la activida d.
Barren ación.	Caretilla barrena dora.	4000 (m)		654 (h)	(\$) 1497.6 6	(\$) 4721.9	----- ---	-----	-----	-----	(\$) 6219.6
	Compre sor.	4000 (m)		654 (h)	(\$) 1778.9	(\$) 1916.2	(\$) 111.1 8	-----	-----	-----	(\$) 3806.3
Carga y voladu ra.	Maquina explosor a.	-2.22 T (ANFO) -1500 electro detona dores.		10	(\$) 125.2	-----	----- --	(\$) 3145. 7	(\$) 3390	(\$) 4567.5	(\$) 21254.3
Limpiez a y perfilad o del canal.	-----	-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(\$) 144245. 2
										Σ	(\$) 175525. 4

Fuente: Del autor.

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 100 m de longitud utilizando el Diagrama de Gantt.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Actividad:	1	2	3	4
Barrenación.		2		
Carga y Voladura.				6
Carga y Acarreo.				

Figura 6. Diagrama de Gantt para la técnica de voladuras en un tramo de 100m.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

CONCLUSIONES GENERALES:

1. Aunque no ha sido frecuentemente empleadas para la construcción de canales en tierra y otros materiales de mayor dureza y resistencia, hemos comprobado con el análisis de la literatura técnico-científica que es factible el empleo de zanjadoras también para la apertura de canales hidráulicos.
2. Por lo que considero un aporte de nuestra tesis a la tecnología de la construcción de canales el empleo de Zanjadoras a partir de que existen varias firmas de construcción de maquinaria que se dedican a su investigación y fabricación.
3. 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, y a la vez es más económico.

Recomendaciones

1. Continuar la investigación a fin de precisar las ventajas que constituye el uso de Zanjadoras en la ejecución de canales hidráulicos y otros tipos.
2. Hacer un análisis de los costos incluyendo el de la inversión inicial, teniendo en cuenta el universo de fabricantes.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Bibliografía

1. Matilla Ramírez, Ludia, Análisis de variantes de trazado del tramo III del canal magistral Birán-Báguano-Banes, Trabajo de diploma curso 2015-2016.
2. Leyva Antúnez, Ángel Raidel, Análisis de variantes de trazado del tramo III del canal magistral Birán-Báguano-Banes, Trabajo de diploma curso 2018-2019.
3. 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 18 de abril de 2020, Disponible en: https://www.ecured.cu/Trasvase_Este-Oeste
4. Orta Amaro, Pedro Andrés, Maquinarias de Movimiento de Tierra, Editorial Universitaria Félix Varela, La Habana, 2016.
5. Canal (Ingeniería). Visitado el 19 de marzo de 2020. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_\(ingenier%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_(ingenier%C3%ADa))
6. Manual de excavación de Zanjas y Cunetas, 7 de mayo de 2014. Visitado el 19 de marzo de 2020. Disponible en: Internet.
7. Comparación entre los métodos de Zanjadora, convencionales y de voladuras. Visitado el 21 de febrero del 2020. Disponible en: Internet
8. Zanjadoras con bandas transportadoras. Visitado 1 de junio del 2020. Disponible en: Internet
9. Rendimiento esperado de las Zanjadoras según tipo de suelos. Visitado el 20 de febrero del 2020. Disponible en: Internet
10. Tipos de Zanjadoras a usar según tipo de suelo. Visitado el 20 de febrero del 2020. Disponible en: Internet

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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 Óptimo 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.

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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

Rendimiento de Maquinaria. 1978	Tabla de los coeficientes de cambios de volumen de los materiales.			
Clase de suelo.	Estado actual del material	Transformado a:		
		Natural	Esponjado	Compactado
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 ³ m ³	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	3
	0.57	0.75	1.12	1.50	1.90	2.25	2.65	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

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Desmante con rocas y raíces molestas para la cuchara (aparte de las pérdidas del tiempo para elegir el punto de ataque).....seg.	17	18	19	20	21	22	23	24
Roca mal retrocedida de								
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 ³	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4
		m ³	0,57	0,75	1,12	1,50	1,90	2,25	2,65	3
Terreno:		Coeficiente de crecimiento admitido			Factor k_2					
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								
Amontona- miento	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 triurada	2,00	0,58	0,75	0,78	0,83	0,85	0,91	1,05	1,14

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

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

Capacidad nominal de la cuchara	$\left\{ \begin{array}{l} \text{yd}^3 \\ \text{m}^3 \end{array} \right.$	$\frac{3}{4}$ 0,57	1 0,75	$1\frac{1}{2}$ 1,12	2 1,50	$2\frac{1}{2}$ 1,90	3 2,25	$3\frac{1}{2}$ 2,65	4 3
Tierra gredosa húmeda o arcilla arenosa ligera m		1,50	1,80	2,15	2,35	2,55	2,66	2,75	2,80
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_r 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_r	0,87	0,93	0,97	0,99	1	0,985	0,96	0,93	0,9	0,87

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora

Tabla 6:Factor de giro Kg de las palas mecánicas.

Angulo de giro efectivo.	45 ⁰	60 ⁰	75 ⁰	90 ⁰	120 ⁰	150 ⁰	180 ⁰
Factor de giro. Kg	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.

Capacidad nominal de pala (m³).	0.57	0.75	1.12	1.50	1.90	2.25	2.65	3.0
Long. desp. (l₀).	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.4
Duración desp. (t_d).	30	35	40	50	55	65	70	75

Ejecución de un canal Hidráulico con Empleo de Zanjadora