

**ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES POR EL
MÉTODO COLOMBIANO DE TRINCHERA**

Por:

LAURA MARCELA BOHÓRQUEZ PÉREZ

LEIDY KATHERINE VALDIVIESO PRADA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA 2013**

**ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES POR EL
MÉTODO COLOMBIANO DE TRINCHERA**

Por:

LAURA MARCELA BOHÓRQUEZ PÉREZ

LEIDY KATHERINE VALDIVIESO PRADA

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil**

Director:

RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ

Ingeniero Civil, Ph D.



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA 2013**

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios, a nuestro Director el Ingeniero Ph.D. Ricardo Cruz por permitirnos participar en este proyecto, al autor del método Luis Becerra y su empresa Ecoinventiva, a nuestros padres por su apoyo y a los profesores que nos colaboraron en esta investigación.

Laura Bohórquez y Leidy Valdivieso

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. CONDICIONES FÍSICAS REQUERIDAS PARA EL SISTEMA	14
1.1 Localización	14
1.2 Control del tráfico	14
1.3 Ancho de la vía	15
1.4 Acceso a la obra	15
2. ELEMENTOS CONSTRUCTIVO	17
2.1 Alternativas para la sección interna del túnel	17
2.1.1 Dovelas Prefabricadas	17
2.1.2 Muros con contrafuerte	18
2.1.3 Módulos de contención	19
2.1.4 Muros dobles	20
2.1.5 Evaluación de las alternativas para la sección del túnel	21
2.2 Alternativas para el puente	22
2.2.1 Puente Grúa	22
2.2.2 Puente Militar	23
2.2.3 Cuadro comparativo: Ventajas y Desventajas	25
3. MAQUINARIA Y EQUIPO PARA LA EXCAVACIÓN, TRANSPORTE E INSTALACIÓN	26
3.1 Maquinaria de excavación	26
3.2 Equipos de Nivelación y Compactación	28
3.3 Volquetas para el transporte del material	29
3.4 Equipo para la Instalación y transporte de las secciones del túnel	29
4. SISTEMA CONSTRUCTIVO	32
CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ancho de calzada (metros).....	15
Tabla 2. Evaluación de alternativas para la sección del túnel.....	21
Tabla 3. Volúmenes de concreto empleados en un metro lineal de longitud del túnel.....	21
Tabla 4. Ventajas y Desventajas de los puentes.....	25
Tabla 5. Maquinaria de Excavación.....	26
Tabla 6. Peso de las piezas para cada alternativa.....	29
Tabla 7. Equipo de transporte.....	30
Tabla 8. Equipo de Instalación y Montaje.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gálibo mínimo para paso a desnivel.....	15
Figura 2. Pendiente de la Rampa.....	16
Figura 3. Dovelas, Sección del Túnel.....	18
Figura 4. Muros con contrafuerte.....	19
Figura 5. Módulos de contención.....	19
Figura 6. Muros dobles.....	20
Figura 7. Secciones del puente grúa.....	23
Figura 8. Sección inferior del puente grúa.....	23
Figura 9. Puente Bailey.....	24
Figura 10. Puente de apoyo logístico.....	24
Figura 11. Martillo Hidráulico.....	28
Figura 12. Equipo de Nivelación y Compactación.....	28
Figura 13. Volquetas.....	29
Figura 14. Telehandler.....	32

RESUMEN

TÍTULO:

ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES POR EL MÉTODO COLOMBIANO DE TRINCHERA*

AUTORES:

**Laura Marcela Bohórquez Pérez
Leidy Katherine Valdivieso Prada****

PALABRAS CLAVES:

Movilidad vial, Proceso Constructivo, Túnel de trinchera, Dovelas, Puente, Maquinaria.

DESCRIPCIÓN:

Actualmente tanto las ciudades colombianas como las del mundo entero se ven afectadas por problemas de movilidad vial, especialmente durante el proceso de construcción de soluciones que se plantean para dicho inconveniente, tales como intercambiadores, pasos deprimidos, puentes en intersección, entre otros. Como una opción adicional a las anteriores, se ha inventado un sistema denominado Método Colombiano para la Construcción de Túneles de Trinchera, el cual reúne características que disminuyen las inconformidades que los otros sistemas aportan. Con esta propuesta innovadora lo que se pretende es evitar el embotellamiento vehicular durante la construcción del túnel, ya que, como es apreciable en las obras que se realizan a diario en nuestro medio, el tránsito normal es interrumpido durante periodos muy largos, lo cual es un asunto muy molesto para la sociedad y que a su vez implica mayores costos. Proporcionará nuevas rutas de transporte en el área urbana, lo cual es muy ventajoso para ciudades densamente pobladas y con gran congestión vehicular; pues es un procedimiento rápido en su ejecución. En este proyecto se busca definir los aspectos físicos que son importantes para ejecutar el método y plantear alternativas para los elementos constructivos teniendo en cuenta el equipo y la maquinaria disponible en el mercado colombiano que permiten llevar a cabo la construcción del túnel.

*Proyecto de grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Ingeniero Civil Ph D. Ricardo Alfredo Cruz Hernández.

ABSTRACT

TITTLE:

ALTERNATIVES FOR THE CONSTRUCTION OF TUNNEL BY COLOMBIAN TRENCH METHOD*

AUTHORS:

**Laura Marcela Bohórquez Pérez
Leidy Katherine Valdivieso Prada ****

KEYWORDS:

Mobility Road, Constructive Process, Tunnel trench, Segments, Bridge, Machinery.

DESCRIPTION:

Currently both the Colombian cities worldwide as affected by road mobility problems, especially during the construction process proposed solutions to this problem, such as heat exchangers, steps depressed intersecting bridges, among others. As an additional option to the above, has invented a system called Colombian Method for the Construction of Tunnel Trench, which combines characteristics that decrease the disagreements that other systems provide. With this innovative approach the aim is to avoid traffic jam during construction of the tunnel, since, as is noticeable in the works that are done daily in our environment, normal traffic is interrupted for long periods, which is a very disturbing for society and that in turn means higher costs. Provide new transport routes in the urban area, which is very advantageous for densely populated cities with high traffic congestion, it is quick in its execution. This project seeks to define the physical aspects that are important for performing the method and propose alternatives to the construction elements taking into account the equipment and machinery available in the Colombian market that allow you to perform the construction of the tunnel.

*Proyecto de grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Ingeniero Civil Ph D. Ricardo Alfredo Cruz Hernández.

INTRODUCCIÓN

Soluciones tales como la construcción de intercambiadores, puentes en intersección y pasos deprimidos, son las más utilizadas en la adecuación de las vías [1]. El Método Colombiano de Trinchera es una propuesta que está en proceso de patente, la cual se pretende implementar como solución a los problemas de movilidad vial.

Este sistema se basa en crear un paso a desnivel bajo una vía sin interrumpir de manera considerada y constante el tráfico normal. Su proceso consiste inicialmente en hacer una trinchera (excavación), donde se desarrollará la construcción del túnel, para esto se utilizará un sistema de avance sucesivo con dovelas de concreto prefabricadas y una estructura que funciona como puente para dar paso a los vehículos y que es móvil con el fin de situarlo en la zona de trabajo. El desarrollo del método comprende tres aspectos generales los cuales son: condiciones físicas, elementos constructivos y finalmente el equipo y la maquinaria.

En el Capítulo 2, se determinarán las condiciones físicas requeridas para llevar a cabo la implementación del sistema de construcción. En el Capítulo 3, se establecerán alternativas adecuadas de los elementos constructivos como las dovelas y el puente. Luego en el Capítulo 4, se sugiere el equipo y la maquinaria que cumplan con las características necesarias para implementar el método y adicionalmente su disponibilidad en el mercado colombiano. Para finalizar en el Capítulo 5 se planteará un sistema constructivo que surgió de las evaluaciones que se realizaron en cada uno de los aspectos generales y en el Capítulo 6 las observaciones y conclusiones.

1. CONDICIONES FÍSICAS REQUERIDAS PARA EL SISTEMA.

Para realizar el método se deben determinar ciertos aspectos ligados al entorno estableciendo las condiciones mínimas para llevar a cabo el proceso constructivo, tales como localización, control del tráfico, ancho de la vía y los accesos, que se describen a continuación:

1.1 Localización.

Para el inicio del proyecto se hace necesario localizar la vía bajo la cual se va a implementar el método, definiendo así el punto de inicio de la obra. Adicional a esto, se debe ubicar un lugar disponible y de tamaño apto en el cual se pueda almacenar el material para la obra y los elementos necesarios como lo son las dovelas.

Dentro de la localización se pueden considerar las siguientes características para la realización del método:

- La longitud de la vía debe ser lo suficientemente extensa para que justifique su ejecución e inversión.
- La vía debe ser preferiblemente urbana y ser parte de una ruta principal.

1.2 Control del tráfico.

El objetivo principal del Método Colombiano de Trinchera es construir un túnel sin alterar el flujo vehicular urbano, pero resulta complicado no influir en él mientras se está en el proceso de construcción. Este sistema propone una alteración del flujo vehicular, el cual consiste en desviar el tráfico momentáneamente mientras se hace la instalación del puente por el cual nuevamente seguirán transitando los vehículos, es necesario aclarar que esta alteración no tendrá un tiempo muy significativo.

1.3 Ancho de la vía.

Según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras – INVIAS, el ancho de calzada para una vía de dos carriles es mínimo de 7.3 metros, esta será la medida utilizada para el ancho del túnel en este proyecto, es un parámetro estimado para la idealización del método.

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGENEO (V _{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 1. Ancho de calzada (metros) [2]

1.4 Acceso a la obra.

El nuevo método colombiano tiene como propósito la movilidad subterránea de diferentes tipos de vehículos, ya sean de pequeño o gran tamaño. Por lo tanto se ha definido que la altura libre del túnel cumpla con los parámetros que exige el INVIAS como se ve en la **Figura 1**, para esto se debería excavar aproximadamente 5.6 metros de profundidad.

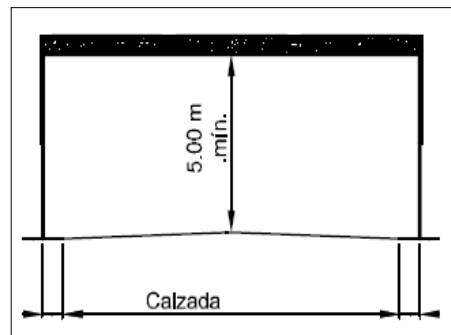


Figura 1. Gálibo mínimo para paso a desnivel. [2]

Buscando dar solución al acceso en la obra, se propone implementar una entrada de fácil construcción y comodidad para el transporte de la maquinaria y el equipo, en este caso se sugiere contar con un terreno disponible el cual se pueda usar como campamento y en el que se construirá una rampa para que comunique con el punto de inicio del túnel.

En caso de que no se pueda contar con un lugar de gran tamaño, cercano a la obra, que esté disponible para el almacenamiento del equipo y para la construcción del acceso, o por cuestiones económicas no se pueda conseguir, se plantea la opción de hacer el acceso en una de las vías que concurren a la vía principal en la cual se va a construir el túnel. Este acceso permitirá que la maquinaria ingrese y salga de la obra, retome las vías ordinarias y se dirija al sitio de almacenamiento de los elementos y material.

Dependiendo de la longitud del túnel que se piensa construir, podría considerarse necesario ubicar a lo largo del tramo más accesos que faciliten el transporté de los elementos constructivos.

Características de la rampa (**Figura 2**):

- Pendiente máxima permitida del 10%. [2]
- Altura: 5.6 metros
- Longitud: 56 metros

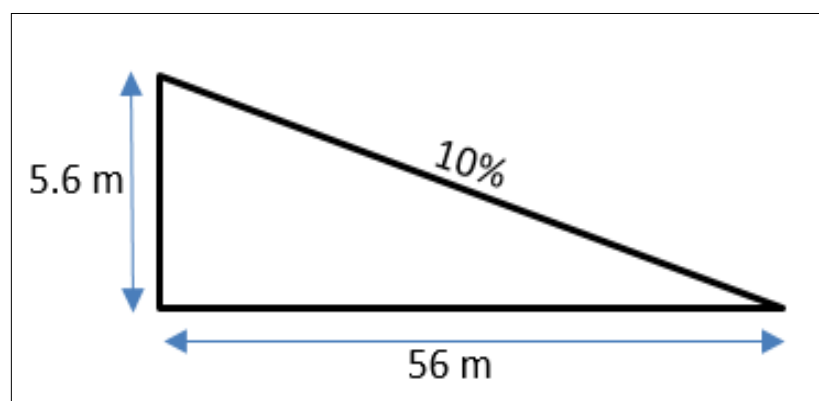


Figura 2. Pendiente de la Rampa

2. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Se presentan los elementos alternativos para la configuración de la sección transversal del túnel y las opciones más convenientes para el puente.

2.1 Alternativas para la sección interna del túnel.

El tema de la prefabricación de las piezas no tiene ninguna complicación, ya que se pueden realizar en sitio o en una planta. Para su fabricación se utilizarán formaleas, que pueden ser combinadas de acero y madera, las cuales se le pueden usar aproximadamente mil veces.

Es necesario contar con maquinaria que transporte las piezas y realice su montaje. Estos elementos tienen que acoplarse a la sección interna del túnel y deben sellarse las juntas para evitar su inestabilidad.

2.1.1 Alternativa 1: DOVELAS.

Las dovelas son elementos constructivos elaborados en diferentes materiales, que conforman secciones circulares o bóvedas. [3]

Una de las alternativas para la construcción del túnel es utilizar dovelas prefabricadas en hormigón. Esta es una de las formas más rápidas y sencillas para la elaboración interna del túnel, para esto se propone un diseño de dovelas, como se muestra en la **Figura 3**, que consta de dos secciones en "L" que se ubicaran en la parte inferior, soportando el terreno lateral y sirviendo de suelo. La otra pieza es una sección rectangular que se ubicara en la parte superior, la cual servirá como placa de conexión para el cierre del túnel y a su vez permitirá el tránsito de vehículos por encima de ella.

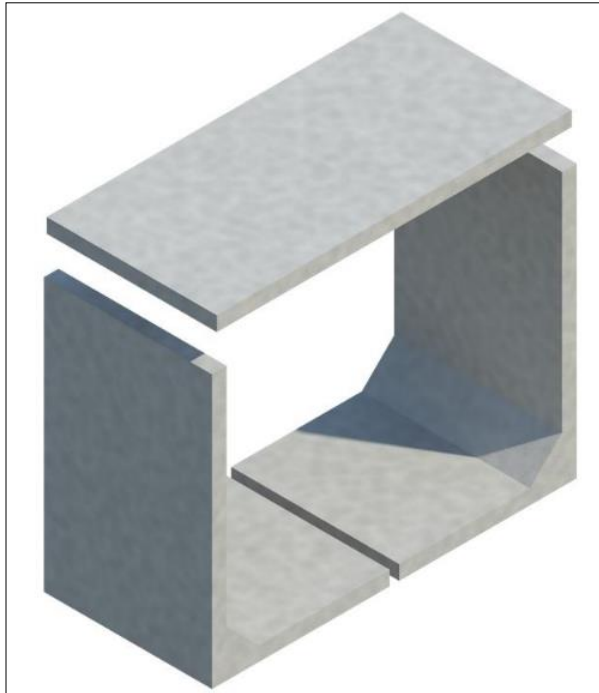


Figura 3. Dovelas, Sección del Túnel.

2.1.2 *Alternativa 2. MUROS CON CONTRAFUERTES.*

Los muros de retención con contrafuerte son similares a los muros en voladizo. Sin embargo, a intervalos regulares estos tienen losas delgadas de concreto conocidas como contrafuertes que conectan entre si el muro con la losa de la base. [4]

Los muros con contrafuerte prefabricados en concreto reforzado (ver **Figura 4**) se integran a una zapata previamente excavada y armada en sitio. Este conjunto se funde formando un elemento monolítico que cumple la misma función de un muro de contención vaciado en obra.

Esta es una opción que brinda más seguridad, ya que los muros con contrafuerte son más resistentes a la carga, pero es una opción muy compleja en este caso, debido a que su proceso constructivo requiere sobre-excavación y relleno en el trasdós del muro.

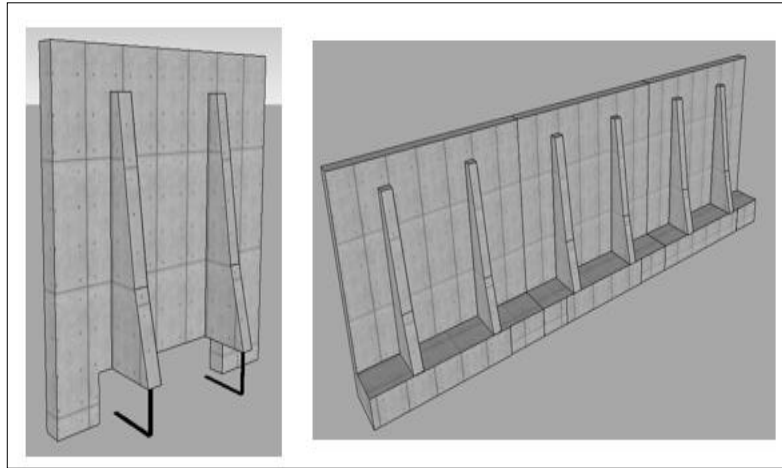


Figura 4. Muros con contrafuerte.

2.1.3 Alternativa 3: MÓDULO DE CONTENCIÓN (MDC).

Los Módulos de contención son una propuesta que se está presentando al mercado e incluyendo como una solución para la inestabilidad del suelo (ver **Figura 5**). Se ha considerado como una de las alternativas para este sistema porque aporta solución a la contención del terreno y además permite adoptar la forma rectangular que se necesita para el interior del túnel.

Estas piezas se fabrican con hormigón de alta resistencia y tienen la particularidad de que su tramo largo tiene un espesor que disminuye en dirección a su extremo libre, que puede verse reforzado por una terminación de acero para facilitar su proceso de instalación que se realiza por medio de hincado. [5]

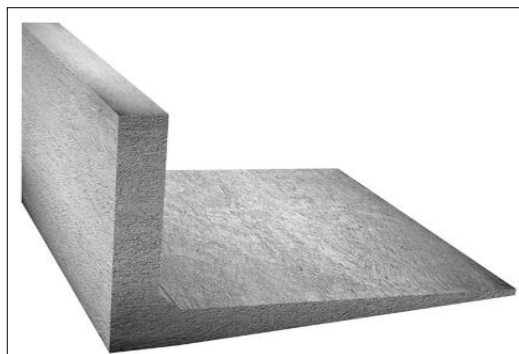


Figura 5. Módulos de contención.

Fuente: [5]

2.1.4 Alternativa 4: MUROS DOBLES.

El sistema está compuesto por una placa, consistente en dos paneles de hormigón prefabricado. En el interior de los paneles se encuentra la armadura previamente colocada, estando separados por unas celosías (ver **Figura 6**) a una distancia necesaria para que puedan soportar el esfuerzo al que van a ser sometidos. [6]

Esta alternativa ofrece muchas ventajas en cuanto a su rapidez de ejecución, fabricación y sobre-excavación, lo cual es muy útil para el proceso constructivo. Consiste en instalar zapatas prefabricadas que necesitarán de una previa excavación, luego de su instalación se deberá dejar expuesto el refuerzo de forma vertical y de esta manera realizar el empalme con los muros.



Figura 6. Muros dobles.

2.1.5 Evaluación de las alternativas para la sección del túnel.

La **Tabla 2** se muestra la evaluación realizada para las diferentes alternativas propuestas, teniendo en cuenta parámetros como el rendimiento, tipo de suelo y costo.

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA SECCIÓN DEL TÚNEL			
ALTERNATIVAS	PARÁMETROS		
	RENDIMIENTO Longitud/Tiempo	TIPO DE SUELO R/B	COSTO
DOVELAS	Alto	Suelos Rígidos	Bajo
MUROS DE CONTRAFUERTE	Bajo	Suelos Rígidos o Blandos	Medio
MÓDULOS DE CONTENCIÓN	Bajo	Suelos Rígidos	Alto
MUROS DOBLES	Medio	Suelos Rígidos o Blandos	Medio

Tabla 2. Evaluación de alternativas para la sección del túnel

En primer orden se evaluó el rendimiento como la relación longitud sobre tiempo, considerando el avance de la construcción del túnel por cada tramo (30 metros).

El parámetro de tipo de suelo, nos permite identificar el terreno para el cual es apta cada una de las alternativas.

Finalmente el costo se ha determinado de acuerdo al volumen de concreto que se emplea en la construcción de un metro lineal del túnel. A continuación se presenta la **Tabla 3** con volúmenes de concreto aproximados en un metro lineal para cada alternativa:

Alternativas	Volumen (m ³)
1	7.6
2	8.2
3	8.8
4	7.8

Tabla 3. Volúmenes de concreto empleados en un metro lineal de longitud del túnel.

De acuerdo con la evaluación anteriormente realizada se dedujo que la alternativa de las dovelas prefabricadas es la más factible para aplicar en el método.

2.2 Alternativas para el Puente.

El método colombiano de trinchera propone el uso de un puente que sea fácil de trasladar regularmente durante el proceso de construcción del túnel. Los puentes metálicos son estructuras prefabricadas que optimizan el proceso de montaje y movilidad. Una de las ventajas de la implementación de los puentes metálicos en el método colombiano, es que se adaptan a las condiciones físicas del medio en el cual se necesitan, como lo son el ancho de calzada, el soporte del tránsito y la luz que debe cubrir, se propone para el método que la longitud del puente sea aproximadamente de 30 metros.

2.2.1 Alternativa 1: PUENTE GRÚA.

Este tipo de puentes son máquinas utilizadas para la elevación y transporte, de materiales generalmente en procesos de almacenamiento o curso de fabricación. [7]

El puente grúa es una de las alternativas presentadas, ya que El Método Colombiano de Trinchera propone inicialmente este tipo de puente. Esta opción plantea que el puente trabaje conjuntamente con un gancho que instala las dovelas y una máquina taladradora que perforará el suelo, además tiene la función de ser un puente deslizable debido a que cuenta con unas ruedas que permiten su movilidad. El diseño de este tipo de puente es propio del inventor del método; en cuanto a las características de funcionalidad y capacidad es necesario realizar análisis que permitan comprobar que es idóneo para el sistema.

El diseño del puente pretende abarcar los dos carriles de la calzada soportando el tránsito que vaya a pasar sobre este. En la **Figura 7** se observa el diseño del

puente, conformado por tres partes: dos rampas (una en cada uno de los extremos) y en la **Figura 8** se detalla el tablero que tiene en su inferior ruedas y dos máquinas: una maquina taladradora y un gancho instalador de dovelas. El puente tiene aproximadamente 33 metros de largo, y un ancho de 5.5 metros.

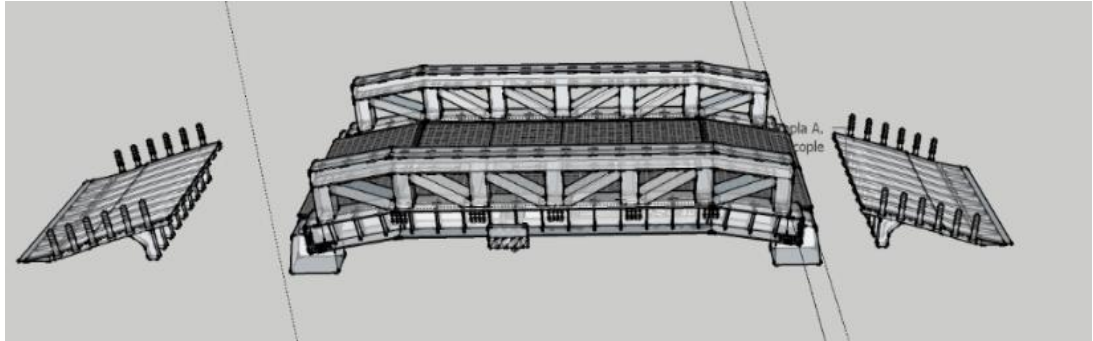


Figura 7. Secciones del puente grúa.

Fuente: [8]

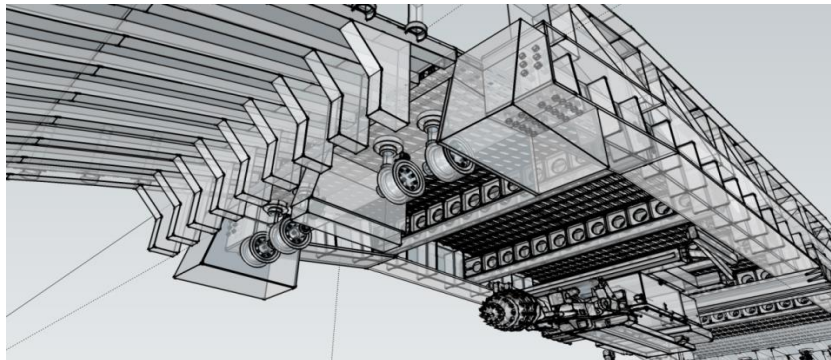


Figura 8. Sección inferior del puente grúa.

Fuente: [8]

2.2.2 Alternativa 2: PUENTE MILITAR.

• **Puente Bailey:** Los puentes Bailey pertenecen a la categoría de los puentes metálicos, que tiene su estructura compuesta totalmente de acero, lo que es una ventaja ya que permite construir rápidamente puentes con grandes luces y realizar ampliaciones o sustituciones. [9]

El puente Bailey se presenta como una de las alternativas para este sistema, ya que es un puente de carácter provisional, lo cual facilita su transporte, además es un puente prefabricado, por lo tanto su ensamble no requiere de herramientas especiales o de equipo pesado. Este puente permite salvar luces hasta de 60 metros de longitud; en cuanto a su capacidad de carga, admite un amplio rango que depende del diseño de la estructura.

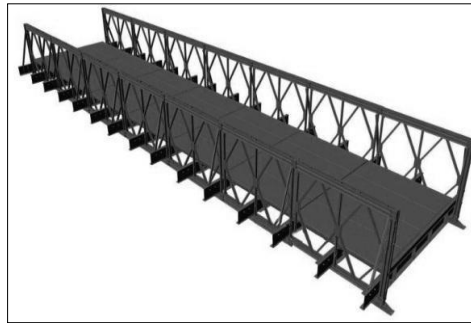


Figura 9. Puente Bailey

Fuente: [10]

- **Puentes de apoyo logístico:** El puente de Apoyo Logístico pertenece a una compañía líder en la construcción de puentes de acero en el Reino Unido [11]. Se presenta como una de las alternativas para el sistema pues tiene ventajas como permitir el soporte de tráfico pesado, capacidad para luces libres de gran longitud, galvanizado para dar una mayor vida útil y un mantenimiento mínimo.

En cuanto al ancho de calzada, es un parámetro el cual presenta una gran desventaja, ya que solo es de 4.2 metros, lo cual ocasionaría demoras y atascamiento en el flujo vehicular.

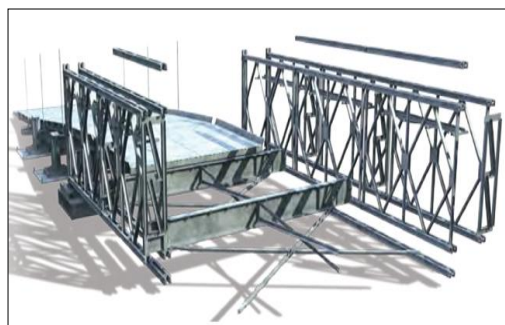


Figura 10. Puente de apoyo logístico.

Fuente: [11]

2.2.3 Ventajas y Desventajas.

En la **Tabla 4** se realizó una evaluación correspondiente a las ventajas y desventajas que presentan los puentes propuestos.

De acuerdo a esta evaluación se determinó que el puente Militar Bailey es el más apropiado para este método, puesto que posee más ventajas que las otras opciones.

	ALTERNATIVAS	
	PUENTE GRÚA	PUENTE MILITAR
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Este diseño se acopla al método ya que fue pensado originalmente para este. - Optimiza el equipo y la maquinaria utilizada en el método. - Su movilidad es ejecutada más rápidamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Su diseño posee características necesarias para la adaptación al método. - Es un puente que tiene gran facilidad de conseguirse en el mercado. - Su instalación no requiere de maquinaria especial ni mano de obra calificada.
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Su elaboración requiere de elevados recursos económicos. - Se desconoce el comportamiento que este tipo de puente tenga, en cuanto a esfuerzos transmitidos a las dovelas y al suelo. - Se necesita de mano de obra calificada para su operación y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Su movilidad es ejecutada en un mayor lapso de tiempo. - Este tipo de puente solo permite la movilidad de los vehículos y no ejerce ninguna colaboración a la instalación de los elementos del túnel.

Tabla 4. Ventajas y Desventajas de los puentes.

3. MAQUINARIA Y EQUIPO PARA LA EXCAVACIÓN, TRANSPORTE E INSTALACIÓN

3.1 Maquinaria de excavación

Para escoger el tipo de maquinaria se hace necesario tener en cuenta el tipo de suelo a excavar. A continuación se presentan las alternativas de equipo para suelo blando y suelo rígido.

- **SUELOS BLANDOS**

La excavación de este tipo de suelo puede ser ejecutada de manera sencilla, ya que no requiere de maquinaria que tenga alta tecnología. Las alternativas más destacadas se muestran en la **Tabla 5**, éstas son capaces de efectuar una rotación de 360°, excavan, elevan, giran, cargan y descargan materiales por acción de la cuchara, son máquinas que generan buen rendimiento, alta movilidad, son productivas y son de gran disponibilidad en el mercado colombiano [12]. Para uso del método se propondrán de tamaño mediano con un promedio de 4.5 a 5 metros de altura y un ancho que no exceda los 3.5 metros.


MAQUINARIA	DESCRIPCIÓN
 <p>Excavadora sobre Ruedas</p>	Estas máquinas proporcionan una mayor movilidad en el momento de la excavación debido a sus ruedas.
 <p>Excavadora sobre Orugas</p>	La excavadora presenta mayor adherencia al terreno generando poca presión en el suelo.
 <p>Retroexcavadora</p>	La retroexcavadora incide sobre el terreno desde arriba hacia abajo y son más rápidas a la hora de cargar material.

Tabla 5. Maquinaria de Excavación

- *SUELOS RÍGIDOS*

Dentro de este tipo de suelos se pueden encontrar terrenos de rocas sueltas, fijas o muy consolidadas, lo que implica la utilización de medios explosivos o aditivos de fracturación, además de la maquinaria a utilizar.

La opción de los explosivos no es una alternativa viable para la ejecución del método, ya que el entorno al que está sometido la excavación es una zona urbana, así que en el momento de la detonación las ondas y las vibraciones pueden provocar inestabilidad a las paredes de la trinchera generando riesgos a las estructuras cercanas. En cambio los aditivos son cementos expansivos inyectados en la roca, que trabajan como agentes demolidores proporcionando un control del rompimiento más eficiente, son fáciles de usar y están disponible en el mercado colombiano. [13]

Adicionalmente la excavación mecánica tiene tres sistemas fundamentales los cuales son: rozadoras, tuneladoras y martillos hidráulicos.

Las tuneladoras o máquinas topo (TBM) [14] son equipos utilizados en la construcción de túneles como excavadoras de secciones completas, debido a su forma circular y su gran tamaño no son aptos para el método. En cuanto a las rozadoras [15] son máquinas usadas en la excavación de túneles, pero que actualmente no están disponibles en el mercado colombiano. Finalmente la opción más adecuada por su disponibilidad y funcionamiento es el martillo hidráulico que se muestra en la **Figura 13**, este es un accesorio que se adapta a excavadoras comunes o retroexcavadoras para realizar su actividad.



Figura 11. Martillo Hidráulico.

Fuente: [16]

3.2 Equipos de nivelación y compactación.

Durante el proceso de excavación también se realizará la nivelación y compactación del suelo, ya que a medida que la excavación avanza se hace necesario nivelar el terreno para la colocación inmediata de las piezas prefabricadas que conforman el túnel. Para la elaboración de este proceso se utilizará un tractor de cadenas (Bulldozer) que realizará la nivelación y un compactador de suelos (ver **Figura 14**) para darle estabilidad. En cuanto a la dimensión para esta maquinaria, se recomienda que su ancho no sea mayor de 3.65 metros, ya que el acceso condiciona su entrada.

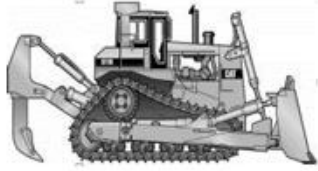

MAQUINARIA	MODELO
Nivelación	 Tractor de Cadenas
Compactación	 Vibro Compactador

Figura 12. Equipo de Nivelación y Compactación.

3.3 Volquetas para el transporte del material.

Como complemento al proceso de excavación es necesario utilizar equipos que realicen el transporte del material, usualmente las volquetas son utilizadas para este trabajo. La capacidad estimada de estos equipos para la aplicación del método se puede dar entre los 5 a 10 metros cúbicos para dar un mayor rendimiento al movimiento de tierras, considerando que su ancho no sea mayor a 3.6 metros.



Figura 13. Volquetas

Fuente: [17]

3.4 Instalación y transporte de las secciones del túnel.

Para la instalación y el transporte de las secciones internas del túnel, es necesario saber cuál es su peso y dimensión. A continuación se muestra la **Tabla 6** con el peso aproximado de una pieza para cada alternativa:

ALTERNATIVAS	PESO [Ton]
1	12
2	8
3	2
4	10

Tabla 6. Peso de las piezas para cada alternativa.

Según lo observado en la tabla anterior, es necesario encontrar el equipo que tenga la capacidad de transportar las piezas. Igualmente para la instalación, se deben conseguir equipos que permitan levantarlas y ubicarlas apropiadamente.

La **Tabla 7**, muestra opciones de los camiones que según sus características, son los más apropiados para que realicen el transporte de las piezas al interior del túnel. [18][19][20]

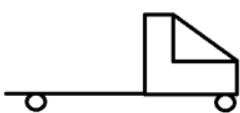
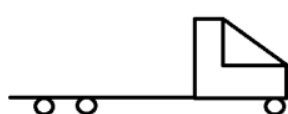
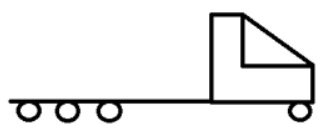
Modelo	Dimensiones [metros]			Capacidad de carga
	Longitud	Ancho	Altura	
 C2	12.3	2.3	2.3	19 Toneladas
 C3	12.2	2.6	4.4	30 Toneladas
 C4	13.2	2.6	4.4	36 Toneladas

Tabla 7. Equipo de transporte

En cuanto a la instalación y el montaje de las piezas se recomienda usar grúas que cuenten con las características propias de la trinchera, es decir, que tenga la facilidad de realizar su trabajo en el limitado espacio en que se encuentra. En la **Tabla 8**, se mostrarán algunas grúas disponibles en el mercado y que se podrán utilizar en el procedimiento. [21][22][23][24]


Modelo	Descripción	Dimensiones [metros]		Capacidad de izaje
		Altura	Ancho	
 <p>Autogrúa Locatelli</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Este tipo de grúas son diseñadas para circular por carreteras. · Pluma de 8 metros. · Elevación del brazo de 6° a 8°. 	2.9	1.9	20 Toneladas
 <p>Grúas Ormig</p>	Autogrúas diseñadas para montaje-traslado-desmontaje de maquinaria en recintos cerrados o abiertos, zonas de difícil acceso o espacio reducido para maniobrar.	2	1.6	Entre 5.5 a 60 Toneladas
 <p>Camión Grúa</p>	El camión grúa puede operar bidireccionalmente, girar de forma continua y completar un giro de 360° en sentido horario o antihorario.	2.5	3.85	8 Toneladas

Tabla 8. Equipo de Instalación y Montaje.

Debido al tipo de piezas que componen las alternativas 1, 2 y 4, se recomienda usar alguna de las opciones expuestas anteriormente para su montaje e instalación. Sin embargo, en los Módulos de Contención, no se hace necesario utilizar grúas, ya que estas piezas son de pequeño tamaño y ligero peso comparado con las otras alternativas, además su proceso de instalación es diferente, pues estos módulos deben ser hincados y es conveniente que esta acción se aplique sobre la parte baja de los módulos. [5]

Así que para este caso se recomienda utilizar Telehandlers o también conocidas Cargadoras Telescópicas (ver **Figura 16**). Este tipo de maquinaria tiene la capacidad de extender su brazo telescópico hacia adelante y hacia arriba desde el vehículo. Su capacidad de carga se encuentra en el rango de 2 a 5 toneladas y su altura varía de 6 a 16 metros.



Figura 14. Telehandler.

Fuente: [25]

4. SISTEMA CONSTRUCTIVO.

Con base en las descripciones aportadas en los capítulos anteriores, se define como sistema la relación que existe entre los elementos constructivos, la maquinaria y las condiciones físicas, que conllevan a proponer un proceso de construcción para el método.

Inicialmente se hace necesario definir la localización del proyecto con sus respectivos puntos de origen y finalización, ubicando así los sitios de acceso a la obra. Este acceso es la construcción de una rampa, que permitirá la movilidad de la maquinaria y del personal. En cuanto a sus características geométricas, son acordes a los parámetros establecidos normativamente. Conjuntamente se realizará la instalación del puente para permitir que los vehículos sigan transitando sobre la vía que posteriormente estará en construcción. El acceso permitirá dar inicio a la excavación del túnel y a medida que avanza el procedimiento, se extrae el material excavado, depositándolo en volquetas que

lo transportarán fuera del túnel. Luego se adecua el terreno nivelando y compactando el suelo, permitiendo la instalación de las dovelas. Cuando el montaje de las piezas complete un trayecto de aproximadamente 30 metros, se dará paso al nuevo tramo de construcción, trasladando el puente y repitiendo el proceso constructivo.

La maquinaria y el equipo con los que se ejecute este procedimiento se ajustarán a las observaciones que se presentaron anteriormente de acuerdo con las características del sitio.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- i) Se determinaron las condiciones físicas que requiere el sistema túnel de trinchera, tales como la localización, el control del tráfico, el ancho de la vía y el acceso a la obra, necesario para la implementación del método.
- ii) Se establecieron alternativas tanto para la sección interna del túnel como para el puente, las cuales fueron evaluadas respecto a parámetros propuestos y posteriormente fueron elegidas las opciones más indicadas para el método.
- iii) Se propuso maquinaria y equipos apropiados para ejecutar el método en las actividades de excavación, transporte e instalación de los elementos constructivos.
- iv) El diseño geométrico del túnel, en cuanto se refiere a la longitud y al ancho, son parámetros que se adaptan dependiendo de la situación o el lugar en el que se vaya a implementar el método, los criterios que aquí se presentaron solamente cumplen los mínimos establecidos por el Manual de Diseño Geométrico.
- v) Se tuvo en cuenta que estas alternativas propuestas para la sección interna del túnel, dieran solución a los problemas de estabilidad del terreno.
- vi) Para efectos del método se concluyó que los puentes militares son la mejor opción, ya que son fáciles de instalar y se ajustan a las condiciones del lugar donde se ejecute el método.
- vii) Se aportó un sistema constructivo para el método Colombiano de Túnel de Trinchera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] TEWODROS GETACHEW SOLOMON, Capacity Evaluation of Roundabout Junctions In Addis Ababa, Addis Ababa University, April, 2007.

[2] MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS – INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS 2008.

[3] DEFINICIÓN DOVELAS. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Dovela> [Consulta: 6 de Junio de 2013].

[4] BRAJA M. DAS, PRINCIPIOS DE INGENIERÍA DE CIMENTACIONES, Cuarta Edición. California State University, Sacramento 1999.

[5] MÓDULOS DE CONTENCIÓN. Disponible en: http://www.invepat.com/modulo_produc_tipos.html [Consulta: 8 de mayo de 2013].

[6] MUROS DOBLES. Disponible en: <http://www.forsecusa.es/muros.html> [Consulta: 20 de Junio de 2013].

[7] Alguero J. M., INDUSTRIAS GRUASA. FUNCIONES DEL PUENTE GRUA. Disponible en: <http://www.gruasa.com/documents/PUENTESGRUAFUNCIONES.pdf> [Consulta: 10 de Septiembre de 2013].

[8] Becerra Luis, imágenes propias del autor del método.

[9] Torres Ramírez M., ESTRUCTURAS PREFABRICADAS METÁLICAS, PUENTES BAILEY. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/128456632/PUENTES-BAILEY-Exposicion-pdf> [Consulta: 4 de Septiembre de 2013].

[10] PUENTE BAILEY. Disponible en: <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/16377093/Puente-modular-Bailey.html> [Consulta: 4 de Septiembre de 2013].

[11] Mabey Bridge Limited, PUENTES DE APOYO LOGISTICO, Chepstow, Monmouthshire, NP16 5YL, United Kingdom.

[11] EXCAVADORA DE RUEDAS. Disponible en:
<http://www.bobcat.eu/bobcat/eu-es/products/Excavator/E55W.page> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[12] Gómez Reintsch J. L., Maquinaria y equipo de construcción CIB-247, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia, Abril 2008.

[13] DEXPAN, Disponible en:
http://www.archerusa.com/noexplosivodemolicion/product_dexpanagentedemolicion.html [Consulta: 6 de Junio de 2013].

[14] ABDOLREZA YAZDANI-CHAMZINI, SIAMAK HAJI YAKHCHALI, Tunnel Boring Machine (TBM) selection using fuzzy multicriteria decision making methods, Febrero del 2012.

[15] IBRAHIM OCAKA, NUH BILGINC, Comparative studies on the performance of a roadheader, impact hammer and drilling and blasting method in the excavation of metro station tunnels in Istanbul, Noviembre del 2009.

[16] MARTILLO HIDRÁULICO, Disponible en:
<http://www.imtrama.com/martillos-hidraulicos> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[17] VOLQUETA, Disponible en: http://es.123rf.com/photo_14169773_vuelca-camion-de-la-mano-ilustracion-empate.html [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[18] DIMENSIONES Y CARGAS, Disponible en: <http://www.ctlc-st.gob.pe/PDF%20para%20web/07.COMPENDIO%20DE%20LEGISLACION/Compendio%20de%20Legislaci%C3%B3n/6.htm> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[19] MEDIDAS CAMIONES, Disponible en:
<http://www.icesi.edu.co/blogs/pregradoeconomialogistica/files/2008/11/medidas-camiones.pdf> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[20] ESTUDIO DE PESOS C2 Y C3: INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES, Disponible en:
<http://www.eltransporte.com/colombia/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=569> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[21] GRÚAS LOCATELLI, Disponible en:
<http://www.transgruas.com/es/productos/productos/autogruas-locatelli.htm> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[22] GRÚAS MOVILES Y VEHÍCULOS CLÁSICOS, Disponible en: <http://gruasmovilesyvehiculosclasicos.blogspot.com/2012/01/autogruas-tipo-city-y-homologadas-para.html> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[23] NUEVA GRÚA ORMIG DE 5.4 TM, Disponible en: <http://www.movicarga.com/modules/news/article.php?storyid=3458> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[24] CAMIÓN GRÚA, Disponible en: <http://www.specialtruck.es/7-truck-crane-9.html> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

[25] TELEHANDLER, Disponible en: <http://www.aerialift.com/telehandlers.htm> [Consulta: 7 de Octubre de 2013].

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE SUBESTRUCTURAS PARA
PUENTES DE CLAROS CORTOS SEGÚN NORMAS AASHTO. Chinchilla
López, Alexis José, Mejía Bautista, Francisco Antonio, Ramírez Caballero,
Víctor Manuel. CAPITULO II

CATERPILLAR INC.

DEERE & COMPANY