

**¿Qué tan aplicable puede ser una mega  
estructura bajo el agua en Colombia  
para impulsar el desarrollo del país?**

Alumna: Carolina Hoyos Cardona

Asesora: Ana María Cárdenas

COLEGIO MARYMOUNT MEDELLIN

PROYECTO DE GRADO

MEDELLÍN

2012

<b>1</b>	<b>Contenido</b>	
<b>2</b>	<b>Resumen .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>6</b>
4.1	General.....	6
4.2	Específicos .....	6
<b>5</b>	<b>Marco Teórico.....</b>	<b>7</b>
5.1	Antecedentes .....	7
5.2	Generalidades .....	7
5.3	Actualidad.....	10
<b>6</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>14</b>

## 2 Resumen

Colombia es un país con necesidad de expandirse en el mercado internacional para poder competir con el resto del continente. Esto obliga a los ingenieros a pensar en las diferentes maneras de mejorar la **infraestructura** nacional para poder lograrlo. Gracias a nuestra posición estratégica, las mega estructuras bajo el agua podrían ser una alternativa que impulse el **desarrollo** pero actualmente no existe ninguna en el país.

Un ejemplo de este tipo de obras es el **túnel** de Marmaray, situado en el estrecho de Bósforo y conexión entre Asia y Europa. Un ferri y un puente de automóviles eran la única manera de hacer el cruce entre continentes, pero estos no alcanzaban a abastecer la creciente demanda de pasajeros. Fue así cómo se decidió realizar la construcción de este túnel acuático obedeciendo al problema de movilidad que la ciudad de Estambul presentaba y cuyas consecuencias no eran positivas para facilitar el transporte.

Durante su construcción los ingenieros debieron enfrentarse a 4 **problemas** principales. El primero fue el hallazgo de uno de los sitios arqueológicos más importantes del mundo, lo que impedía que se cavara el túnel en el lado europeo al mismo ritmo que en el asiático. El segundo era la astucia que debían tener los ingenieros para construir una estructura que soportara la presión que se ejerce bajo el agua. El tercero consistía en las corrientes cambiantes que dificultaban el proceso de ensamblaje de las partes del túnel, por lo que era necesario tener el agua a favor del proyecto. El último eran los temblores que se generan en aquella región, por lo que debieron darle al túnel flexibilidad y estabilidad para poder soportar sismos fuertes en la escala de Richter y evitar altos riesgos.

En conclusión fue un proyecto de gran magnitud donde el diseño y la **ingeniería** se unieron para sortear los obstáculos de la construcción submarina acercando a dos continentes y cuya estrategia podría ser aplicada para construir algo similar en el país.

### **3 Introducción**

Este proyecto fue realizado con el propósito de fortalecer mi elección profesional y simultáneamente adquirir autonomía en el proceso previo a la universidad. El objetivo de este consiste en explicar de forma sencilla cómo se construyen las mega estructuras bajo el agua y concluir si su aplicación en nuestro país es viable. Para la elaboración del trabajo realicé una investigación basada en un ejemplo real ubicado en Estambul, Turquía llamado el túnel de Marmaray. Como fuente de información utilicé un documental del canal Discovery Channel al igual que el internet como herramienta complementaria. Considero que este es un tema de vital importancia pues la posición estratégica de Colombia obliga a los ingenieros a pensar en las posibilidades que hay de avanzar en la infraestructura para así contribuir al desarrollo del país.

## **4 Objetivos**

¿Qué tan aplicable puede ser una mega estructura bajo el agua en Colombia para impulsar el desarrollo del país?

### **4.1 General**

Investigar que tan aplicable puede ser una mega estructura bajo el agua en Colombia con el fin de impulsar el desarrollo del país.

### **4.2 Específicos**

1. Explicar de manera simple como se construyen las mega estructuras acuáticas basándose en el Túnel de Marmaray en Estambul.
2. Determinar las posibilidades que existen de realizar en un futuro un proyecto similar en Colombia.
3. Descubrir y afianzar las capacidades que tengo como estudiante para asumir la responsabilidad de un ingeniero.

## **5 Marco Teórico**

### **5.1 Antecedentes**

Estambul es la ciudad más grande de Turquía y se ubica en el Estrecho de Bósforo. Capital de tres imperios antiguos (Romano, Bizantino y Otomano), es un puente de conexión entre Asia y Europa, lo que la convierte en un punto estratégico para el comercio y el transporte tanto de pasajeros como de mercancía. Antes de la construcción del túnel de Marmaray, esto traía consigo un tráfico constante generado por los millones de personas que viajaban cada día utilizando los únicos medios de conexión: un puente y un ferri que tarda aproximadamente 20 minutos en cruzar. Se vio entonces la necesidad de atender este problema y se decidió realizar la construcción de un túnel bajo el mar que uniera a los dos continentes, llamado el túnel de Marmaray.

### **5.2 Generalidades**

Esta mega construcción, fue completada en el 2009 y tuvo un costo estimado de \$2.6 billones de dólares. Tiene una longitud de 13.6 km y una profundidad de 55 metros por debajo del mar. Los viajes estimados que realiza por día serán de 1.5 millones en el 2015, y 1.7 en 2025 y el tiempo de viaje que se habrá ahorrado en el 2015 será de 25 millones de horas.

El túnel es construido por partes a 30 km de la ciudad. Técnicamente, la estructura se conoce también como un túnel sumergido porque es construido en tierra para luego instalarlo bajo el mar. Lo componen 11 partes llamadas elementos cuyo tamaño es semejante al de un edificio de 40 pisos. Tienen 8 metros de alto por 120 metros de

largo, y cada una pesa unas 18,000 toneladas. Estas piezas están hechas de hormigón y selladas con un muro de contención de acero para lograr que sean totalmente herméticas.

El proceso de construcción e instalación se realiza en 3 etapas principales. En la primera se construyen la estructura del elemento, lo refuerzan con tubos de acero y un molde de hormigón. Luego esta base o dársena, protegida del mar Mármara por un muro de contención con válvulas, es llenada con agua (8,000 m<sup>2</sup> en 36 horas) para que el elemento suba a flote y pueda ser transportado a la siguiente etapa. Se sumergen entonces unos buzos expertos que soldan los tornillos que sostienen el muro para luego ser remolcado con una grúa. Así se puede mover el elemento a la segunda base donde se vierte el concreto. Finalmente, se transporta cada elemento a la base de inmersión, de 90 metros de largo, para que puedan ser sumergidos.

Una vez en la base inmersión, empiezan a jugar otro tipo de estrategias. Adentro del elemento existen 10 tanques, 5 en cada lado, cuya función es sumergirlo hasta donde sea necesario una vez son llenados con agua. Al controlar cuánta agua entra en cada tanque el elemento puede ser manipulado hacia arriba y hacia abajo con mucha precisión. “La inmersión se trata de controlar el agua, ya sea la corriente en la superficie o adentro del elemento ” dice el director del proyecto, Steen Lykke.

La construcción del túnel trae consigo una serie de problemas que los ingenieros deben sortear. El estrecho de Bósforo es una ruta de comercio entre ambos continentes donde más de 40,000 barcos atraviesan al año, lo que dificulta el transporte de los elementos.



Pero el verdadero desafío radica en tener que bajar tantos metros para enfrentar las fuertes corrientes del mar, una presión aplastante, temblores y un pasado histórico.

En primer lugar al Estambul haber sido capital de 3 grandes imperios existe una cantidad de historia bajo la ciudad. Para cavar el túnel en el lado asiático se usan 2 máquinas excavadoras las 24 horas sin problema, pero en el lado Europeo se descubrió uno de los sitios arqueológicos más importantes de la historia: un puerto antiguo de Constantinopla con piezas invaluable llamado Puerto de Eleuterio. El hallazgo más valioso son los restos de 23 barcos de la Edad Media y el Imperio Bizantino que naufragaron por una tormenta muy fuerte. Hasta que no se recuperara cada uno de los barcos (cada uno tarda aproximadamente 4 meses) no se podía cavar más del túnel.

En segundo lugar, trabajar en el estrecho de Bósforo es el mayor reto para los ingenieros porque el agua es impredecible. En la superficie existe una corriente que va en un sentido, pero a 20 metros de profundidad existe otra que corre en dirección opuesta. Al sumergir el elemento este podría perder el control y no se podría poner en la posición correcta para que encaje con los demás. Los ingenieros deben entonces jugar con las corrientes a favor de ellos en lugar de desafiarlas. Para esto se alinea el elemento con el sentido de la corriente que corre en la superficie de tal forma que cuando se encuentra con la otra corriente al irlo sumergiendo el elemento se alinee perfectamente.

Por otra parte el bloque está sometido a una atmósfera de presión en la superficie, pero a medida que se hunde va aumentando una unidad por cada 10 metros. El elemento que

está a mayor profundidad va a soportar 6 atmósferas presión, una fuerza en todas las direcciones. Si no se construye a la perfección el elemento de tal forma que pueda soportar estas fuerzas, el túnel podría fracturarse aplastando a los trenes y a los pasajeros.

A todo lo anterior se le suma el problema que presenta la ubicación del territorio. Estambul está ubicada en una de las fallas geológicas más activas del planeta y un sismo fuerte podría hacer colapsar la estructura. Los ingenieros entonces decidieron añadirle flexibilidad y estabilidad al túnel. La primera se logra añadiendo unas juntas sísmicas con un diseño especial que le dan movimiento al túnel. La segunda se logra rellenando el lecho marino para que el túnel quede apoyado en una especie de colchón que amortigua el movimiento sísmico. Además se refuerza cada uno de los elementos con unos tubos de acero en forma de L, de 135 metros de largo, que se instalan en la pared del elemento y se aseguran. (son más de 1000 toneladas de tubos se usan para construir solo una sección) Luego se construye el molde de hormigón para poder verter el concreto. Así la estructura puede soportar sismos hasta de 7.5 en la escala Richter.

### **5.3 Actualidad**

Comencemos por definir la palabra infraestructura puesto que esta juega un papel fundamental en el desarrollo del proyecto. Es el conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para la creación y funcionamiento de una organización cualquiera. (Diccionario de la Real Academia de la Lengua)

Colombia es un país privilegiado por su posición estratégica en el continente. Esta bañada por dos océanos, el Atlántico y el Pacífico, lo que es una ventaja para comerciar

con el resto del mundo. Sin embargo actualmente se presenta una situación precaria de la infraestructura nacional. En primer lugar, las carreteras están en mal estado y muchas de ellas quedan fuera de servicio en las épocas de invierno. En segundo lugar, los puertos exceptuando a Cartagena que si está a la vanguardia internacional, no cuentan con la profundidad suficiente para servir a los barcos más modernos, lo que se implica un mayor costo de transporte y hace que el país sea menos competitivo en el comercio exterior. (Cuartas, Colombia Interoceánica, 2008)

Por otra parte, el dinero destinado a la inversión de obras públicas del Presupuesto General de la Nación, suma de 3 billones de pesos para el 2013, es considerada insuficiente por la Cámara Colombiana de la Infraestructura y esto podría ser perjudicial para cumplir las metas en el desarrollo de la infraestructura nacional. (La F.M, 2012)

Es entonces donde surge un interrogante, ¿cuáles son los proyectos que se llevarían a cabo para mejorar la infraestructura del país con el fin de traer desarrollo? Un proyecto que conecte a los océanos para facilitar el transporte y aumentar el comercio internacional propuesto por Colombia Interoceánica podría ser la solución. Se trata de la construcción de dos puertos en ambos océanos, uno es el puerto de Sautatá en Urabá, Antioquia, y el segundo el puerto de Coredó en la Bahía Humboldt en el Chocó. Ambos estarían conectados por un ferrocarril que permitiría el paso de contenedores entre los dos mares a un costo muy competitivo, lo que le asegurará una gran demanda de servicio y una alta rentabilidad. Sautatá sería el primer puerto de aguas profundas de Colombia, y el más cercano en el Atlántico (325 kilómetros menos) para el 88% del país y Coredó ayudaría a mitigar la saturación tanto del puerto de Buenaventura como de la única carretera que le sirve al puerto. (Cuartas, Colombia Interoceánica, 2008)

Es de vital importancia y urgencia para el país que se dé inicio a estos proyectos porque posicionarían a Colombia como un lugar clave y estratégico para la competencia internacional.

## 6 Conclusiones

Después de una profunda investigación y apropiación del tema volvemos al verdadero interrogante: ¿Qué tan aplicable sería una mega estructura bajo el agua de este tipo para promover el desarrollo de Colombia con el mundo teniendo en cuenta su posición estratégica como entrada al continente suramericano?

Este tipo de estructuras no serían las adecuadas para impulsar el desarrollo de la región porque no existe actualmente una necesidad de transportar a la gente de manera masiva tal como se presentó en el caso de Estambul. Se pensaría entonces un proyecto así para el transporte de mercancías en lugar de personas, sin embargo:

- El costo del proyecto sería sumamente alto, no sería rentable porque las distancias entre Panamá y Colombia son muy largas para este tipo de estructura donde se abarcan distancias de no más de 50km, como el Eurotunnel.
- Si se requiere transportar mercancía para expandir los horizontes comerciales del país, no tendría sentido hacer un túnel bajo el agua cuando existen otros proyectos que cumplirían este propósito. La conexión interoceánica con los dos puertos en Sautatá y Coredó, en conjunto con el ferrocarril que los conectaría, traería un gran desarrollo a la región y tendría más beneficios a largo plazo. El impacto económico sería gigante porque abriría un puente de conexión entre los dos océanos y facilitaría el comercio con el resto del mundo, empezando por la ruta Asia-América-Europa.

- Un único túnel no transportaría la misma cantidad de mercancía que transporta un puerto donde existe más capacidad de transporte de contenedores, no se reduce a un número exacto como lo haría el túnel.

La dificultad de los países asiáticos de transportar mercancías por la lejanía o el tiempo es una realidad. Colombia tiene un alto potencial como país por su posición estratégica y su variedad de recursos donde podría haber solución a los problemas mundiales de transporte comercial. El ingeniero civil juega un papel fundamental en el desarrollo del país y debe trabajar por encontrar medidas óptimas para el mejoramiento de la infraestructura con el fin de avanzar en las vías de comunicación y de transporte. Es indiscutible que desarrollo sin infraestructura no es posible, sin embargo las mega estructuras bajo el agua no son el único medio para alcanzar este fin. Por lo propuesto anteriormente, se puede concluir que existen proyectos más rentables y objetivos que logren integrar a Colombia con el resto del mundo en cuanto al comercio, por consiguiente este tipo de estructura no sería aplicable en un futuro cercano.

## 7 Bibliografía

- Cuartas, H. H. (2008). Colombia Interoceánica. *Conferencia sobre infraestructura, desarrollo y geopolítica*, (pág 9), Medellín.
- Diccionario de Lengua Española, definición de infraestructura. Recuperado el 4 de Octubre de 2012, de: <http://lema.rae.es/drae/?val=infraestructura>
- H. Belkaya, Dr. I. H. Ozmen, Dr. I. Karamut (Julio 2-4, 2008) *The Marmaray Project: Managing a Large Scale Project with Various Stake Holders, World Congress on Engineering*, London, U.K.  
[http://www.iaeng.org/publication/WCE2008/WCE2008\\_pp1268-1272.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2008/WCE2008_pp1268-1272.pdf)
- La F.M. (23 de Agosto de 2012). *Presupuesto de inversión para obra pública es insuficiente: Cámara de la Infraestructura* . Recuperado el 9 de Octubre de 2012, de La F.M: <http://www.lafm.com.co/node/119165#ixzz28qajCmRw>
- Dan Miller (2007, octubre 10). Build It Bigger, The Marmaray Rail Tunnel. Estambul, Turquía: Discovery Channel.
- Presidencia de la República (14 de Septiembre de 2009). *Situación Portuaria en Colombia*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2012, de:  
<http://wsp.presidencia.gov.co/sneci/politica/Documents/Conpes-3611-14sep2009.pdf>
- The Marmaray Project: Taking Good Care of Natural Environment and the Historical Heritage of Istanbul  
<http://www.ctta.org/fileupload/ita/2009/papers/p-10/p-10-03.pdf>