

# Características del proceso constructivo de las dovelas para el túnel del Metro de Quito

## Characteristics of the Construction Process of the Segments for the Quito Metro tunnel

EÍDOS N°18.  
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo  
ISSN: 1390-5007  
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

**<sup>1</sup>Edwin Rubén Morales Díaz**

<sup>1</sup>Universidad Internacional del Ecuador UIDE, Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE, Consorcio Línea 1 "Metro de Quito" ACCIONA, rubenmorales-ingenieria@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-5315-0921.

Resumen:

El Proyecto Metro de Quito es un referente para la construcción subterránea a nivel mundial. Constituye el tren subterráneo más alto del mundo con referencia al nivel del mar (2 900 msnm) y es la obra más importante del Distrito Metropolitano de Quito. En esta importante obra se pudo contar con el desarrollo tecnológico y el método más seguro de construcción de túneles mediante (EBP). En el presente artículo se describen las características del proceso constructivo de las dovelas o segmentos de hormigón armado con fibra de acero, polipropileno o mixto que recubren el túnel de línea del Metro de Quito. En el proyecto se utilizaron 3 EBP llamadas 'La Carolina', 'Luz de América' y 'La Guaragua'. En el presente artículo se dará a conocer el proceso constructivo, características físicas, geométricas, complementarias y especiales. El proceso de fabricación de las dovelas consiste en una producción en línea con puntos de espera o parada que suman un total de 18. El buen trabajo en las paradas es fundamental para tener una buena calidad en las dovelas, en cada parada se debe mantener el cuidado y prolijidad para cumplir con el proceso constructivo, ya que si existe una falencia en el proceso, repercute directamente en el producto final de las dovelas. La equivocación en uno de los puntos del procedimiento traerá consigo pérdidas en todos los recursos, ya que se debe realizar el diagnóstico, evaluación, reparación o rechazo de una dovola. Una dovola que no esté conforme con el producto final y no cumpla con todas las características técnicas no puede ser utilizada dentro del túnel porque consistiría en un posible colapso o falla dentro del túnel, el cual servirá para el paso del tren.

Palabras clave: Metro de Quito, dovelas, hormigón, proceso, calidad.

Abstract:

*The 'Metro de Quito' project is a reference for underground construction worldwide, this project signifies the highest subway train around the world with reference to sea level (2 900 meters above sea level) the most important construction site of 'Distrito Metropolitano de Quito'. In this important construction it was possible to count on technological development and the safest method of tunnel construction through (EBP). This article describes the characteristics of the construction process of the segments or segments of reinforced concrete with steel, polypropylene or mixed fiber that cover the tunnel of the 'Metro de Quito' line. In this project, it will be used in 3 EBPs called 'La Carolina', 'Luz de América' and 'La Guaragua'. This article presents the construction process, physical, geometric, complementary and special characteristics. The segment manufacturing process consists of a production line with waiting or stop points that add up to a total of 18, several work at stops is essential to have a good quality in the segments, at each stop the care and neatness to comply with the construction process since if there is a failure in the process, this has a direct impact on the final product, the mistake in one of the points of the procedure will bring with it losses in all resources, since you must perform the diagnosis, evaluation, repair or rejection of a segment. A segment that is not in accordance with the final product and does not comply with all the technical characteristics cannot be used inside the tunnel since it would consist of a possible collapse or failure within the tunnel which will serve for the passage of the train.*

Keywords: Quito Metro, segments, concrete, process, quality.

## I. INTRODUCCIÓN

Las obras subterráneas en la ciudad de Quito han estado marcadas, en gran parte, por la construcción de los colectores que atraviesan toda la ciudad. Entre ellos, se pueden mencionar los siguientes: Río Grande, Anglo Frech, de la Prensa, Gualaquiza y Pucará. Estas estructuras han sido realizadas por diferentes métodos tradicionales como el Belga, el Austriaco y el método de Quito. Otras obras importantes que se han realizado a nivel subterráneo son los diferentes pasos a desnivel que se construyeron para mejorar la movilidad y tránsito de la ciudad capital.

A medida que ha ido creciendo y desarrollándose el Distrito Metropolitano de Quito y de la República del Ecuador se han concretado mega construcciones, en las cuales se ha tenido que utilizar el método con Tuneladoras. Entre las construcciones se pueden nombrar: “la construcción del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.” (Cesar Torero, 2018 )

En la construcción del Metro de Quito se utilizaron varios métodos de construcciones subterráneas como: 1. Método cut and cover o entre pantallas en las 15 estaciones, pozo de extracción 1 (terrenos del ISSFA), Variante Quitumbe (desde el emboquille hasta el pozo de extracción), Fondo de saco; 2. Excavación vertical por anillos sucesivos para los pozos de ventilación, salidas de emergencia, bombeo o pozos mixtos; 3. Métodos tradicionales para la construcción de galerías de pozos y la Galería Santa Clara y 4. Método de excavación mecanizada mediante EPB para el túnel de línea.

El método de excavación mecanizada mediante (EPB) Escudo de Presión de Tierras

se ha enfocado en la excavación de túneles que involucran problemas de estabilidad en el frente. Esta situación se presenta en túneles excavados en terrenos heterogéneos, en roca blanda a grandes profundidades y/o en condiciones donde la excavación se realiza por debajo del nivel freático (Pascual, 2017).

El método de excavación mecanizada data desde el año 1808 en el que Brunel presentó diferentes planes de construcción para la excavación del túnel. Su invento se denominó Máquina excavadora escudada. La oportunidad de aplicar su tecnología surgió en 1825, en este año, el ingeniero francés retomó la excavación, empleando para ello un escudo de sección circular. Este dispositivo consistía en una simple coraza metálica para sostener el terreno, el cual era empujado hacia adelante mediante un sistema de gatos. Este era el único elemento mecanizado, pues el resto de las operaciones seguían haciéndose con los sistemas tradicionales. El escudo se caracterizaba por su división en celdas con una persona trabajando en cada una de ellas de forma independiente. En 1828, debido al surgimiento de nuevas dificultades, se sustituyó el escudo utilizado por uno de sección rectangular.

El propósito del artículo es conocer las diferentes etapas constructivas del proceso de fabricación de dovelas para asegurar la calidad en todo el túnel del proyecto del Metro de Quito.

El revestimiento de un túnel consiste en una estructura instalada dentro del mismo. La función del revestimiento, en este caso las dovelas, pueden ser estructurales para soportar el terreno, funcionales para evitar el flujo de agua y servir de paso del tren, cables, materiales y bandejas.

El revestimiento puede estar integrado por proceso primario más un final o solo puede ser un revestimiento único. El revestimiento primario es el sistema de soporte de un túnel que debe garantizar la estabilización de la excavación a corto plazo, así como la seguridad de los trabajadores hasta la colocación del revestimiento final. El revestimiento final es el sistema de soporte definitivo de un túnel que debe garantizar una adecuada seguridad estructural, absorbiendo las cargas de servicio de acuerdo con los criterios establecidos en el diseño. El revestimiento único, como su nombre lo dice, hace el trabajo tanto del revestimiento primario como del final.

El revestimiento del túnel de línea del Metro de Quito está formado por 6 dovelas (A1, A2, A3, A4, B y C) más 1 llave (K). Las dovelas son segmentos de hormigón armado que son capaces de soportar los diferentes esfuerzos a los que van a ser sometidas, entre los cuales se pueden mencionar esfuerzo de compresión por parte del empuje del suelo y tracción y torsión en el caso de un sismo o asentamiento.

## II. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

Para la implementación de las plantas de dovelas del túnel de Metro de Quito y posterior fabricación se utilizaron 2 sitios al norte y al sur: Planta de Dovelas Norte ubicado en el frente Fondo de Saco que pertenece al actual parque bicentenario antes el antiguo aeropuerto 'Mariscal Sucre' ala sur; y la Planta de Dovelas Sur ubicado en los predios de la Hacienda El Carmen cercana a la primera Estación 'Quitumbe'.

Las dos plantas norte y sur comenzaron las adecuaciones del lugar y nave relativamente al mismo tiempo (junio de 2016). La planta que comenzó primero con la producción de dovelas fue la Planta Norte en el mes de noviembre de 2016. Para la construcción e implementación de las dos plantas se realizó la adecuación del lugar en el cual se iban a erigir las naves y áreas para el desarrollo de la planta. En la planta de dovelas sur se tuvo que realizar un gran movimiento de tierras, ya que el predio pertenece a la Hacienda el Carmen en donde en tiempos pasados se realizaban actividades ganaderas y agrícolas, por ende, para la adecuación de la plataforma se realizó el corte y relleno en varias zonas. Entre las principales áreas para el desenvolvimiento de la producción de dovelas constan: Nave de dovelas, área de armado de acero, planta de hormigón, zona para el acopio de agregados, bodegas, oficinas, instalaciones sanitarias, vestidores, laboratorio, comedor, centro médico, pozos para el abastecimiento de agua, estacionamientos y área para el transporte de dovelas.

Dentro de la Nave de dovelas se contó con un sistema carrusel elaborado y armado por la empresa (CBE), compuesto por una línea de producción de 12 puntos

o paradas, cámara de curado acelerado, sistema vacuum, 42 moldes que equivalen a la producción de 7 anillos puentes y pórticos grúas con capacidad entre 3 a 5T para la movilización de las dovelas dentro de la nave.

En la parte exterior de la Nave se encontraba el área de armado de acero. En esta zona se contaba con 2 mesas por cada tipo de dovela para la elaboración de la armadura principal longitudinal y transversal compuesta por acero de diámetros de 10, 12, 16 mm y 4 vigas perimetrales que forman parte de la estructura. Además, se contó con una noria en la que se podía almacenar un total de 28 armaduras para el ingreso hacia la nave.

El acopio constituye el área externa de mayor dimensión de las plantas. En este sitio se ubican las dovelas de forma convexa, una encima de otra y separadas por tacos de madera correctamente ubicados para evitar efectos de excentricidad. En esta área se coloca una cantidad entre 300 a 500 anillos, dependiendo del área. Además, un dato importante que se debe contar con por lo menos 1 000 anillos para comenzar con la excavación y colocación en la EPB.

Para la fabricación de hormigón se debe contar con una planta de capacidad de 80m<sup>3</sup> /h con un sistema automatizado mediante bandas y tolvas.

### **Características geométricas y físicas de una dovela**

Medida	Dimensión
Longitud del arco	4 215m radio interno
Longitud del arco	4 535m radio externo
# de posiciones de la llave	13
Ángulo abarcado por la llave	27.70°
Ángulo abarcado por una dovela	55.38°
Espesor	0.32m
Ancho	variable entre 1.48 a 1.53
Volumen de hormigón	2.03m <sup>3</sup>
Peso total	5 T

Tabla 1. Características geométricas y físicas  
Fuente: propia

## Características geométricas y físicas del anillo

Medida	Dimensión
Diámetro interior	8.43m
Diámetro exterior	9.07m
Espesor	0.32m
Volumen de hormigón	13.18m <sup>3</sup>
Peso total	34 T

Tabla 2. Características geométricas y físicas  
Fuente: propia

## Materiales utilizados para la fabricación de dovelas

Material	Resistencia o tipo	Marca
Acero de refuerzo	4 200 kg/cm <sup>2</sup>	Adelca
Cemento	HE	UNACEM
Agregados	Grava 19mm Arena gruesa Arena fina	(Pifo) (Pifo) (San Antonio)
Aditivos	Master Glenium	Basf
Fibra de acero	1 100N/mm <sup>2</sup>	Beakert
Fibra de polipropileno	Force60	Sika
Junta elastomérica	M 385.41	Dathesive
Inserto	M20	TTC
Inserto	M25	TTC
Inserto	Casquillo	TTC
Separadores	4 000kg/cm <sup>2</sup>	Max Frank

Tabla 3. Materiales utilizados  
Fuente: propia

## Partes de una dovela

*Trasdós:* es la parte externa de la dovela, la parte que va a estar en contacto directo con el gap y el suelo. Esta parte de la dovela será la encargada de transmitir los esfuerzos hacia la dovela.

*Intradós:* es la parte interna de la dovela. Esta parte va tener la función de ser lo más lisa posible para que el erector de dovelas pueda absorber de una buena forma para colocar en el túnel. Además, esta parte será la que tiene vista al interior del túnel, por ende, debe ser la que mejor acabado tenga. En esta parte se tendrán los orificios para una posible inyección y los elementos para colocar pernos de anclaje para la instrumentación.

*Escudo:* es la parte posterior de la dovela. Aquí se colocarán los packers para que el impacto entre anillo y anillo no genere esfuerzos adicionales.

*Empuje o avance:* el empuje o avance es la parte más importante para el avance de la EPB. En esta área los gatos hidráulicos se apoyarán con una fuerza de máximo de 4615 kN en operación. Se considera el área de contacto de 1.270x2.25 m<sup>2</sup>.

### Montaje de prueba (anillo maestro)

Para comprobar el aparejamiento, separación de los agujeros de los tornillos, se montará un juego de dos anillos en una superficie plana y nivelada. Este anillo se armará al inicio de la producción y se mantendrá hasta el final, ya que será un elemento de guía y soporte para revisar las juntas y posibles anomalías.

### Chequeo dimensional del encofrado

La verificación de todos los moldes se la realizará cuando hayan cumplido 250 puestas. Esta medición se la realiza con equipo calibrado y técnicos que conozcan el procedimiento. En este chequeo se revisan las anchuras de los moldes en 10 ejes, el control de la orientación transversal y longitudinal, control del arco de los moldes y control del espesor en 6 ejes.

## **Producción de línea**

Una línea de producción es el conjunto de operaciones secuenciales en las que se organiza un proceso para la fabricación de un producto. Esto implica el ordenamiento de las fases y operaciones que se asignan individualmente o en grupo de trabajo. La asignación de los trabajos, maquinaria y equipos debe ser la más adecuada para que en la línea de producción se realice el mayor trabajo posible en un día.

En la producción en línea de la planta de dovela se utilizaron 18 puntos descritos a continuación:

### a) Limpieza y apertura de moldes

El primer proceso dentro de la línea de producción es la limpieza y apertura de moldes, en este proceso se realiza la apertura de los moldes con pistolas de aire. La limpieza se realiza con gratas y aire a presión. En este punto o parada se debe realizar la limpieza total del molde y retirar todos los residuos de hormigón.

### b) Colocación de desmoldante

El siguiente proceso es la colocación del desmoldante que servirá como material que ayude al hormigón a salir del molde metálico y que no genere esfuerzos adicionales al momento de sacar la dovela del molde. En el comienzo de la producción se utilizó desmoldante de tipo convencional. A medida que pasaba la producción, y para mejorar la calidad, se utilizaron diferentes desmoldantes biodegradables para que no exista contaminación al ambiente y accidentes.

### c) Colocación de insertos plásticos

Pasada la etapa de la colocación de desmoldante, se colocan todos los insertos plásticos que van en la dovela en la parte del escudo y avance, se colocan los insertos tipo casquillos que servirán como el enlace entre anillos. En la parte lateral se coloca el inserto tipo M20, este inserto se coloca para que haya unión entre dovelas al momento que se forme el anillo. En la parte interna del molde se coloca el inserto plástico tipo M25, el cual estará embebido y será de apoyo para

el anclaje de la cinta transportadora o plataformas en el túnel.

### d) Armado de acero

El armado de acero no está dentro de la línea de producción, las armaduras se fabrican en un área específica. Para armar cada armadura de los diferentes tipos en total se tienen 2 mesas de armado por cada tipo de dovela, lo cual suma 14 mesas. Al momento de armar el acero se colocan las guías y maestras para facilitar el montaje de la estructura. El acero debe estar en un buen estado y no contar con manchas o suciedades.

### e) Alimentación de armaduras a la noria

Una vez armadas las estructuras de acero se colocan en camas para la revisión. La supervisión consiste en ver la cantidad de acero colocado, el diámetro, medida del acero transversal, longitudinal y, una vez revisada y liberada la armadura, se transporta a la noria. En la noria se puede colocar hasta máximo 4 estructuras de acero por tipo de dovela.

### f) Colocación de separadores, armaduras y tornillos mecánicos

Luego de haber realizado la limpieza de los moldes, colocación de desmoldante e insertos se colocan 3 tipos de separadores en la armadura para cumplir con los recubrimientos necesarios entre acero y hormigón, se tienen 3 tipos de separadores de medidas 3 cm, 4 cm, 5 cm. Se coloca la armadura dentro del molde y se colocan los tacos o tornillos mecánicos, los cuales servirán de unión entre las dovelas.

### g) Cerrado de Capots

Luego de haber colocado la armadura dentro del molde se procede a cerrar los capots para el siguiente proceso.

### h) Colocación y vibrado de hormigón

Este punto es uno de los más importantes, ya que aquí comienza a colocarse el hormigón que se elabora mediante la planta y es conducida mediante las cubas. La colocación del

hormigón debe ser distribuida por todos los lados del molde, para lo cual se utiliza herramienta menor tipo rastrillos para colocar el hormigón. Para el vibrado se utiliza aire a presión que oscila entre 6 a 8 Bares. El vibrado juega un papel fundamental para el buen acabado de las dovelas. El exceso de vibrado hará que la lechada suba y el poco vibrado creará coqueas.

#### i) Apertura de Capots y fratasado

Luego de haber colocado el hormigón, se procede al siguiente punto en el que se abren los capots para verificar el estado del hormigón fresco y realizar el fratasado del trasdós. El alisado de la dovela en la parte externa debe ser homogéneo y con poca presencia de burbujas.

#### j) Curado acelerado

Luego de haber colocado el hormigón en el molde y fratasado, la parte superior la dovela pasa por un proceso de curado acelerado a condiciones de temperatura y humedad contraladas. La temperatura debe estar entre el rango de 55 a 60 grados centígrados y una humedad relativa recomendada al 100 %, mínimo 90 %. El tiempo de curado dependerá del nivel de ritmo de la producción. Cuando el nivel de producción sea alto, los tiempos de curado serán bajos entre 4 a 5 horas, si los tiempos de producción son bajos, el curado será mayor.

#### k) Salida de la dovela

Uno de los puntos más esperados es la salida de la dovela. En especial, cuando el tiempo de curado no ha sido el necesario para que cumpla con la resistencia apta para el izaje. En este punto, en conjunto con laboratorio se debe revisar que haya cumplido con la resistencia mínima para el izaje que es de 100kg/cm<sup>2</sup>.

#### l) Izaje hacia la máquina de volteo

Una vez verificado la resistencia de la dovela, se procede a izarla con el sistema vaccum conocido como ventosa. Este balancín “dispone de unos brazos

hidráulicos de seguridad que abrazan la dovela y señales luminosas y acústicas que indican la elevación de la dovela con la máxima seguridad”.

#### m) Volteo de la dovela

Una vez colocada la dovela en posición cóncava, se procede a realizar el volteo para que la dovela quede en posición convexa. En esta posición se realizarán los acopios necesarios sin afectar a su estructura debido a los diferentes esfuerzos por los que va a ser sometida en el proceso de pre acopio, acopio, transporte y colocación en el túnel.

#### n) Identificación, colocación de etiquetas, barra guía y junta elastomérica

La identificación de la dovela es sumamente importante para llevar el control, registro y trazabilidad. Debido a que la identificación se perdía entre anillos al momento de colocar en el túnel, se decidió colocar dos etiquetas en el intradós para poder visualizar dentro del túnel a que anillo corresponde y poder dar el seguimiento necesario. Además, en este punto se coloca la barra guía que servirá para juntar las dovelas y conformar el anillo, además se coloca la junta elastomérica tipo Tokio con pegamento Dathesive y se procede a ejercer presión entre la junta y la dovela para que no permita el paso de agua y quede totalmente hermética la dovela en el túnel.

#### o) Salida al pre acopio

En este punto, la dovela sale al pre acopio y sobre ella solo se pueden colocar un grupo de dovelas entre 3 a 4 hasta alcanzar la resistencia de 150 kg/cm<sup>2</sup> para pasar al acopio definitivo.

#### p) Salida al acopio

Una vez revisada la resistencia mayor a 150 kg/cm<sup>2</sup>, las dovelas pasan al acopio que se colocará de una manera distribuida y las dovelas se montarán una encima de otra, separadas por tacos de madera de sección de 10x10cm, colocadas de tal manera que no existan esfuerzos de excentricidad.

#### q) Liberación de dovelas

Pasado los 28 días, se procede a la liberación de las dovelas en conjunto con la fiscalización del proyecto. En este punto, se revisa visualmente que la dovela cumpla con todas las características y resistencia.

#### r) Transporte

Una vez liberada la dovela, se procede a cargar sobre una plataforma que se debió adecuar en las plantas para conducir a los pozos de ataque ubicados en Solanda o Fondo de Saco.

### **Reparación de las dovelas**

El objetivo de la reparación de las dovelas es corregir los defectos, ya sean estructurales o funcionales, que se han generado en el proceso constructivo. Así como las efectuadas durante el acopio, transporte o colocación en el túnel.

### **Materiales para la reparación**

Herramienta menor, mortero de reparación y relleno para que la resistencia sea igual o mayor a la resistencia de la dovela 450kg/cm<sup>2</sup>. En este caso, se utilizó relleno Sika Tipo 122, Sika Rep, Aditop 122, puente de adherencia polímeros acrílicos sika viscobond y adhesivo epóxico sikadure 32.

La inspección que se realiza para determinar el grado de falla se lo realiza de manera visual y métrica. En la parte visual se evalúa si existen burbujas en el trasdós, desconchones o roturas, exposición del acero, material suelto, coqueas, micro fisuras, fisuras y grietas.

Para las reparaciones existen 2 tipos: superficiales y profundas.

### **Control de calidad en el hormigón**

El control de calidad en el hormigón es un tema muy importante en la actualidad. Ofrece grandes beneficios y estadísticas para poder llevar el control de cuantas dovelas son aptas y no.

### **Control de hormigón en estado fresco**

Ensayo	Norma	Frecuencia	Aceptación
Temperatura	ASTM C1064	C/7 anillos	5-32°C
Elaboración de probetas	NTE INEN 1576	C/7 anillos	11 probetas
Consistencia	NTE INEN 1578	C/7 anillos	<6cm
Contenido de aire	ASTM C231	C/7 anillos	<3 %
Densidad y rendimiento	ASTM C138	C/7 anillos	>2 200

Tabla 4. Control de hormigón en estado fresco  
Fuente: plan de ensayo CL1

### **Control de hormigón en estado endurecido**

Ensayo	Norma	Frecuencia	Aceptación
Resistencia a la compresión	NTE INEN 1573	A las 5 horas 7 días 28 días 56 días	100 kg/cm <sup>2</sup>  450 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 5. Control en hormigón endurecido  
Fuente: plan de ensayo CL1

### **Control de calidad en los agregados**

Ensayo	Norma	Frecuencia
Granulometría	NTE INEN 872	Cada día
Terrones de arcillas	NTE INEN 872	Cada día
Material que pasa el tamiz 0.075	NTE INEN 872	Semanal
Contenido de sulfatos	NTE INEN 872	Semanal
Contenido de materia orgánica	NTE INEN 872 855	Semanal
Absorción del agua	NTE INEN 856	Diario

Tabla 6. Control de calidad en los agregados  
Fuente: propia

Tipo	Acero	Hormigón	Cuantía
	kg	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Dovela A1	332.53	2.03	163.6
Dovela A2	333.07	2.07	161.2
Dovela A3	333.07	2,07	161.2
Dovela B	331.08	2,02	163.8
Dovela C	331.08	2.00	165.3
Dovela A4	332.53	2.01	165.3
Dovela K	197.25	0.98	201.9

Tabla 7. Cuantía de acero por kg  
Fuente: propia

Tipo	Aditivo	Fibra
	kg	kg
Dovela A1	1.81	41.26
Dovela A2	1.84	41.94
Dovela A3	1.84	41.94
Dovela B	1.80	41.03
Dovela C	1.78	40.66
Dovela A4	1.79	40.84
Dovela K	0.87	19.83

Tabla 8. Pesos de materiales  
Fuente: propia

Tipo	Cemento	Agua	Relación
	kg	kg	
Dovela A1	825.23	333.34	0.403
Dovela A2	838.88	338.86	0.403
Dovela A3	838.88	338.86	0.403
Dovela B	820.62	331.48	0.403
Dovela C	813.17	328.47	0.403
Dovela A4	816.74	329.91	0.403
Dovela K	396,65	160.22	0.403

Tabla 9. Relación agua cemento  
Fuente: propia

Tipo	Peso
	kg
Dovela A1	5 135.90
Dovela A2	5 215.90
Dovela A3	5 215.90
Dovela B	5 107.61
Dovela C	5 064.26
Dovela A4	5 086.50
Dovela K	2 506.01
Total (anillo)	33 332.08

Tabla 10. Pesos aproximados de las dovelas  
Fuente: propia

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos que a continuación se muestran se han recolectado en la producción de anillos de la Planta de Dovelas Sur que funcionó desde diciembre de 2016 hasta septiembre de 2018. Todos estos datos fueron facilitados por el área de calidad y laboratorio del Consorcio Línea 1 'Metro de Quito' 'Acciona'.

En la tabla 7 se muestra la cuantía de acero por metro cúbico de hormigón. Este dato nos sirve como referencia para conocer cuantos kilos de acero se necesitan para completar un metro cúbico de hormigón.

En la tabla 8 se indican pesos de 2 materiales que son fundamentales para la fabricación de las dovelas: el aditivo que va a ayudar a la trabajabilidad del hormigón y la impermeabilización, ya que deseamos tener un producto impermeable para que el túnel no tenga caídas de agua subterránea y la fibra de acero tipo Dramix 4d, que también aporta al peso de la dovela y a los esfuerzos de temperatura y mínimos de tracción.

En la tabla 9 se puede evidenciar que la relación agua-cemento que se utilizó en el proceso de fabricación de dovelas fue de 0.403. Una relación baja que siempre se contralaba, ya que las dovelas necesitan de una alta resistencia temprana para poder desencofrar e izar para continuar con la producción. Esta baja relación influye en la consistencia y trabajabilidad del hormigón, ya que se trabaja con un hormigón seco, su slum debe ser menor a 6cm, si no existe un buen vibrado la dovela tendrá coqueas y será motivo de reparación.

En la tabla 10 se considera el peso aproximado de cada dovela y el peso total del anillo conformado por 6 dovelas más 1 llave que tiene 13 posiciones. Este peso sirve como referencia para considerar los soportes del pre acopio, acopio y transporte.

### IV. CONCLUSIONES

El método de excavación subterránea mediante EPB es un método muy seguro y confiable que se ha utilizado en el Ecuador y en la ciudad capital de Quito.

El revestimiento que se utilizó en la primera línea del Metro de Quito para el túnel de línea en su mayoría fue conformado por dovelas, las cuales tuvieron un proceso planificado para tener un producto de calidad.

Los materiales con los que se pudieron fabricar las dovelas cumplen con todas las normativas internacionales y nacionales para garantizar el producto.

El proceso constructivo de la fabricación de dovelas consta de 18 puntos o paradas de un sistema en línea, el cual debe tener el mayor cuidado en cada sitio para que el producto sea conforme y no tener pérdida de recursos.

Cada tipo de dovela es variable, no tienen una característica repetida entre ellas. La forma del anillo no es una circunferencia perfecta, se trata de una forma troncocónica que permite distribuir de mejor manera los esfuerzos externos producidos por el suelo: agua.

La pérdida de recursos es un agravante para la producción en la planta. Los recursos que se pierden al momento de tener una dovela no conforme son el tiempo, el dinero, la calidad y las horas laborables.

El producto final que se envía hacia los diferentes pozos de ataques debe ser de alta calidad, ya que al momento de colocar en la EPB debe dar la facilidad para el montaje en el túnel.

Los resultados obtenidos pueden tomarse como referencia en túneles construidos con dovelas que tengan las mismas o similares características.

A nivel internacional, el Ecuador está preparado para los retos de las grandes construcciones. Los técnicos y la mano de obra ecuatoriana están preparados para las obras grandes y para adquirir y transmitir conocimientos a las futuras generaciones.

## V. REFERENCIAS

Cesar Torero, F. R. (2018 ). Excavación de Galerías en suelos de la línea 1 del Metro de Quito . *Revista de Obras Públicas* , 92.

De la Fuente, A.; Blanco A., Pujadas, P. (2014). Diseño óptimo de dovelas de hormigón reforzado con fibras para el revestimiento de túneles. *Sciencedirect*, 14: 267-279.

Docplayer.es. (2018). Docplayer.es. Obtenido de Docplayer.es: <https://docplayer.es/79992798-Capitulo-iv-sistema-de-soporte-del-tunel.html>

Infraestructuras, I. C. (2015). *Diseño y cálculo del anillo de dovelas de hormigón*. España.

Pascual, A. (2017). Excavación de túneles en frentes mixtos mediante tuneladora tipo EPB (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma De México, México.