



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR Y CUANTIFICAR EL RETRABAJO EN TERRENO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CHILENA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

NICOLÁS ARTURO NÚÑEZ VALENZUELA

PROFESOR GUÍA

LUIS FERNANDO ALARCÓN CÁRDENAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

DAREN ARELLANO PÉREZ

DAVID CAMPUSANO BROWN

SANTIAGO DE CHILE

2015

RESUMEN EJECUTIVO DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: NICOLÁS ARTURO NÚÑEZ VALENZUELA
FECHA: 31 DE AGOSTO DE 2015
PROF. GUÍA: LUIS FERNANDO ALARCÓN CÁRDENAS

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR Y CUANTIFICAR EL RETRABAJO EN TERRENO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CHILENA

Uno de los desafíos más importantes de la industria de la construcción es el aumento de los costos y plazos de los proyectos, donde el retrabajo en terreno ha sido identificado como una de las principales causas.

En la actualidad no existe una metodología estándar para identificar y cuantificar el retrabajo en terreno presente en los proyectos, lo que se ha traducido en una divergencia en los resultados de los distintos estudios desarrollados en el área.

El objetivo de la investigación es proponer una metodología que permitirá a las empresas conocer la magnitud de los costos de retrabajo en terreno de los proyectos e identificar sus causas principales con el propósito de implementar estrategias de prevención en el futuro.

El resultado de la metodología propuesta en el caso de estudio determinó que el retrabajo en terreno presente corresponde al 5,5% de los costos totales de la etapa de construcción de túneles de los piques estudiados de la Línea 3 de Metro durante el tiempo de medición.

La metodología propuesta demostró ser una excelente herramienta al ser simple y eficiente, y puede ser utilizada como una metodología estándar para la industria en una investigación de mayor extensión que involucre numerosos proyectos de ingeniería.

be the change you wish to see in the world

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos quienes han contribuido al desarrollo de la presente tesis.

En primer lugar a mi familia por ser un pilar fundamental en mi vida.

Al profesor Luis Fernando Alarcón y al equipo de trabajo de GEPUC por su visión, confianza y guía.

A Daren Arellano y David Campusano por sus críticas constructivas, motivación y constante apoyo.

A Alejandro Martino y al equipo de trabajo de Ferrovial Agroman por su experiencia, profesionalismo y ayuda.

Gracias totales.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Escenario Actual	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Contenidos.....	2
2 CASO DE ESTUDIO: LÍNEA 3 METRO S.A.	3
2.1 Objetivos	3
2.2 Descripción inicial Línea 3	3
2.3 Método constructivo Línea 3.....	12
2.4 Metodología de la investigación	23
3 MARCO TEÓRICO.....	24
3.1 Definiciones de retrabajo	25
3.2 Indicadores de retrabajo	26
3.3 Clasificaciones de las causas de retrabajo.....	27
3.4 Costos del retrabajo.....	32
3.5 Metodologías para identificar y cuantificar el retrabajo	33
3.6 Herramientas de reducción de retrabajo	35
4 METODOLOGÍA PROPUESTA.....	39
4.1 Definición de retrabajo	39

4.2	Índice de retrabajo	40
4.3	Clasificación de causas de retrabajo	41
4.4	Causas múltiples de retrabajo	42
4.5	Metodología de recolección de datos de retrabajo	44
5	RESULTADOS	46
5.1	Resultados de retrabajo	46
5.2	Resultados de detenciones y demoras	49
6	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	54
6.1	Metodología propuesta	54
6.2	Resultados de retrabajo	55
6.3	Resultados de detenciones y demoras	56
6.4	Recomendaciones	56
	BIBLIOGRAFÍA	58
	ANEXOS	62
	ANEXO A: Clasificación de causas (Fayek et al. 2003)	63
	ANEXO B: Formulario de incidentes de retrabajo	75
	ANEXO C: Formulario de detenciones y demoras	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las causas de retrabajo (Burati et al. 1992)	28
Tabla 2: Clasificación de las causas de retrabajo (Love and Li 2000).....	30
Tabla 3: Clasificación de las causas de retrabajo (Hwang et al. 2009)	31
Tabla 4: Categorías de retrabajo (QPMS)	35
Tabla 5: Variables y su relación con el retrabajo (FRI).....	36
Tabla 6: Clasificación de causas de retrabajo en terreno	42
Tabla 7: Ejemplo causas múltiples	42
Tabla 8: Descripción de los valores de las relaciones	43
Tabla 9: Ejemplo causas múltiples	43
Tabla 10: Resumen horas pérdidas - Parque Almagro Norte	51
Tabla 11: Resumen horas pérdidas - Parque Almagro Sur	51
Tabla 12: Resumen horas pérdidas - Matta Oriente	52
Tabla 13: Resumen horas pérdidas - Matta Poniente	52
Tabla 14: Resumen horas pérdidas - Cuevas Oriente.....	53
Tabla 15: Resumen horas pérdidas - Cuevas Poniente	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Trazado Línea 3.....	6
Figura 2: Esquema pique y galería de acceso.....	7
Figura 3: Modelo referencial de estación de paso pequeña	10
Figura 4: Secuencia constructiva pique	12
Figura 5: Secuencia constructiva pique	13
Figura 6: Subsecciones Side Drift 1 galería.....	13
Figura 7: Subsecciones Side Drift 2 galería.....	14
Figura 8: Secuencia constructiva galería.....	14
Figura 9: Subsecciones Side Drift 1 túnel estación	15
Figura 10: Esquema en planta túnel estación.....	15
Figura 11: Secuencia constructiva túnel estación.....	16
Figura 12: Esquema zona de transición	16
Figura 13: Sección túnel interestación	17
Figura 14: Esquema zona de transición	17
Figura 15: Excavación y retiro de marina	18
Figura 16: Chequeo topográfico de la excavación.....	19
Figura 17: Proyección de shotcrete (sello)	19
Figura 18: Colocación de mallas electrosoldadas	20
Figura 19: Colocación de marcos reticulados	20
Figura 20: Chequeo topográfico de marcos reticulados	21
Figura 21: Colocación de enfierradura.....	21
Figura 22: Proyección de shotcrete (HP1).....	22
Figura 23: Proyección de shotcrete (HP2).....	22
Figura 24: Contrabóveda	23
Figura 25: Clasificación de las causas de retrabajo (Love et al. 1997)	28
Figura 26: Clasificación de las causas de retrabajo (Fayek et al. 2003)	30
Figura 27: Menú principal (FRDCS).....	37
Figura 28: Menú de datos de incidente de retrabajo (FRDCS).....	38
Figura 29: Informe resumen del retrabajo en el proyecto (FRDCS)	38

Figura 30: Componentes del retrabajo	39
Figura 31: Diagrama de metodología de recolección de datos	45
Figura 32: Porcentaje del costo de retrabajo en el proyecto	46
Figura 33: Porcentaje de cada causa respecto al costo total del retrabajo	47
Figura 34: Porcentaje de cada actividad respecto al costo total del retrabajo.....	48
Figura 35: Porcentaje de horas pérdidas en el proyecto	49
Figura 36: Porcentaje de cada causa respecto el total de horas pérdidas	50

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Escenario Actual

La industria de la construcción es uno de los motores principales que impulsa el desarrollo económico y social del país, generando la infraestructura física que Chile necesita y creando miles de empleos. De acuerdo al informe MACH de diciembre del 2014 de la Cámara Chilena de la Construcción en el año 2013 la industria representó el 4,1% del PIB y su inversión fue de 654,5 millones de UF.

Uno de los desafíos más importantes de la industria es el aumento de los costos y plazos de los proyectos, donde el retrabajo en terreno ha sido identificado como una de las principales causas.

La Construction Industry Institute (2005) define retrabajo en terreno como “actividades en terreno que tiene que ser realizadas más de un vez o actividades que quitan trabajo previamente instalado como parte del proyecto” y estima que sus costos directos equivalen al 5% de los costos de construcción.

En la actualidad no existe una metodología estándar para identificar y cuantificar el retrabajo en terreno presente en los proyectos, lo que se ha traducido en una divergencia en los resultados de los distintos estudios desarrollados en el área.

1.2 Objetivos

El objetivo de la investigación es proponer una metodología para identificar y cuantificar el retrabajo en terreno en la industria de la construcción chilena. La metodología permitirá a las empresas conocer la magnitud de los costos de retrabajo en terreno de los proyectos e identificar sus causas principales con el propósito de implementar estrategias de prevención en el futuro.

1.3 Contenidos

En el Capítulo 1 - Introducción se presenta el escenario actual de la industria de la construcción, los objetivos de la investigación y contenidos del informe.

En el Capítulo 2 - Caso de Estudio: Línea 3 Metro S.A. se presentan los objetivos del caso de estudio y una descripción del proyecto. También se explica el método constructivo de la Línea 3, tanto su secuencia constructiva como ciclo constructivo. Finalmente se señala la metodología de la investigación en el caso de estudio.

En el Capítulo 3 - Marco Teórico se presentan las definiciones, indicadores, clasificaciones de causas y costos del retrabajo en terreno de las investigaciones desarrolladas en el área. Además, se indican metodologías para identificar y cuantificar el retrabajo y herramientas para reducir el retrabajo en los proyectos.

En el Capítulo 4 - Metodología Propuesta se presenta la propuesta metodología para identificar y cuantificar el retrabajo en terreno en la industria de la construcción chilena. La definición, indicador, clasificación de causas y metodología de recolección de datos de retrabajo en terreno son descritas.

En el Capítulo 5 - Resultados se presentan los resultados de la aplicación de la metodología propuesta para identificar y cuantificar el retrabajo en terreno en el proyecto de la Línea 3. Además se presentan los resultados de la encuesta de detenciones y demoras realizada en el proyecto.

En el Capítulo 6 - Conclusiones y Comentarios se presentan las conclusiones y comentarios de la metodología propuesta en la investigación luego de su aplicación en el caso de estudio. Además, se presentan las conclusiones y comentarios de los resultados tanto de retrabajo como de las detenciones y demoras en el proyecto.

2 CASO DE ESTUDIO: LÍNEA 3 METRO S.A.

2.1 Objetivos

El objetivo principal del caso de estudio es proponer e implementar en nuestro país una metodología que permita identificar y cuantificar el retrabajo en la industria de la construcción, antes de que una investigación de mayor extensión sea desarrollada involucrando numerosos proyectos de ingeniería.

Los objetivos específicos son:

- Establecer una definición de retrabajo en terreno
- Establecer un indicador para medir la cantidad de retrabajo en terreno presente en un proyecto
- Establecer una clasificación de las causas que contribuyen al retrabajo
- Establecer una metodología para identificar el retrabajo en terreno y cuantificar el retrabajo en base a sus costos

2.2 Descripción inicial Línea 3

La descripción inicial del proyecto se encuentra disponible en los informes de la Declaración de Impacto Ambiental (Metro 2012) y Estudio de Impacto Ambiental (Metro 2013) presentados por la empresa al Sistema de Evaluación Ambiental.

2.2.1 Objetivos

El proyecto tiene como objetivo la construcción de la Línea 3 de Metro, la cual tendrá una extensión aproximada de 22 km, que conectará la zona norte de Santiago, desde la comuna de Quilicura al costado oriente de la intersección Ruta 5 con Autopista Vespucio Norte Express hasta la comuna de La Reina, en el sector de Av. Tobalaba con Av. Larraín. Este proyecto estará formado por 17

estaciones, 16 ventilaciones principales, 38 ventilaciones forzadas y una zona de talleres y cocheras. Se consideran 5 estaciones de combinación con las actuales líneas de la red de Metro ya existentes y un enlace subterráneo con la futura Línea 6, en la estación Ñuñoa.

2.2.2 Justificación

El proyecto entrega acceso a Metro a las comunas de Quilicura, Conchalí, Independencia y La Reina, comunas que actualmente no cuentan con acceso directo a este medio de transporte.

Desde el punto de vista de la plusvalía, este proyecto propicia el desarrollo de proyectos inmobiliarios con destino habitacional y comercial, potenciando iniciativas de renovación urbana.

Respecto a la congestión vial, Línea 3 amplía la cobertura de viajes de la ciudad a sectores de fuerte crecimiento inmobiliario, y permite mitigar problemas de congestión vial en sectores de mayor uso de transporte privado, como el sector del centro de Santiago, entre otros.

Además, el proyecto en su operación implica un significativo aporte a la descontaminación ambiental, ya que su operación permitirá producir cambios en la partición modal, reduciendo los viajes en automóvil y en los ejes de transporte público.

2.2.3 Localización

El trazado se iniciará al poniente de la Autopista Los Libertadores con Autopista Vespucio Norte Express, en la Estación Terminal Norte, continuando hacia el sur por Av. Granada, donde intersecta con Av. Independencia lugar en que se ubicará la Estación Cardenal Caro. Luego, continúa hacia el sur por el eje calle Granada -

Av. Independencia hasta la tercera estación proyectada que corresponde a Vivaceta, ubicada en Av. Independencia con calle Camino Vecinal, siguiendo al sur en Av. Independencia con Av. Dorsal en la Estación Conchalí.

Posteriormente, el recorrido seguirá hasta la futura Estación Plaza Chacabuco, ubicada en la plaza del mismo nombre, sector donde se localizan el Estadio Santa Laura e Hipódromo Chile.

En la intersección de calle Zañartu con Av. Independencia se emplazará la Estación Hospitales, sector donde confluyen los hospitales Roberto del Río, Clínico Universidad de Chile y San José.

Continuando hacia el sur, pasa bajo el río Mapocho y Costanera Norte, llegando a la primera estación de combinación (con Línea 2), que corresponde a la futura Estación Puente Cal y Canto.

Posteriormente, la línea sigue bajo el eje de calle Bandera, combinando con Línea 5 con la actual Estación Plaza de Armas, cuyo acceso principal a la futura estación del mismo nombre, estará en calle Bandera con Catedral.

Más al sur, en el cruce de calle Bandera con Av. Libertador General Bernardo O'Higgins, en la actual Estación Universidad de Chile, se generará una futura estación de combinación con la Línea 1.

Luego bajo el eje San Diego, estará la Estación Parque Almagro, ubicada en la intersección de calle San Diego con Santa Isabel, en el parque del mismo nombre.

Luego, la línea gira hacia el oriente por Av. Manuel Antonio Matta, proyectándose la Estación Matta, ubicada en la intersección con Av. Santa Rosa.

Continúa el recorrido hasta el parque Bustamante, entre Av. Irrazával y el comienzo de Av. Grecia, donde se ubicará la futura Estación Irrazával que combinará con la actual estación del mismo nombre de la Línea 5.

Siguiendo por el eje de Av. Irrazával, estarán las estaciones que intersectan con calle Monseñor Eyzaguirre, Av. José Pedro Alessandri, Diagonal Oriente y Av. Ossa, cuyos nombres son: Monseñor Eyzaguirre, Chile España, Diagonal Oriente y Plaza Egaña, respectivamente. Esta última estación combinará con Línea 4.

El trayecto finaliza en Av. Larraín con Av. Tobalaba, futura Estación Larraín.

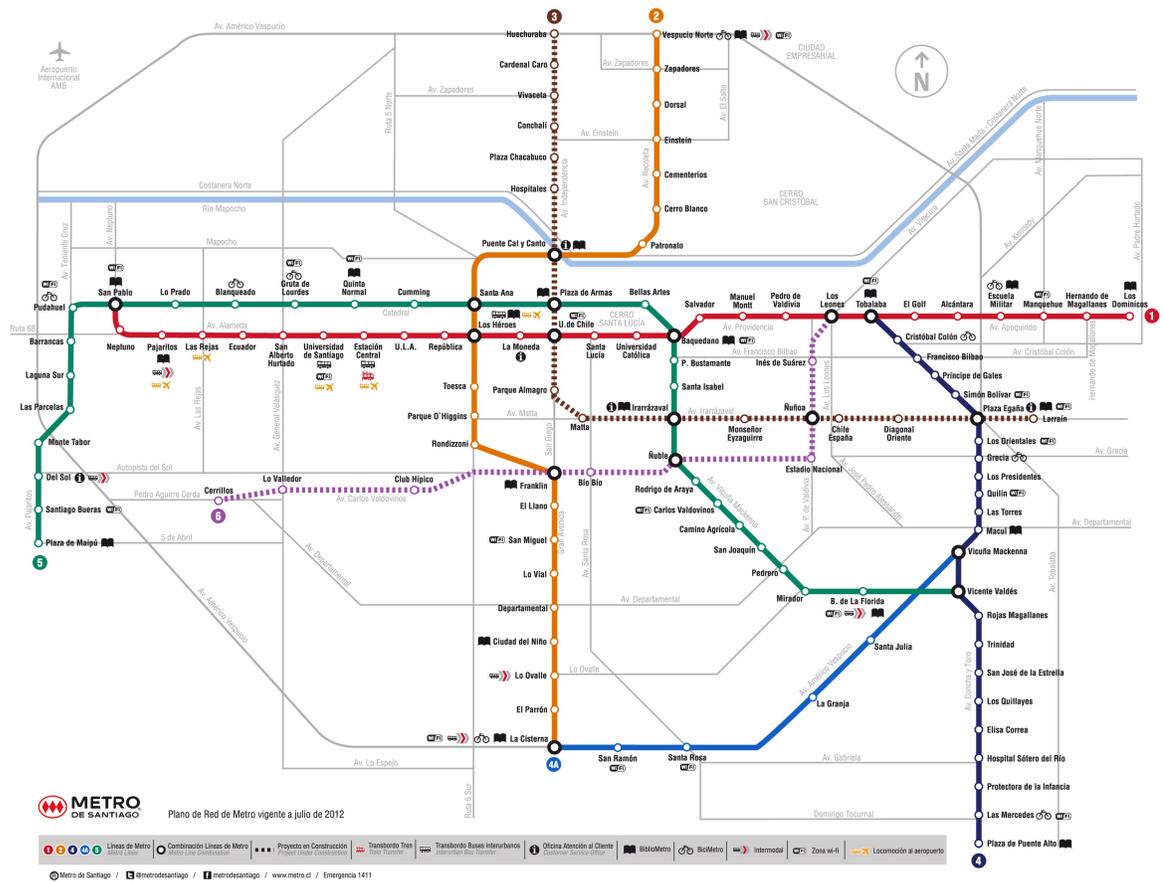


Figura 1: Trazado Línea 3

2.2.4 Obras físicas

2.2.4.1 Piques

Los piques son obras a desarrollar que consisten en excavaciones verticales o piques a cielo abierto, con geometría variable, en donde la mayor parte corresponde a piques circulares o rectangulares, los cuales contarán con una galería subterránea, permitiendo dar acceso rápido a las obras principales de la Línea 3 y disponer de frentes de trabajo simultáneos.

Algunos de ellos serán utilizados para la construcción de estaciones y otros para la construcción de ventilaciones, vías de evacuación, entre otros.

2.2.4.2 Galerías de acceso

Las galerías de acceso corresponden a excavaciones subterráneas horizontales que conectan el pique con el sector donde estará ubicado el eje de circulación del futuro túnel, con una sección de 70 a 150 m², una altura de 8 m y un largo variable, entre 18 y 37 m.

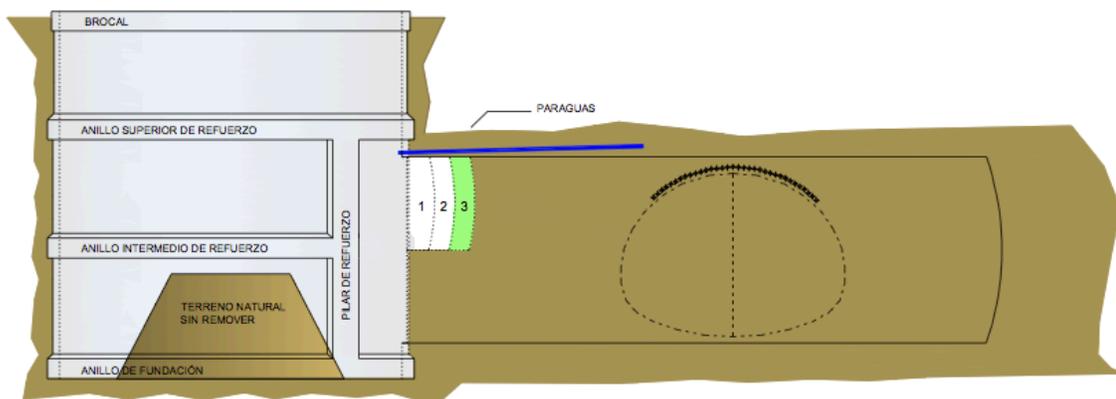


Figura 2: Esquema pique y galería de acceso

2.2.4.3 Túneles

El trazado proyectado de la Línea 3 fue diseñado para ser recorrido de forma subterránea, por lo se requiere construir túneles donde se conectará cada una de las estaciones y ventilaciones necesarias para materializar su operación en forma óptima. Es así, como el tren circulará en forma tuneleada, sobre las vías que se instalarán una vez excavado el túnel.

Los tipos de túneles proyectados se clasifican como:

- Túnel andén o estación: a partir de las galerías de acceso se excava el túnel andén el cual tiene una longitud de 120 m y en él se ubican los andenes de acceso a los trenes, de 3,5; 4 y 5 m de ancho. La sección de estos túneles varía entre 140 y 190 m² aproximadamente.
- Túneles interestación: se construyen a partir de los túneles andén. A través de ellos se conectan las estaciones y por ellos circularán los trenes. La sección de estos túneles varía entre 50 y 70 m². Su longitud puede llegar a ser de 1.000 m aproximadamente.

Además de los túneles descritos anteriormente, existen casos particulares de túneles, los cuales se presentan fundamentalmente en las estaciones de combinación con las estaciones existentes de las Líneas 1 (Universidad de Chile), 2 (Puente Cal y Canto), 4 (Plaza Egaña) y 5 (Plaza de Armas e Irarrázaval), de la red de Metro S.A.

En estas estaciones se proyectan túneles peatonales de conexión con las estaciones existentes los cuales pueden llegar a tener 100 m de largo y secciones de 40 m², como por ejemplo el túnel a construir bajo calle Catedral entre Bandera y Puente, para conectar la estación Plaza de Armas.

2.2.4.4 Estaciones

El diseño estructural de cada estación va en concordancia con la tipología a la cual pertenece, pudiendo ser las siguientes:

- Estación terminal: La Línea 3 cuenta con dos estaciones de tipología terminal, las que son: Terminal Norte y Larraín. Terminal Norte cuenta con un pique de acceso rectangular de 20 x 120 m, sin galerías, por lo que la estación completa se encuentra estructurada en este pique. El andén posee 120 m de largo y un ancho de 5 m. En un nivel intermedio sobre el andén habrá un pasillo de distribución de 4 m de ancho. En el caso de Larraín, cuenta con pique de acceso circular de 25 m de diámetro y dos galerías, una de 11 m y otra de 8 m de ancho que conectan el nivel puente. El andén posee 120 m de largo y un ancho de 4 m. Ambas galerías se unirán por medio de un pasillo de 4 m de ancho.
- Paso mediana: Cuenta con pique de acceso circular de 25 m de diámetro y dos galerías, una de 11 m y otra de 8 m de ancho que conectan el nivel puente. El andén posee 120 m de largo y un ancho de 4 m. Ambas galerías se unirán por medio de un pasillo de 4 m de ancho. Las estaciones Cardenal Caro, Vivaceta, Conchalí, Hospitales y Chile España son del tipo paso mediana.
- Estación de paso pequeña: Cuenta con pique de acceso circular de 25 m de diámetro y una galería principal de 11 m de ancho. El andén tiene 120 m de largo y 3,5 m de ancho. Las estaciones que cuentan con esta tipología son las estaciones Parque Almagro, Matta, Monseñor Eyzaguirre y Diagonal Oriente.

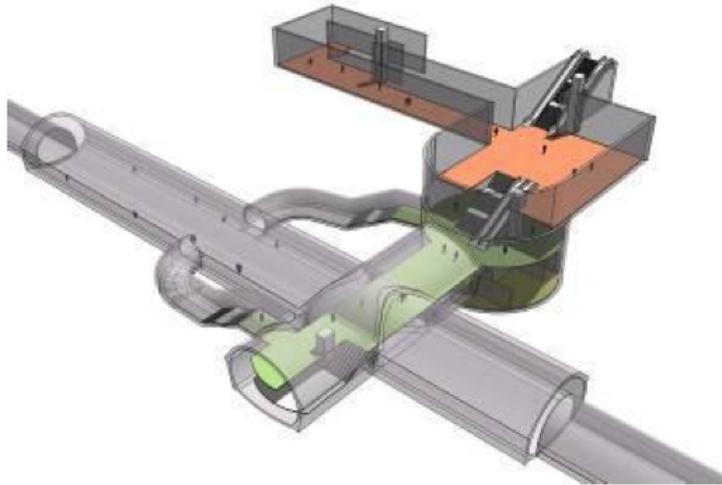


Figura 3: Modelo referencial de estación de paso pequeña

- Estación de paso especial: Al igual que la estación de paso mediana, cuenta con un pique de acceso circular de 25 m de diámetro y dos galerías, una de 11 m y otra de 8 m de ancho que conectan el nivel andén con el nivel puente. El andén es de 120 m de largo y 4 m de ancho. El pasillo que une ambos puentes es de 4 m de ancho. La única estación de paso especial será la estación Plaza Chacabuco.
- Estación de combinación: Los elementos comunes para las estaciones de combinación son un andén de 120 m de largo y entre 4 m y 5 m de ancho. Cuentan con 2 galerías que conectan el nivel andén con el nivel puente, y un pasillo que une ambos puentes. Las conexiones con la estación existente se desarrollan de manera particular para cada caso. Las estaciones de combinación serán las estaciones Cal y Canto, Plaza de Armas, Universidad de Chile, Irarrázaval y Plaza Egaña.

2.2.5 Mano de obra

El nivel de ocupación generado por la construcción corresponde a la mano de obra directa e indirecta necesaria para el desarrollo de las obras civiles y a los recursos de personal requerido para la inspección y administración del proyecto.

La mano de obra directa en la etapa de construcción de las galerías y piques es de 1.200 hombres/mes en promedio, mientras que el máximo es de 1.800 hombres/mes.

En el caso de la construcción de las obras de túneles, estaciones, talleres y cocheras el promedio es de 1.080 hombres/mes y el máximo es de 3.600 hombres/mes.

2.2.6 Inicio de operación Línea 3

El inicio de operación del proyecto es el año 2018.

2.2.7 Vida útil

Se contempla una vida útil indefinida.

2.2.8 Monto estimado de la inversión

La inversión destinada a la materialización del proyecto alcanza un monto de 1.751,5 millones de dólares (MMUSD).

2.3 Método constructivo Línea 3

Para la construcción de los túneles de la red de Metro se contempla el uso del método NATM (New Austrian Tunnelling Method), aplicado con éxito a partir de 1994 en las obras de Línea 5 bajo el Parque Bustamante.

Uno de los criterios fundamentales de este método es considerar el terreno como parte del sistema de soporte o, en otras palabras, el terreno debe ser considerado como material de construcción.

2.3.1 Secuencia constructiva

El proyecto está compuesto por dos etapas consecutivas, la primera etapa corresponde a la construcción de piques y galerías, mientras que la segunda a la construcción de túneles, estaciones, talleres y cocheras.

2.3.1.1 Pique

La excavación y sostenimiento del pique se ejecuta en cuartos de manera alternada (A-B-C-D).

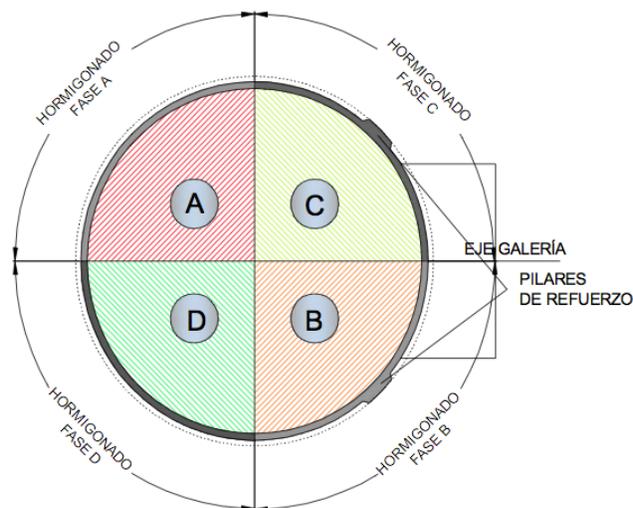


Figura 4: Secuencia constructiva pique

Se comienza por el brocal, luego el manto superior, anillo superior, manto intermedio, anillo intermedio, manto inferior y finalmente el anillo de fundación.

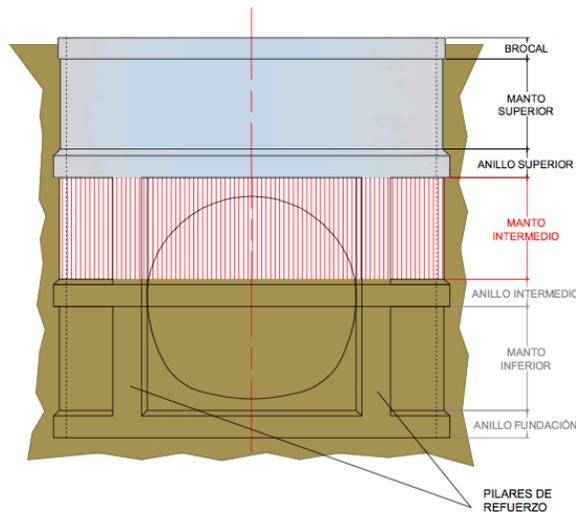


Figura 5: Secuencia constructiva pique

2.3.1.2 Galería de acceso

La sección de la galería de acceso se divide en dos subsecciones denominadas Side Drift 1 y Side Drift 2. Cada una de ellas se excavará a su vez en tres fases.

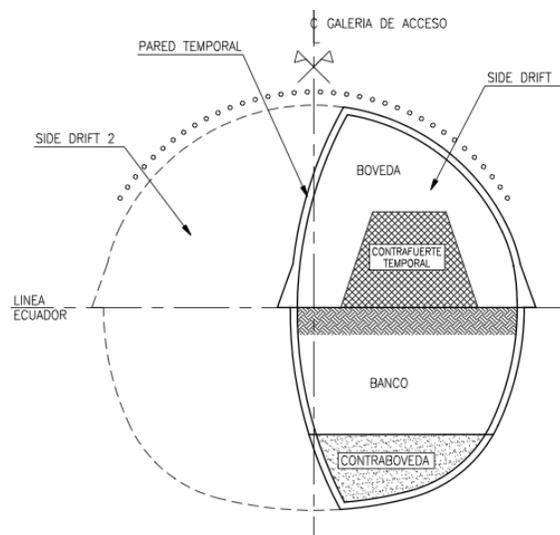


Figura 6: Subsecciones Side Drift 1 galería

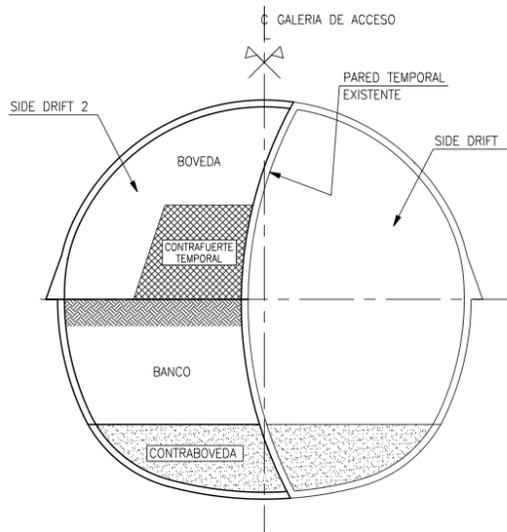


Figura 7: Subsecciones Side Drift 2 galería

La secuencia constructiva del Side Drift 1 corresponde a un avance en bóveda, avance nuevamente en bóveda, avance en banco y finalmente avance en contrabóveda.

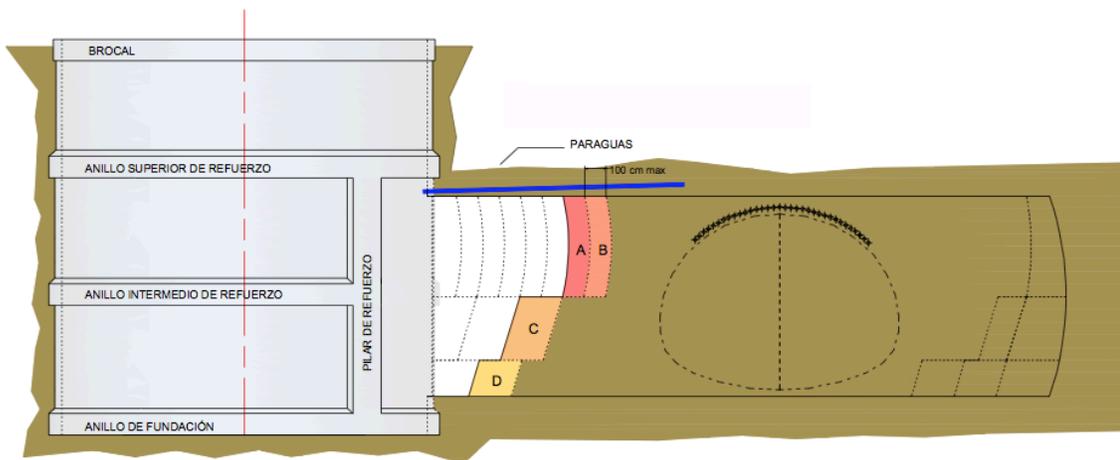


Figura 8: Secuencia constructiva galería

La ejecución del Side Drift 2 es igual a lo indicado para el Side Drift 1, pero su excavación comenzará cuando la contrabóveda terminada del Side Drift 1 tenga un avance mínimo de 20 m.

2.3.1.3 Túneles

De igual manera que la galería de acceso al túnel estación se divide en dos subsecciones, pero en este caso cada una de ellas se ejecutará en dos fases.

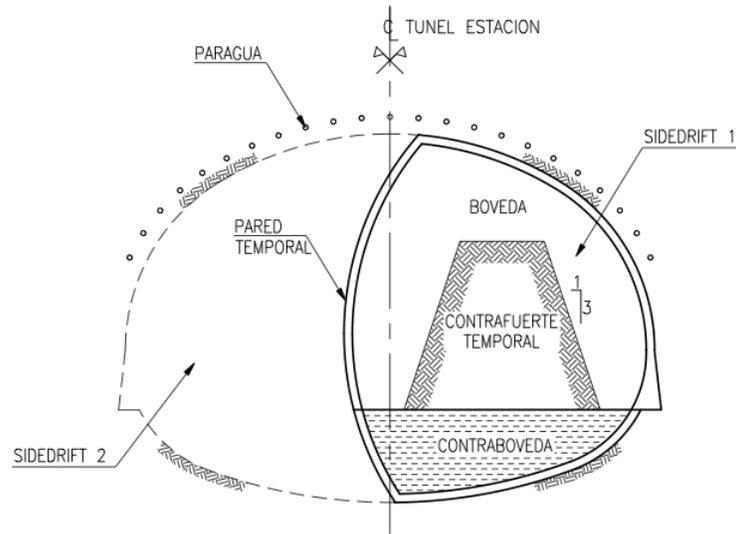


Figura 9: Subsecciones Side Drift 1 túnel estación

El túnel estación se excavará comenzando por el Side Drift 1 desde la galería de acceso del pique, en ambas direcciones y por lo tanto en dos frentes.

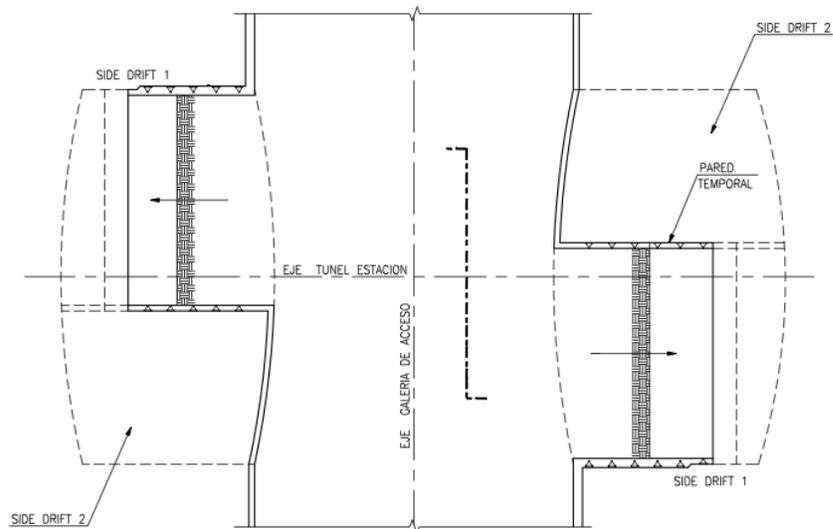


Figura 10: Esquema en planta túnel estación

La secuencia constructiva corresponde al avance en bóveda en el Side Drift 1, luego nuevamente en bóveda y finalmente en contrabóveda.

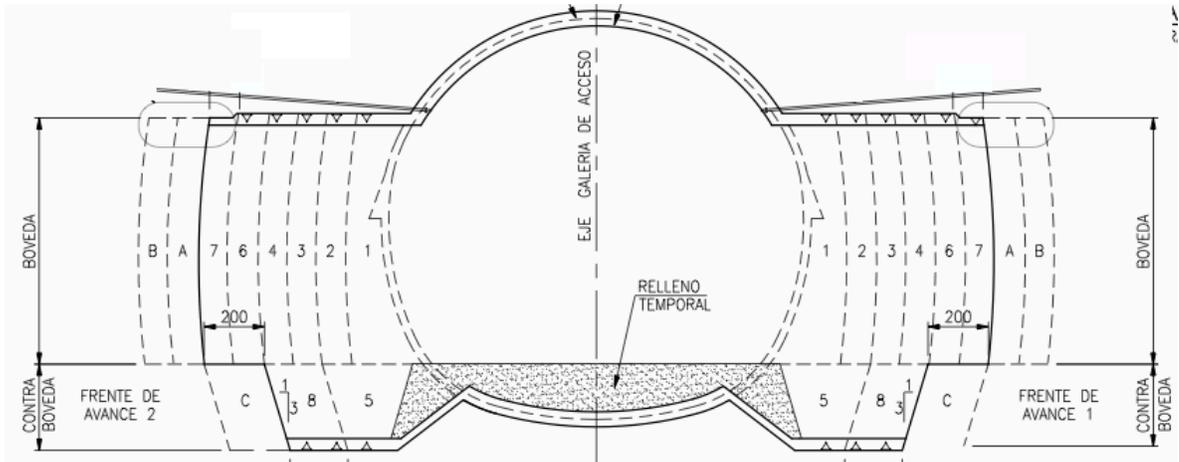


Figura 11: Secuencia constructiva túnel estación

Una vez finalizado el Side Drift 1 del túnel estación se comienza la excavación de la zona de transición, en donde la secuencia constructiva es similar a la descrita anteriormente con la diferencia que las dimensiones de las secciones de la frente varían en cada avance.

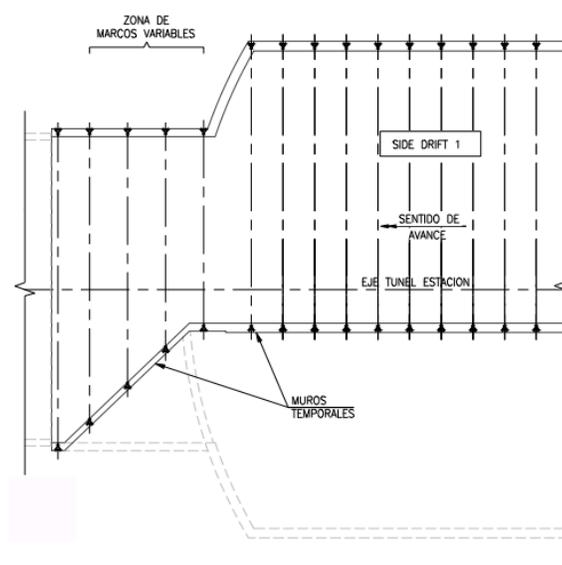


Figura 12: Esquema zona de transición

Finalizada la zona de transición se inicia la ejecución del túnel interestación, que considerando la menor dimensión de su sección transversal se excavará la frente completa sin subsecciones.

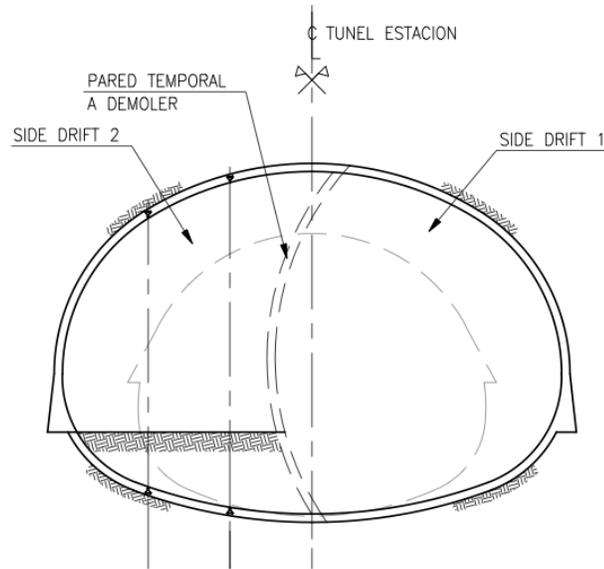


Figura 13: Sección túnel interestación

Luego se ejecutará el Side Drift 2 del túnel estación junto con la respectiva demolición del muro temporal.

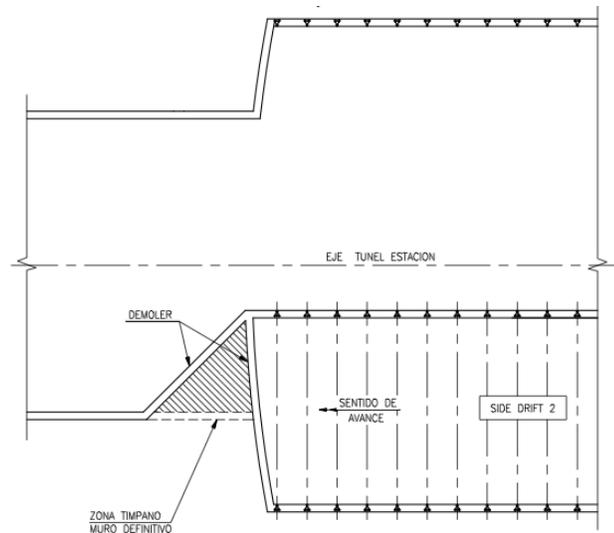


Figura 14: Esquema zona de transición

2.3.2 Ciclo constructivo

El ciclo constructivo del avance en bóveda de un túnel interestación consiste en la excavación y retiro de marina, chequeo topográfico de la excavación, proyección de shotcrete (sello), colocación de mallas electrosoldadas, colocación de marcos reticulados, chequeo topográfico de marcos reticulados, colocación de enfierradura y proyección de shotcrete (HP1).

Luego de reiterar el avance en bóveda según indique la secuencia constructiva se debe completar el sostenimiento del túnel, por lo que se colocan mallas electrosoldadas y se proyecta una nueva capa de shotcrete (HP2) en los avances en bóveda antes mencionados.

Las actividades del ciclo constructivo del avance en contrabóveda son las mismas que las señaladas para el ciclo del avance en bóveda.

- Excavación y retiro de marina



Figura 15: Excavación y retiro de marina

- Chequeo topográfico de la excavación



Figura 16: Chequeo topográfico de la excavación

- Proyección de shotcrete (sello)



Figura 17: Proyección de shotcrete (sello)

- Colocación de mallas electrosoldadas



Figura 18: Colocación de mallas electrosoldadas

- Colocación de marcos reticulados



Figura 19: Colocación de marcos reticulados

- Chequeo topográfico de marcos reticulados



Figura 20: Chequeo topográfico de marcos reticulados

- Colocación de enfierradura



Figura 21: Colocación de enfierradura

- Proyección de shotcrete (HP1)



Figura 22: Proyección de shotcrete (HP1)

- Proyección de shotcrete (HP2)



Figura 23: Proyección de shotcrete (HP2)

- Contrabóveda



Figura 24: Contrabóveda

2.4 Metodología de la investigación

El período de trabajo en terreno para el caso de estudio fue desde el día 20 de octubre del 2014 al 5 de diciembre del mismo año, en donde la recolección de datos relacionada al retrabajo presente en el proyecto se desarrolló desde el día 5 al 18 de noviembre en los piques Almagro, Copiapó y Matta en los turnos de día.

Antes de comenzar el trabajo en terreno se realizó una revisión de la literatura, en la cual se analizaron definiciones, indicadores, clasificaciones de causas y metodologías para identificar y cuantificar el retrabajo en terreno con el objeto de establecer una propuesta metodológica.

En las dos semanas previas a la toma de datos se observó y analizó con el equipo de trabajo de la empresa constructora el retrabajo presente en el proyecto, que junto al desarrollo de una prueba piloto permitieron realizar modificaciones a la propuesta metodológica inicial.

3 MARCO TEÓRICO

El aumento de los costos y plazos de los proyectos son problemas cada vez más recurrentes en la industria de la construcción y una de las principales causas es el retrabajo. Numerosas han sido las investigaciones desarrolladas en el área donde el retrabajo representa un porcentaje no menor en los costos de la construcción del proyecto, por lo que debe ser considerado un factor importante en el desempeño económico de la industria.

Para reducir el retrabajo y de esta manera mejorar el desempeño de los proyectos es necesario que las empresas comiencen a identificar y cuantificar el retrabajo en terreno, de manera que la magnitud de sus costos sea conocida, causas principales identificadas y estrategias de prevención implementadas.

Love et al. (2009) reconoce una falta de consenso en la definición como también en la medición del retrabajo presente en los proyectos, lo que se ha traducido en diferencias importantes en las estimaciones de costos de las distintas investigaciones. Sin embargo, considera que podría haber un grado de congruencia en las causas principales que contribuyen al retrabajo.

De acuerdo a Fayek et al. (2003) en la industria no existe una metodología estándar para identificar y cuantificar el retrabajo en terreno de los proyectos, por lo que el resultado de su investigación es una propuesta en esa área. Love et al. (2009) critica que este tipo de metodologías tienden a utilizar muchos recursos y ser difíciles de implementar. Además, advierte que cuando estas metodologías son utilizadas no es posible obtener conclusiones para la industria tendiendo en cuenta la cantidad limitada de proyectos que utilizan y propone utilizar la metodología ex-post desarrollada por Love (2002). Aún teniendo en cuenta lo anterior, Love et al. (2010) reconoce el valor la propuesta de Fayek et al. (2003) y la califica como notable.

3.1 Definiciones de retrabajo

En la literatura se encuentran distintas interpretaciones de retrabajo, incluyendo términos como desviaciones de calidad (Burati et al. 1992), no conformidades (Abdul-Rahman 1995), defectos (Josephson and Hammarlund 1999) y fallas de calidad (Barber et al. 2000), aunque estas definiciones pueden variar de acuerdo a Love (2002).

En relación a la conformidad, hay dos definiciones de retrabajo (Love 2002). La primera establece que retrabajo es el “proceso por el cual un ítem es llevado a cumplir las conformidades de los requerimientos originales por compleción o corrección” (Ashford 1992), mientras que para la segunda es “realizar algo al menos una vez más debido a la no conformidad de los requerimientos” (Construction Industry Development Agency 1995).

Love et al. (2000a) define retrabajo como el “esfuerzo innecesario de rehacer un proceso o actividad que fue implementado incorrectamente la primera vez”.

La Construction Industry Institute (2001) define retrabajo en terreno como “actividades en terreno que tienen que ser realizadas más de un vez o actividades que quitan trabajo previamente instalado como parte del proyecto”.

La Construction Owners Association of Alberta (2001) define de manera más específica retrabajo como “el costo directo total de rehacer un trabajo en terreno independiente de las causas que lo inician”. La COAA también establece que el retrabajo en terreno no incluye ordenes de cambios (para nuevos trabajos) ni errores de fabricación fuera de la obra.

Basado en la definición de la CII, Fayek et al. (2003) define retrabajo en terreno como “actividades en terreno que tienen que ser realizadas más de un vez, o actividades que quitan trabajo previamente instalado como parte del proyecto

independientemente de su origen, donde no se han realizado ordenes de cambios y no han sido identificados cambios de alcance por parte del mandante”.

3.2 Indicadores de retrabajo

Fayek et al. (2003) afirma que son numerosas las empresas que realizan un seguimiento del retrabajo presente en sus proyectos, aunque reconoce que existen variaciones entre ellas y no hay un estándar para la industria.

En particular, un indicador utilizado por algunas organizaciones es la proporción entre las horas de mano de obra directa en terreno destinadas al retrabajo y las horas de mano de obra directa en terreno totales.

$$R = \frac{\text{Horas de MO directa en terreno de retrabajo}}{\text{Horas de MO directa en terreno totales}}$$

Algunos autores utilizan como indicador de retrabajo el porcentaje del valor del contrato del proyecto que representa los costos del retrabajo.

$$R = \frac{\text{Costos del retrabajo}}{\text{Valor del contrato}}$$

La CII utiliza el indicador TFRF (total field rework factor) para cuantificar el impacto del retrabajo en cada etapa de la construcción del proyecto.

$$R = \frac{\text{Costo directo total del retrabajo en terreno}}{\text{Costo total de la etapa de construcción}}$$

Fayek et al. (2003) crea el indicador CFRI (construction field rework index) para medir el retrabajo presente en cada etapa de la construcción del proyecto, en el cual se incluyen los costos indirectos del retrabajo en terreno.

Con relación a lo anterior, propone multiplicar los costos directos del retrabajo en terreno por una constante que se obtiene a partir de la suma de los costos directos e indirectos del proyecto, dividido por los costos directos del proyecto.

$$R = \frac{\text{Costo directo e indirecto total del retrabajo en terreno}}{\text{Costo total de la etapa de construcción}}$$

3.3 Clasificaciones de las causas de retrabajo

Burati et al. (1992) crea una clasificación para identificar las causas de retrabajo presente en nueve proyectos industriales de construcción. La categorización consiste en cinco áreas (ingeniería, construcción, fabricación, transporte y operatividad), las cuales a su vez se dividen en tres (cambio, error y omisión).

Deviation Category	Brief Description
Design change/owner	Design change initiated by owner
Design change/field	Design change required due to field conditions (e.g., lack of as-builts)
Design change/construction	Design change initiated by construction
Design change/fabrication	Design change initiated by the fabricator
Design change/improvement	Design revision, modifications, and improvements
Design change/process	Design change initiated by operations or process
Design change/unknown	Design change with an unknown source of initiation
Design error	Error made during design
Design omission	Omission made during design
Construction change	Change in the method of construction

Construction error	Error made during construction
Construction omissions	Omission made during construction
Fabrication change	Change made during fabrication
Fabrication error	Error made during fabrication
Fabrication omission	Omission made during fabrication
Transportation change	Change made to method of transportation
Transportation error	Error made in method of transportation
Transportation omission	Omission made in transportation
Operability change	Change made to improve operability

Tabla 1: Clasificación de las causas de retrabajo (Burati et al. 1992)

Love et al. (1997) propone un diagrama para las causas de retrabajo a partir de su investigación preliminar de dos proyectos de construcción. Existen tres áreas principales (ingeniería, construcción y recursos humanos), donde cada una agrupa a distintas sub-áreas.

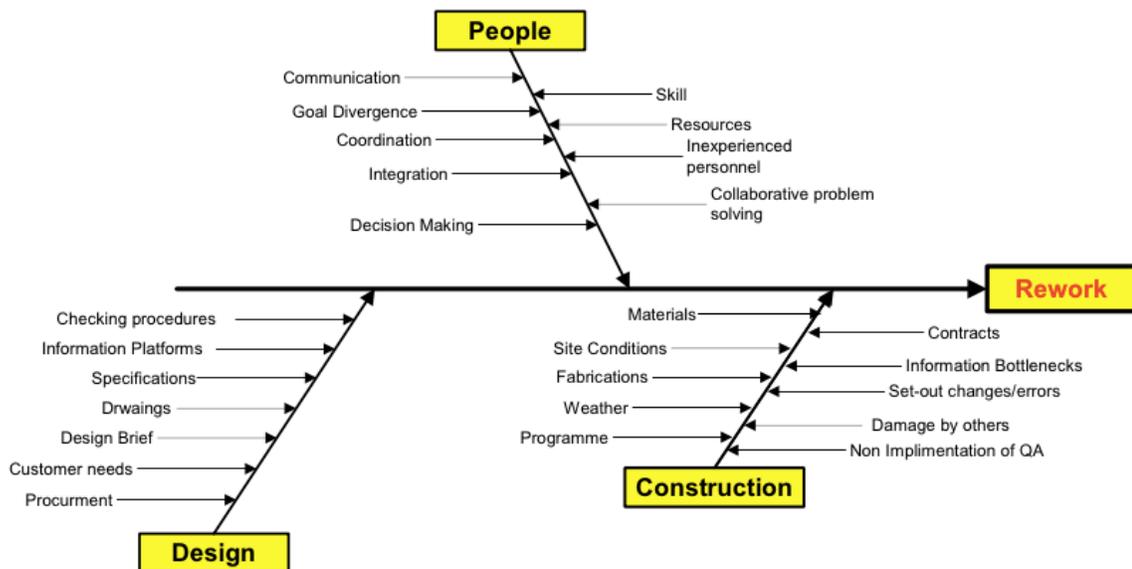


Figura 25: Clasificación de las causas de retrabajo (Love et al. 1997)

Años más tarde, Love and Li (2000) utilizan una adaptación de la categorización desarrollada por Burati et al. (1992) para clasificar las causas de retrabajo presente en su investigación.

Category/Type/Tertiary	Description used
Design/Change/Construction	A change is made at the request of the contractor
Design/Change/Client	A change is made by the client/clients representative to the design
Design/Change/Occupier	Design change initiated by the occupier
Design/Change/Manufacture	A change in design initiated by a supplier/manufacturer
Design/Change/Improvement	Design revisions, modifications and improvements initiated by the contractor or subcontractor
Design/Change/Unknown	The source of the change could not be determined, as there was not enough information available. Discussion with project manager does not reveal the cause
Design/Error	Errors are mistakes made in the design
Design/Omission	Design omission results when a necessary item or component is omitted from the design
Construction/Change/Construction	A change in the method of construction in order to improve constructability
Construction/Change/Site conditions	Changes in construction methods due to site conditions
Construction/Change/Client	A change made by the client/clients representative after some work has been performed on-site
Construction/Change/Occupier	Occurs when a product or process has been completed
Construction/Change/Manufacture	Process or product needs to be altered/rectified

Construction/Change/Improvement	Contractor request to improve quality
Construction/Change/Unknown	The source of the change cannot be determined, as there is not enough information available. Discussion with project manager did not reveal the cause
Construction/Error	Construction errors are the result of erroneous construction methods procedures
Construction/Omission	Construction omissions are those activities that occur due to omission of some activities
Construction/Damage	Damage may be caused by a subcontractor or inclement weather

Tabla 2: Clasificación de las causas de retrabajo (Love and Li 2000)

Fayek et al. (2003) propone un diagrama causa - efecto a partir de la categorización utilizada por la COAA. Son cinco las áreas principales (ingeniería, construcción, suministro de materiales y equipos, recursos humanos y liderazgo y comunicación), con cuatro sub-áreas cada una.

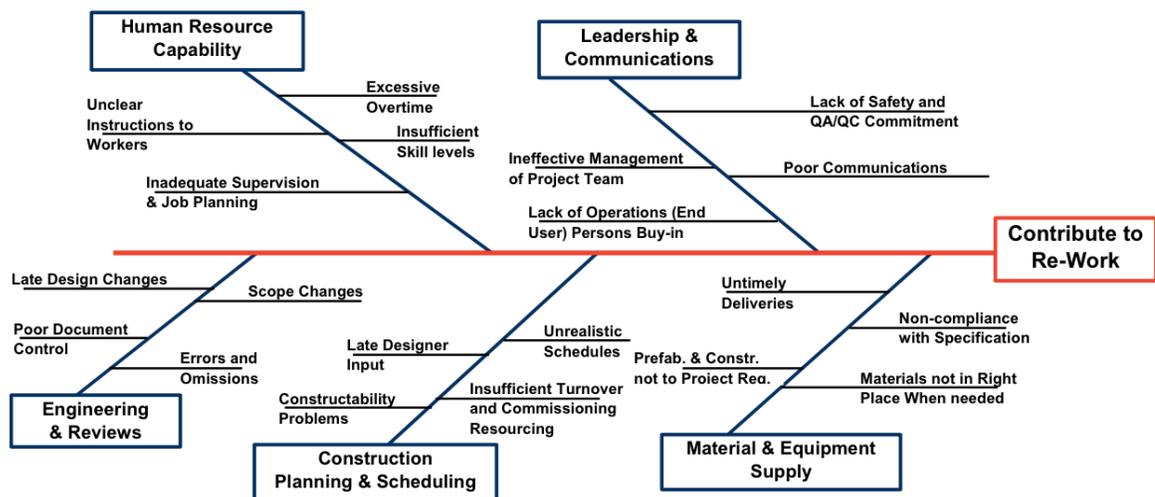


Figura 26: Clasificación de las causas de retrabajo (Fayek et al. 2003)

Además, Fayek et al. (2003) crea un tercer nivel para la clasificación de las causas de retrabajo, donde se considera que este es el mejor grado de detalle antes que su complejidad exceda su efectividad. El tercer nivel de clasificación se encuentra adjunto en el Anexo A.

Hwang et al. (2009) utiliza la clasificación de Davis et al. (1989) en su investigación. Además menciona que esta categorización coincide con la propuesta por Burati et al. (1992) y difiere de las presentadas por Love et al. (1997) y Fayek et al (2003) debido a que estas últimas consideran que el retrabajo ocurre como resultado de la incertidumbre, un liderazgo y comunicación pobre e ineficaz toma de decisiones.

Sources	Definitions and examples
Owner change	Result caused by the owner changing the project definition, scope or requirements
Design change	Result caused when changes are made in the project design or requirements
Design error/omission	Result caused when necessary items or components in the project design are erroneous or omitted
Constructor change	Result caused by changing constructors, construction methods or procedures
Constructor error/omission	Result caused by contractors' errors or omissions in construction methods, procedures, activities or tasks
Vendor change	Result caused when vendors are changed
Vendor error/omission	Result caused when necessary items or components are erroneous or omitted by vendors
Transportation error	Result caused by mistakes, accidents, or errors in transportation
Other	Result caused by all other sources

Tabla 3: Clasificación de las causas de retrabajo (Hwang et al. 2009)

3.4 Costos del retrabajo

El impacto del retrabajo en el desempeño de los proyectos afecta no solo sus costos directos, sino también los costos indirectos, plazos, calidad y seguridad de estos, aunque por lo general se utiliza únicamente la primera variable al ser más directa y sencilla de cuantificar.

El estudio desarrollado por Burati et al. (1992) en base a nueve proyectos industriales de construcción indica que los costos de las desviaciones de calidad representan en promedio un 12,4% del valor del contrato. La investigación de Abdul-Rahman (1995) concluye que los costos de las no conformidades (excluyendo las pérdidas de materiales y gastos generales de la oficina central) en un proyecto de construcción de una autopista equivalen a un 5% del valor del contrato. Los resultados de Josephson y Hammarlund (1999) muestran que los costos de defectos en proyectos de edificios residenciales, industriales y comerciales varían entre el 2% y 6% del valor del contrato. Barber et al. (2000) cuantifica los costos de las fallas de calidad en 16% y 23% (o 6,6% y 3,6% sin incluir el costos por retrasos) del valor del contrato para proyectos de construcción de autopistas. La investigación de Love and Li (2000) indica que los costos de retrabajo son 3,15% y 2,4% del valor del contrato para un proyecto residencial e industrial, respectivamente.

Los resultados de Love (2002) a partir de la información obtenida de 161 proyectos de construcción en Australia muestran que el costo del retrabajo representa un 12% del valor del contrato, en donde los costos directos e indirectos de retrabajo son 6,4% y 5,6%, respectivamente. Fayek et al. (2003) cuantifica los costos de retrabajo en 0,87% de los costos de la etapa de construcción. La CII (2005) concluye que los costos directos de retrabajo en promedio equivalen al 5% de los costos de construcción del proyecto. La investigación de Love et al. (2009) con los datos de 260 proyectos cuantifica los costos de retrabajo en 11,1% del valor del contrato.

Otro aspecto importante es determinar cuales son las causas de retrabajo que tienen un mayor impacto en el desempeño económico del proyecto. Hwang et al. (2009) en base a la información de 359 proyectos de la base de datos de la CII concluye que los cambios por parte del mandante y los errores u omisiones en la ingeniería del proyecto son dos de las principales causas del retrabajo, mientras que los errores u omisiones en la construcción y los cambios en la ingeniería del proyecto también tienen un impacto importante respecto de otras causas en los costos del retrabajo en el proyecto, lo que concuerda con los resultados de investigaciones anteriores.

En relación a los costos indirectos de retrabajo, Love et al. (2000b) indica que estos pueden representar hasta cinco veces los costos directos del retrabajo en un proyecto.

3.5 Metodologías para identificar y cuantificar el retrabajo

La metodología descrita en Love (2002), Love and Edwards (2004) y Love et al. (2009) consiste en obtener la información relacionada al retrabajo presente en los proyectos a través de un formulario, el cual no busca opiniones generales sino que solicita a los encuestados seleccionar un proyecto recientemente finalizado en el cual hayan participado y a partir de este responder las preguntas.

Un muestreo aleatorio estratificado es utilizado para seleccionar la muestra del estudio desde el directorio telefónico Paginas Amarillas. Existen dos beneficios de utilizar este tipo de muestreo; en primer lugar asegura que habrán encuestados de cada sub-grupo de la muestra y en segundo lugar asegura que dentro de cada sub-grupo los encuestados serán homogéneos.

Previo a comenzar el estudio es necesario desarrollar una prueba piloto de manera de conocer la tasa potencial de respuesta, idoneidad y comprensibilidad del formulario. Cada empresa es contactada telefónicamente e informada de los

objetivos de la investigación así como también de que todas las respuestas serán estrictamente confidenciales. Una vez obtenido su consentimiento se envía el formulario, requiriendo adicionalmente comentarios respecto a su contenido y estructura.

La fiabilidad de los datos esta relacionada con la fuente de estos y el cargo de la persona quien responde el formulario, por lo que es importante que sean personas con experiencia en el desarrollo de los proyectos quienes sean los encuestados en la investigación. Teniendo en consideración lo anterior, el formulario es enviado a quienes tengan antigüedad en el rubro de las distintas organizaciones.

Cada proyecto señalado por el encuestado es considerado distinto a los demás por lo que el formulario es enviado a empresas de distintas ciudades del país para minimizar la duplicación de proyectos seleccionados. Considerando además el número de proyectos desarrollados en un país como Australia, la posibilidad de que los encuestados elijan el mismo proyecto es significativamente reducida dada la diversidad de la muestra.

En el formulario se busca obtener estimaciones de los costos directos e indirectos del retrabajo en los proyectos porque los costos asociados al retrabajo son rara vez cuantificados por la empresas australianas (Love et al. 2000a). Otros datos requeridos son características del proyecto y las prácticas de la dirección del proyecto. Además, se utiliza una escala de Likert de cinco niveles para conocer la opinión de los encuestados respecto de las causas que contribuyen al retrabajo.

La propuesta de Fayek et al. (2003) es descrita en el siguiente capítulo.

3.6 Herramientas de reducción de retrabajo

El CII desarrolló en 1989 la herramienta QPMS (quality performance management system) que entrega la información necesaria para identificar oportunidades de mejoras de calidad en un proyecto (Rogge et al. 2001). QPMS registra los costos de calidad y provee un desglose de estos identificando los costos de retrabajo por su causa principal.

El retrabajo esta categorizado por su causa principal y la etapa en cuando ocurre, en donde existen 26 posibles categorías, siendo algunas lógicamente eliminadas.

Primary Cause	When Detected (Phase)			
	Design	Procurement	Construction	Start-up
Owner Change	x	x	x	x
Designer Error/Omission	x	x	x	x
Designer Change	x	x	x	x
Vendor Error/Omission	x	x	x	x
Vendor Change	x	x	x	x
Constructor Error/Omission			x	x
Constructor Change			x	
Transported Error		x	x	x

Tabla 4: Categorías de retrabajo (QPMS)

Luego, Rogge et al. (2001) desarrolló la herramienta FRI (field rework index) que permite obtener una advertencia temprana cuando un proyecto posea una proyección de alto nivel de retrabajo en terreno o de aumento en los costos. La herramienta esta diseñada para ser utilizada antes que comience la etapa de construcción.

Para crear la FRI se realizaron un listado de posibles variables que pudiesen predecir el retrabajo en terreno, las cuales fueron analizadas estadísticamente con datos obtenidos de proyectos de construcción finalizados, para luego determinar la relación de las variables antes mencionadas con el retrabajo en terreno.

Aunque a partir de los resultados de la investigación se concluye que no es posible predecir el porcentaje de retrabajo con la FRI, si es una herramienta sencilla que ayuda a prevenir el retrabajo en los proyectos. En la tabla se encuentra el listado de las 14 variables estadísticamente significativas y su grado de relación con el retrabajo.

FRI Variable	Relationship
Owner alignment	<p style="text-align: center;">Strongest</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">(Weakening)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Weakest</p>
Design rework	
Constructability commitment	
Interdisciplinary design coordination	
Degree of project execution planning	
Design firm's qualifications	
Field verification	
Expected craftworker availability	
Expected construction overtime	
Engineering overtime	
Design leadership changes	
Design schedule compression	
Supplier pre-qualification	
Supplier information	

Tabla 5: Variables y su relación con el retrabajo (FRI)

Otra herramienta utilizada es la PRRT (project rework reduction tool) desarrollada por la COAA para medir el desempeño del proyecto en función de causas conocidas y significativas de retrabajo. Las mediciones pueden ser analizadas a partir de las cinco áreas de clasificación de causas de retrabajo propuesta por la COAA, pero un promedio general es utilizado para análisis de tendencias y benchmarking con proyectos similares (COAA 2002). Además, la herramienta esta diseñada para ser utilizada en distintas etapas del proyecto.

Fayek et al. (2003) crea el FRDCS (Field Rework Data Collection System) para apoyar la propuesta metodológica desarrollada en su investigación. El primer paso es ingresar la información general del proyecto y los precios unitarios de la mano de obra, supervisión, equipos y materiales. Luego, se debe ingresar la información general de los incidentes de retrabajo como también sus causas y costos. Finalmente, se pueden generar informes de los incidentes de retrabajo en terreno como también informes de resumen del retrabajo en el proyecto.

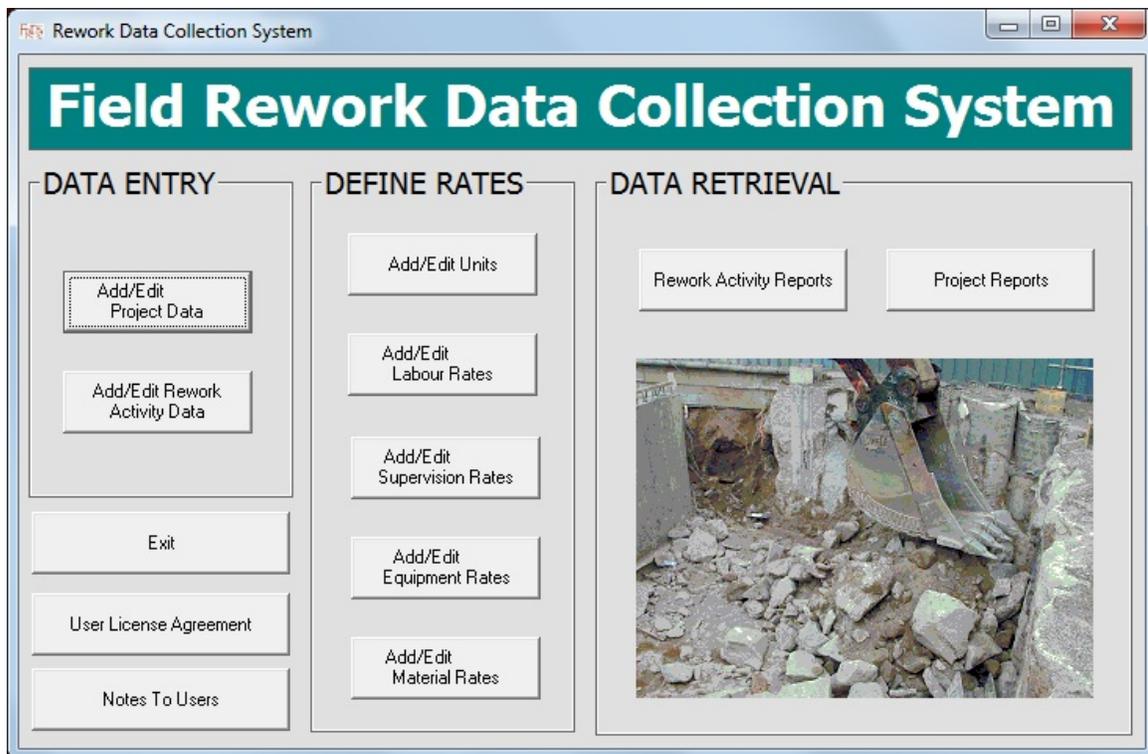


Figura 27: Menú principal (FRDCS)

Rework Data Collection System

Rework Cost Components

Direct Labour Costs	Direct Supervision Costs	Equipment Costs	Subcontractor Costs	Material Costs	Supplier/Vendor Costs
Total Rework Workforce Hours	<input type="text" value="0"/>	Total Activity Workforce Hours	<input type="text" value="0"/>	Total Rework Equipment Hours	<input type="text" value="0"/>
Total Rework Equipment Hours	<input type="text" value="0"/>	Total Activity Equipment Hours	<input type="text" value="0"/>	Total Rework Activity Duration Hours	<input type="text" value="0"/>
Total Rework Activity Duration Hours	<input type="text" value="0"/>	Total Activity Duration Hours	<input type="text" value="0"/>		

Rework Classification

	Number	Level 1 Factor	Level 2 Factor	Level 3 Factor	Percent of Cause	
*						Assign Cause Percentages
						Delete

Severity Rating:

Notes

Figura 28: Menú de datos de incidente de retrabajo (FRDCS)

NN	Project Rework Summary
Field Rework	
Total Direct Labour Costs	\$0.00
Total Direct Supervision Costs	\$0.00
Total Equipment Costs	\$0.00
Total Material Costs	\$0.00
Total Subcontractor Costs	\$0.00
Total Supplier/Vendor Costs	\$0.00
Total Direct Cost of Rework	\$0.00
Total Indirect Cost of Rework	\$0.00
Total Direct plus Indirect Cost of Rework	\$0.00
Project	
<small>(Note: All the numbers in this section are derived from actual costs)</small>	
Actual Project Field Direct	\$0.00
Actual Total Field Indirect Costs	\$0.00
Actual Corporate Overhead and Profit Fees	\$0.00
Total Field Construction Phase Cost	\$0.00
Construction Field Rework Index (CFRI) Calculation	
CFRI =	$\frac{\text{Total Direct plus Indirect Cost of Rework Performed in the Field}}{\text{Total Field Construction Phase Cost}}$
=	$\frac{\$0.00}{\$0.00} = 0.00 \%$

Figura 29: Informe resumen del retrabajo en el proyecto (FRDCS)

4 METODOLOGÍA PROPUESTA

La propuesta metodológica para identificar y cuantificar el retrabajo en terreno en la industria de la construcción chilena consiste en una adaptación de la propuesta de Fayek et al. (2003).

4.1 Definición de retrabajo

La definición a utilizar es la propuesta por la Construction Industry Institute (2001), en la cual se define retrabajo en terreno como:

“actividades en terreno que tienen que ser realizadas más de un vez o actividades que quitan trabajo previamente instalado como parte del proyecto”.

Los costos de retrabajo son registrados una vez que el retrabajo es identificado, y desde ese momento hasta cuando la actividad vuelve a su condición o estado inicial cuando el retrabajo comenzó.

Lo anterior incluye el tiempo de espera desde que el retrabajo es identificado, el tiempo para llevar a cabo el retrabajo y el tiempo necesario para prepararse para continuar con la actividad original.

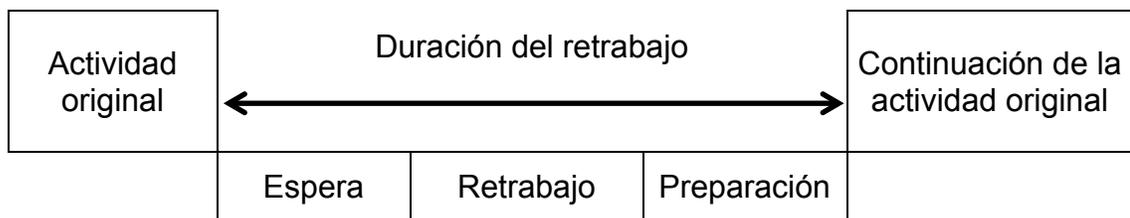


Figura 30: Componentes del retrabajo

4.2 Índice de retrabajo

El indicador de retrabajo en terreno para cuantificar el retrabajo presente en cada etapa de la construcción del proyecto a utilizar es el indicador CFRI (construction field rework index), propuesto por Fayek et al. (2003).

$$R = \frac{\text{Costo directo e indirecto total del retrabajo en terreno}}{\text{Costo total de la etapa de construcción}}$$

$$R = \frac{D_r \times I_f}{D_t + I + O + P}$$

$$D_r = \sum_1^n l_{r_i} + e_{r_i} + m_{r_i} + s_{r_i} + v_{r_i}$$

$$I_f = \frac{D_t + I}{D_t}$$

Donde,

D_r	=	Costo directo total del retrabajo en terreno
l_r	=	Costo de mano de obra directa y supervisión en el retrabajo
e_r	=	Costo de equipos en el retrabajo
m_r	=	Costo de materiales en el retrabajo
s_r	=	Costo de subcontratos en el retrabajo
v_r	=	Costo de proveedores en el retrabajo
i	=	Evento de retrabajo
n	=	Número de eventos de retrabajo
I_f	=	Constante de costos indirectos
D_t	=	Costo directo de la etapa de construcción
I	=	Costo indirecto de la etapa de construcción
O	=	Gastos generales
P	=	Utilidades

El numerador esta definido como la suma de los costos directos de retrabajo en terreno y los costos indirectos de retrabajo en terreno. Los costos directos de retrabajo en terreno son la suma de los costos de mano de obra directa y de supervisión, equipos, materiales, subcontratos y proveedores utilizados en el retrabajo. La suma del costo directo e indirecto total del retrabajo en terreno es calculada usando una constante de costos indirectos que es aplicada al costo directo total de retrabajo. El denominador consiste en el costo total de la etapa de construcción, el cual es una combinación del costo directo, costo indirecto, gastos generales y utilidades de la etapa de construcción. El costo total de la etapa de construcción excluye los costos de la ingeniería del proyecto, pero incluye la ingeniería en terreno durante la etapa de construcción.

4.3 Clasificación de causas de retrabajo

La clasificación de causas de retrabajo en terreno a utilizar será una adaptación de la propuesta por Fayek et al. (2003), donde se incluye cambios por parte del mandante acorde a la definición de retrabajo adoptada anteriormente.

Área	Causas
Mandante	Cambios por parte del mandante
Ingeniería	Cambios en la ingeniería tardíos
	Bajo control de documentos
	Cambios de alcance
	Errores y omisiones
Construcción	Inputs de ingeniería tardíos
	Problemas constructivos
	Planificación poco realista
	Falta de visitas a terreno e ineficiente administración de recursos

Liderazgo y Comunicación	Administración poco efectiva
	Falta de participación del mandante
	Falta de compromiso en seguridad y AC/CC
	Bajo nivel de comunicación
Suministro de Materiales y Equipos	Retrasos en las entregas
	Pefabricados sin los requerimientos del proyecto
	Incumplimiento de las especificaciones
	Materiales ubicados en lugar incorrecto cuando se necesitan
Competencia de Recursos Humanos	Instrucciones poco claras a trabajadores
	Supervisión inadecuada
	Exceso de horas extras
	Habilidades insuficientes

Tabla 6: Clasificación de causas de retrabajo en terreno

4.4 Causas múltiples de retrabajo

En algunas situaciones puede ocurrir que no sea una sino dos o más las causas que contribuyen al retrabajo. Una alternativa para identificar causas múltiples es asignar un porcentaje a cada causa hasta tener un 100%.

Causa	Porcentaje
A	70%
B	20%
C	10%
Total	100%

Tabla 7: Ejemplo causas múltiples

Otra opción propuesta por Fayek et al. (2003) para utilizar causas múltiples es un método basado en el AHP (Analytic Hierarchical Process) en donde la importancia relativa de cada causa en un incidente de retrabajo esta basada en la comparación entre pares de todas ellas.

Intensidad de Importancia	Descripción
1	Igualmente importante
3	Débilmente más importante
5	Fuertemente más importante
7	Muy fuertemente más importante
9	Absolutamente más importante
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios

Tabla 8: Descripción de los valores de las relaciones

Por ejemplo, si la persona estima que la causa de retrabajo A es fuertemente más importante que B debe asignar el valor “5” a la casilla (A,B), es decir, a la casilla de la fila de la causa A y columna de la causa B. Luego para la comparación entre la causa B y A se utiliza el recíproco, es decir, se debe asignar “1/5” a la casilla (B,A). El mismo procedimiento debe seguirse para las relaciones restantes, en donde para el caso de N causas de retrabajo solo se necesitan N-1 relaciones. Por ejemplo si $A = 5 B$ y $A = 3 C$ entonces $B = 3/5 C$.

Causas	A	B	C
A	1	5	3
B	1/5	1	3/5
C	1/3	5/3	1

Tabla 9: Ejemplo causas múltiples

Una vez que la matriz de comparaciones este completa se deben normalizar las columnas, es decir, dividir cada elemento de una columna por la suma de todos los elementos de aquella columna. Luego se debe sumar los elementos de cada fila y dividir por el número de elementos de aquella fila. Los valores obtenidos en el paso anterior representan la importancia relativa de cada causa en el incidente de retrabajo en terreno.

4.5 Metodología de recolección de datos de retrabajo

De acuerdo a Fayek et al. (2003) el proceso de recolección de datos de retrabajo en terreno comienza cuando un incidente es identificado. Una vez identificado el incidente debe ser notificado para determinar si corresponde a retrabajo o no y cuales serán las instrucciones a seguir.

En caso de ser retrabajo la información de las causas y costos del incidente es obtenida a partir de la observación del retrabajo y de consultar al equipo de trabajo en terreno.

Para recolectar los datos antes mencionados se debe rellenar un formulario en terreno que requiere la información general del proyecto, seleccionar la o las causas del retrabajo y registrar los costos de mano de obra, materiales, máquinas, subcontratos y proveedores, y comentarios adicionales sobre el incidente. El formulario utilizado para el caso de estudio se encuentra adjunto en el Anexo B.

Finalmente, utilizando la información de los distintos incidentes de retrabajo en la epata de construcción del proyecto se puede obtener el índice de retrabajo y las causas principales de retrabajo.

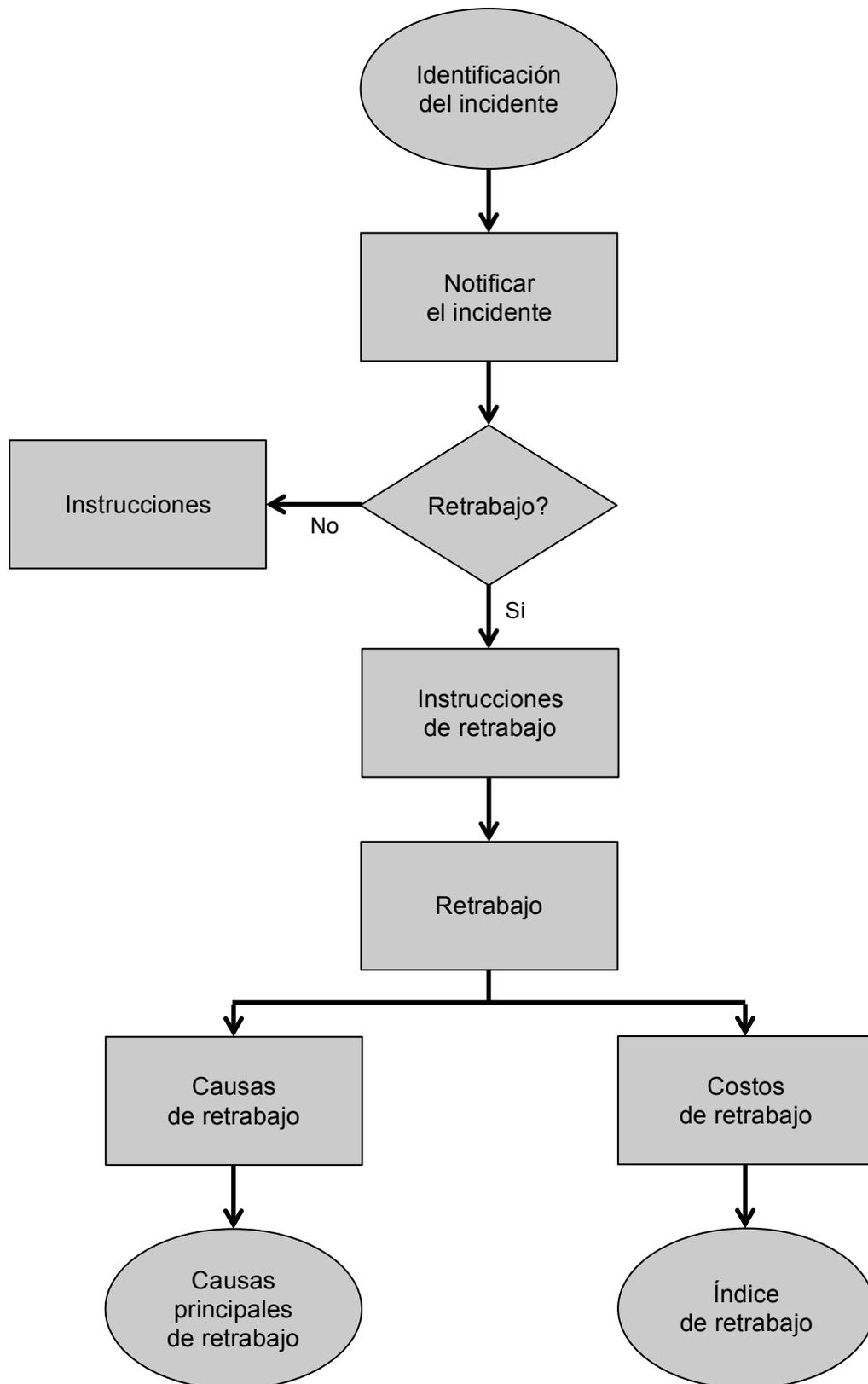


Figura 31: Diagrama de metodología de recolección de datos

5 RESULTADOS

Durante la recolección de datos de retrabajo en terreno el avance del túnel interestación en dirección al norte de la estación Parque Almagro corresponde al avance en bóveda desde el marco 10 al 18, mientras que para el túnel del mismo pique en dirección al sur corresponde al avance en bóveda desde el marco 51 al 55 del túnel estación, marcos M1 a M5 de la zona de transición y marcos 6 al 11 del túnel interestación. En el pique Copiapó el avance del túnel interestación en dirección al norte y sur corresponde al avance en bóveda desde el marco 197 a 219 y 186 a 197, respectivamente. Finalmente, el avance en el túnel estación en el pique Matta en dirección al oriente corresponde al avance en bóveda desde el marco 2 al 3 y en dirección al poniente desde el marco 20 al 30.

5.1 Resultados de retrabajo

El resultado de la investigación en los piques Parque Almagro, Copiapó y Matta muestra que el retrabajo en terreno presente corresponde al 5,5% de los costos totales de la etapa de construcción de túneles de los piques antes mencionados durante el tiempo de medición.

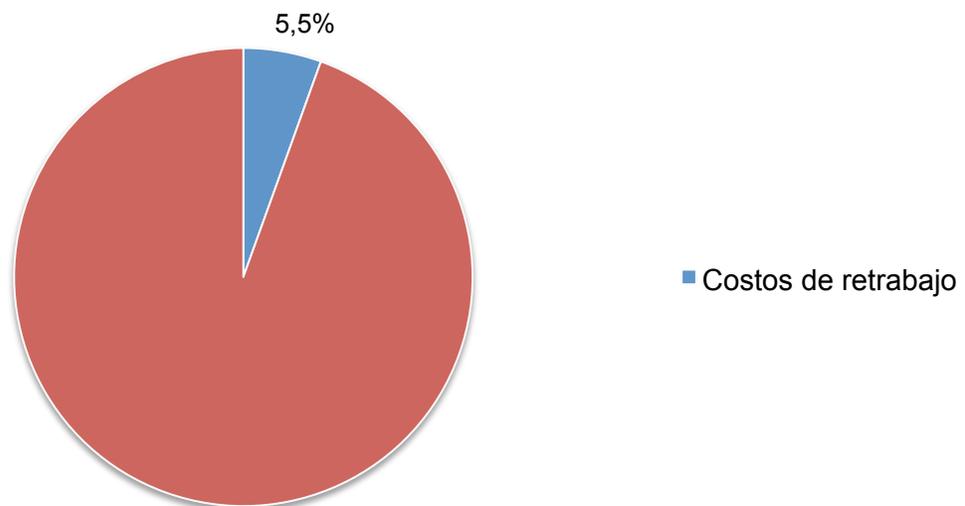


Figura 32: Porcentaje del costo de retrabajo en el proyecto

De acuerdo a la literatura, cambios por parte del mandante y errores u omisiones en la ingeniería son las dos causas principales que contribuyen al impacto económico del retrabajo en el proyecto. Los resultados muestran que durante el período de recolección de datos no se identificaron incidentes cuyas causas hayan sido clasificadas dentro del área del mandante o de la ingeniería, y en particular en las dos causas de retrabajo en terreno antes mencionadas. Además, el área de liderazgo y comunicación tampoco presento incidentes de retrabajo.

Las causas de retrabajo del área de la construcción representan un 88,4% de los costos del retrabajo en el proyecto, donde “problemas constructivos” y “planificación poco realista” equivalen al 85,7% y 2,7%, respectivamente.

El área de competencia de recursos humanos es la segunda más importante considerando que representa un 11,4%, donde la causa de retrabajo “supervisión inadecuada” representa un 2% y “habilidades insuficientes” un 9,4%.

Finalmente, “materiales ubicados en lugar incorrecto cuando se necesitan” del área de suministro de materiales y equipos representa un 0,2%.

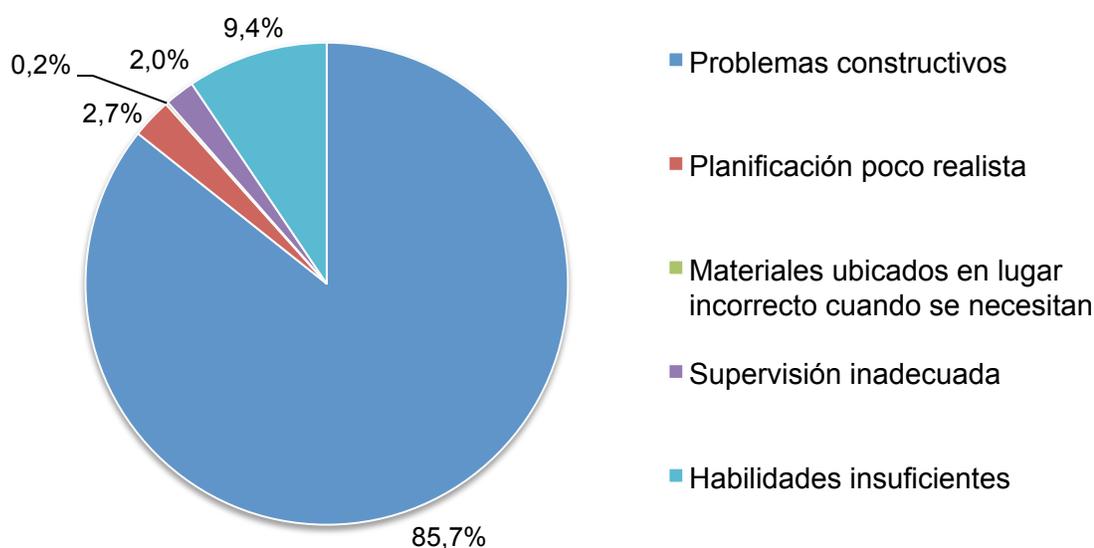


Figura 33: Porcentaje de cada causa respecto al costo total del retrabajo

La excavación del túnel es la actividad con mayor presencia en los costos del retrabajo con un 81,7%. Su origen radica en los problemas constructivos al momento de excavar que generan una sobreexcavación o desprendimientos que deben ser cubiertos por shotcrete para lograr la sección de túnel deseada. La situación anterior es constante y frecuente, y su magnitud depende de la calidad del suelo en el que se encuentra.

El agotamiento de agua representa un 11,1% de los costos del retrabajo, donde los problemas constructivos que se generan por la presencia de agua implican paralizar el trabajo en la frente para controlar la situación. La frecuencia y magnitud dependerán de la presencia de agua en el túnel.

Algunos ejemplos de retrabajo en el proyecto son retirar una malla de menor cuantía a la correspondiente y colocar la correcta, otro es tener que picar el hormigón para instalar la enfierradura faltante, también retirar el marco de la contrabóveda roto al excavar e instalar uno nuevo, instalar nuevamente el marco porque topografía no lo aprueba, falta de excavación en una zona para poder instalar el marco, pérdida de hormigón que al esperar para ser proyectado no se adhirió al túnel, entre otros.

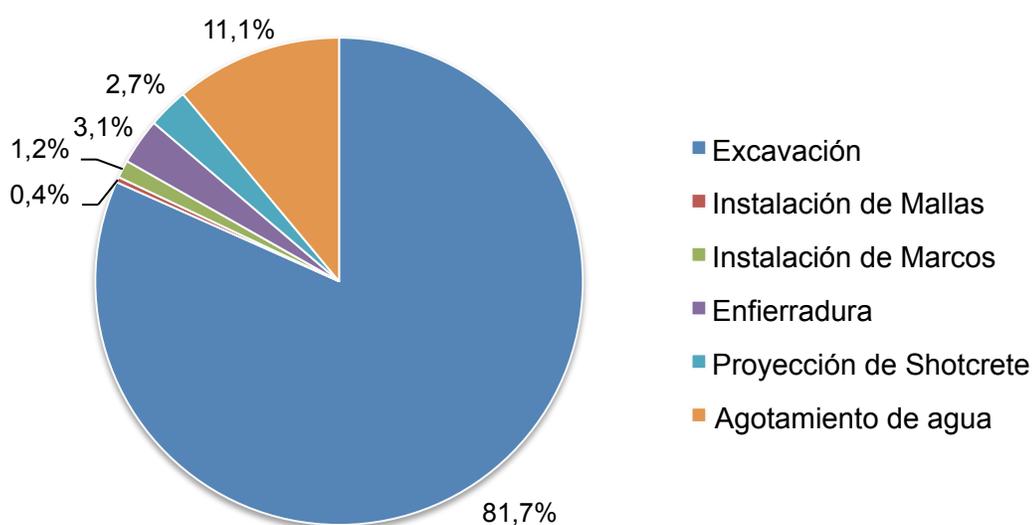


Figura 34: Porcentaje de cada actividad respecto al costo total del retrabajo

5.2 Resultados de detenciones y demoras

Posteriormente a la recolección de datos de retrabajo en terreno se realizó una encuesta de detenciones y demoras en el proyecto en los piques Parque Almagro, Matta y Cuevas desde el día 27 de noviembre al día 1 de diciembre del 2014.

La razón de llevar a cabo la encuesta radica en la oportunidad observada durante el período de trabajo en terreno para reducir las pérdidas una vez que las causas principales de tiempos perdidos en el proyecto sean identificadas.

De acuerdo a Alarcón (2001) la herramienta debe aplicarse durante cinco días consecutivos donde los capataces deben rellenar un formulario indicando las causas y horas pérdidas de la cuadrilla. El formulario utilizado para la encuesta de detenciones y demoras se encuentra adjunto en el Anexo C.

Los resultados muestran que las horas pérdidas representan un 20,3% en promedio. Si consideramos que en cada frente de trabajo existen dos turnos por día y cada uno trabajaba 10 horas, las horas pérdidas equivalen a 4,06 horas por día en cada frente de trabajo.

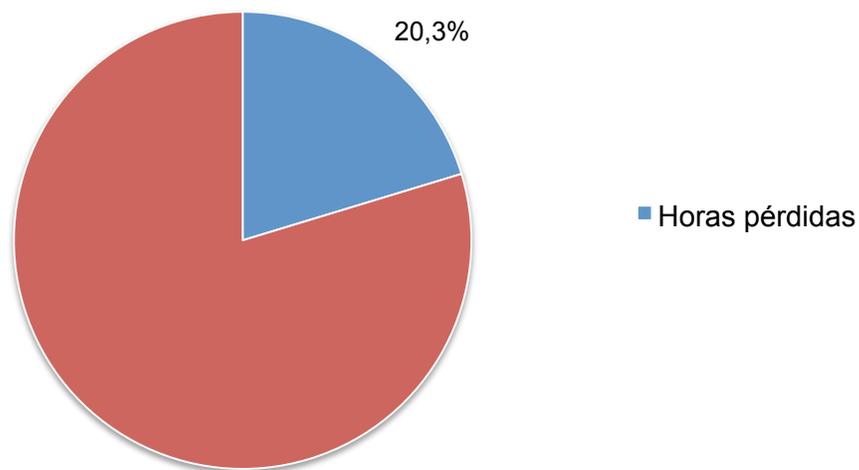


Figura 35: Porcentaje de horas pérdidas en el proyecto

La principal causa de horas pérdidas en el proyecto es la falta de shotcrete cuando es necesario proyectar el sello o sostenimiento en el túnel. La espera de shotcrete representa un 34,9% de las horas pérdidas totales y es una situación constante y frecuente en cada pique del proyecto. Su origen radica en la alta demanda de hormigón por parte de las empresas que participan en la construcción de las nuevas líneas de metro como también en la incapacidad para determinar con exactitud el momento en que es requerido el camión de hormigón en el pique.

La siguiente causa principal de espera identificada es el agotamiento de agua considerando que representa un 29,5% de las horas pérdidas totales. A diferencia de la causa anterior, no es una situación frecuente en cada frente de trabajo dado que depende de las condiciones del terreno de cada túnel. En particular, la situación afecto el trabajo del túnel de la estación Parque Almagro en dirección al norte, donde el avance estuvo detenido prácticamente por tres turnos.

La tercera causa principal es la falta de equipos que representa un 18% de las horas pérdidas totales. La falta de equipos es una situación particular del túnel al oriente del pique Matta y su explicación es que se encontraba en su etapa inicial de construcción.

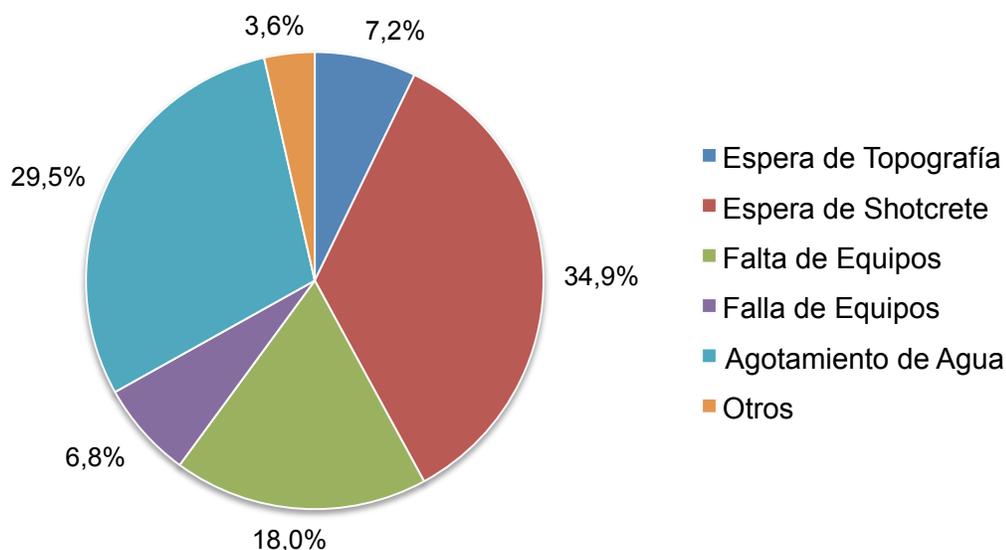


Figura 36: Porcentaje de cada causa respecto el total de horas pérdidas

Causas	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Total
Espera de Topografía	0	0	0	0,3	1,3	1,7
Espera de Shotcrete	0,5	0	0,5	3,0	7,8	11,8
Espera de Laboratorio	0	0	0	0	0	0
Espera de Instrucciones	0	0	0	0	0	0
Falta de Equipos	0	0	0	0	0	0
Falla de Equipos	0	0	0	1,9	0	1,9
Mantenición de Equipos	0	0	0	0	0	0
Agotamiento de Agua	10	19	2,5	0	0	31,5
Inspección del Mandante	0	0	0,5	0	0	0,5
Total	10,5	19	3,5	5,3	9,2	47,4

Tabla 10: Resumen horas pérdidas - Parque Almagro Norte

Causas	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Total
Espera de Topografía	0	1,3	0	0,3	0	1,5
Espera de Shotcrete	2	1,5	1	1	3,1	8,6
Espera de Laboratorio	0	0	0,2	0	0	0,2
Espera de Instrucciones	0	0	0	0	0	0
Falta de Equipos	0	0	1,1	0	0	1,1
Falla de Equipos	0	0	0	0,8	0	0,8
Mantenición de Equipos	0,4	0	0	0	0	0,4
Agotamiento de Agua	0	0	0	0	0	0
Inspección del Mandante	0	0	0,2	0	0	0,2
Total	2,4	2,8	2,5	2,1	3,1	12,8

Tabla 11: Resumen horas pérdidas - Parque Almagro Sur

Causas	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Total
Espera de Topografía	0	0	0	0	0	0
Espera de Shotcrete	0	0	0	0	0	0
Espera de Laboratorio	0	0	0	0	0	0
Espera de Instrucciones	0	0	0	0	0	0
Falta de Equipos	20	0	0	0	0	20
Falla de Equipos	0	0	0	0	0	0
Mantenimiento de Equipos	0	0	0	0	0	0,0
Agotamiento de Agua	0	0	3,5	1	0	4,5
Inspección del Mandante	0	0	0	0	0	0
Total	20	0	3,5	1	0	24,5

Tabla 12: Resumen horas pérdidas - Matta Oriente

Causas	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Total
Espera de Topografía	0	0	0	0	0	0
Espera de Shotcrete	0	1	0	0	1,8	2,8
Espera de Laboratorio	0	0	0	0	0	0
Espera de Instrucciones	1,8	0	0	0	0	1,8
Falta de Equipos	0	0	0	0	0	0
Falla de Equipos	0,2	2,3	0	0	0	2,4
Mantenimiento de Equipos	0	0	0	0	0	0
Agotamiento de Agua	0	0	0	0	0	0
Inspección del Mandante	0	0	0	0	0	0
Total	1,9	3,3	0	0	1,8	6,9

Tabla 13: Resumen horas pérdidas - Matta Poniente

Causas	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Total
Espera de Topografía	0	0	0,9	0	1	1,9
Espera de Shotcrete	0,5	1,2	0,3	1,3	1,2	4,5
Espera de Laboratorio	0	0	0	0	0	0
Espera de Instrucciones	0	0	0	0	0	0
Falta de Equipos	0	0,8	0	0	0	0,8
Falla de Equipos	1,8	0	0	0	0	1,8
Mantenimiento de Equipos	0,3	0	0	0	0	0,3
Agotamiento de Agua	0	0	0	0	0	0
Inspección del Mandante	0	0	0	0	0	0
Total	2,6	2	1,3	1,3	2,2	9,3

Tabla 14: Resumen horas pérdidas - Cuevas Oriente

Causas	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Total
Espera de Topografía	0	0,8	0	0,6	2,3	3,7
Espera de Shotcrete	4,2	5,0	1,2	1	3,5	14,8
Espera de Laboratorio	0	0	0	0	0	0
Espera de Instrucciones	0	0	0	0	0	0
Falta de Equipos	0	0	0	0	0	0
Falla de Equipos	0,6	0,8	0	0	0	1,3
Mantenimiento de Equipos	0,7	0,3	0	0	0	1
Agotamiento de Agua	0	0	0	0	0	0
Inspección del Mandante	0	0	0	0	0	0
Total	5,4	6,9	1,2	1,6	5,7	20,8

Tabla 15: Resumen horas pérdidas - Cuevas Poniente

6 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Esta investigación ha propuesto una metodología para identificar y cuantificar el retrabajo en terreno en la industria de la construcción chilena, y puede ser utilizada como una metodología estándar para la industria en una investigación de mayor extensión que involucre numerosos proyectos de ingeniería.

Un caso de estudio fue utilizado para verificar la metodología e ilustrar los resultados de su aplicación.

6.1 Metodología propuesta

En la investigación se estableció una definición clara de retrabajo en terreno, un indicador sencillo para cuantificar el retrabajo en terreno, una clasificación detallada de causas de retrabajo en terreno y una alternativa para causas múltiples, y una metodología simple de recolección de datos de retrabajo en terreno junto a un formulario de incidentes de retrabajo.

La definición de retrabajo es la única diferencia entre la metodología propuesta y la metodología de Fayek et al. (2003). Al adoptar la definición de la Construction Industry Institute (2001) se considera una de las causas principales de retrabajo en terreno, los cambios por parte del mandante.

La metodología propuesta utilizada en el caso de estudio demostró ser una excelente herramienta para la industria al ser simple y eficiente, pero requiere de un compromiso por parte de las empresas para su aplicación.

Otro aspecto importante es que existe cierta ambigüedad al momento de clasificar un incidente de retrabajo, por lo que se recomienda tener acceso a la información necesaria y consultar a todas las partes involucradas antes de clasificar el incidente.

6.2 Resultados de retrabajo

Teniendo en cuenta la duración de la investigación y la cantidad de piques estudiados con respecto a la duración y extensión real del caso de estudio, los resultados de retrabajo no deben ser considerados concluyentes o como indicios del resultado final del proyecto. Los resultados obtenidos representan la etapa y características del proyecto, cuando y donde se realizó la recolección de datos de retrabajo en terreno.

6.2.1 Índice de retrabajo

El retrabajo en terreno presente en el caso de estudio corresponde al 5,5% de los costos de la etapa de construcción.

La estimación de los costos de retrabajo para el proyecto podría aumentar en caso de existir incidentes de retrabajo que sean clasificados en las causas de “cambios por parte del mandante” o “errores u omisiones en la ingeniería”, las cuales son las causas con el mayor impacto económico en los proyectos y que no fueron observadas durante la etapa de recolección de datos.

6.2.2 Causas principales de retrabajo

La principal causa de retrabajo en terreno corresponde a “problemas constructivos” con un 85,7% de los costos totales de retrabajo, mientras que “habilidades insuficientes” es la segunda con un 9,4%.

Aún cuando las causas principales de retrabajo en el proyecto pudiesen variar respecto a los resultados obtenidos, la causa “problemas constructivos” debiese estar en los primeros lugares de acuerdo a lo observado y las condiciones bajo las cuales se desarrolla este tipo de proyectos.

6.3 Resultados de detenciones y demoras

Los resultados de la encuesta muestran que las horas pérdidas representan un 20,3% en promedio.

Las dos principales causas de detenciones y demoras en el caso de estudio son la espera de shotcrete o el agotamiento de agua, las cuales deben ser analizadas por la empresa de tal manera de reducir las pérdidas.

Además, existe una oportunidad en las causas de menor impacto cuyo origen es interno en la empresa, como es el caso de la espera de topografía o espera de laboratorio, donde las soluciones no son complejas y la eliminación de estos tiempos perdidos mejorarían los rendimientos de avance.

Otra causa importante que no fue observada durante la encuesta es la acumulación de marina en el túnel, la cual es menos frecuente pero tiene un impacto importante al paralizar la frente de trabajo por un tiempo prolongado.

6.4 Recomendaciones

Aún cuando se cumplen los objetivos de la investigación, el valor del trabajo realizado radica en la utilización de la metodología propuesta por parte de la industria de la construcción, de manera de crear una base de datos con índices y causas principales de retrabajo en terreno para luego utilizar estrategias de prevención.

La invitación es a implementar la metodología propuesta al inicio de la etapa de construcción del proyecto. Al requerir la identificación y cuantificación del retrabajo en terreno en los contratos, su implementación no es solo una opción, sino una obligación.

Futuras investigaciones deben proponer una metodología que permita determinar los costos indirectos del retrabajo en terreno y el impacto del retrabajo en el aumento de plazos del proyecto.

Además, es recomendable complementar la metodología utilizando la propuesta de Love (2002) para determinar la influencia de las características a nivel de dirección de proyecto en el retrabajo en terreno.

BIBLIOGRAFÍA

Abdul-Rahman, H. (1995). "The cost of non-conformance during a highway project: A case study." *Construction Management and Economics*, 13(1), 23-32.

Alarcón, L. (2001). "Identificación y reducción de pérdidas en la construcción: Herramientas y procedimientos." Centro de Excelencia en Gestión de Producción, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Ashford, J.L. (1992). "The management of quality in construction." E & F Spon, London.

Barber, P., Sheath, D., Tomkins, C., and Graves, A. (2000). "Quality failure costs in civil engineering projects." *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17(4/5), 479-492.

Burati, J.L., Farrington, J.J., and Ledbetter, W.B. (1992). "Causes of quality deviations in design and construction." *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(1), 34-49.

Cámara Chilena de la Construcción. (2014). "Informe MACH" <<http://www.cchc.cl/wp-content/uploads/2014/12/MACH-41.pdf>>

Construction Industry Development Agency. (1995). "Measuring up or muddling through: Best practice in the Australian non-residential construction industry." Construction Industry Development Agency and Master Builders Australia, Sydney, Australia, 59-63.

Construction Industry Institute (CII). (2001). "The field rework index: Early warning for field rework and cost growth." RS 153-1 (May), The University of Texas, Austin, Texas.

Construction Industry Institute (CII). (2005). "Making zero rework a reality." RS 203-1 (Nov.), The University of Texas, Austin, Texas.

Construction Owners Association of Alberta. (2001). Meeting Minutes, September 28, 2001.

Construction Owners Association of Alberta. (2002). "Project Rework Reduction Tool (PRRT)." <<http://www.coaa.ab.ca/costreduction/prrt>>.

Davis, K., Ledbetter, W.B., and Burati, J.L. (1989). "Measuring design and construction quality costs." *Journal of Construction Engineering and Management*, 115(3), 385-400.

Fayek, A.R., Dissanayake, M., and Campero, O. (2003). "Measuring and classifying construction field rework: A pilot study." Construction Owners Association of Alberta, Alberta, Canada.

Fayek, A.R., Dissanayake, M., and Campero, O. (2004). "Developing a standard methodology for measuring and classifying construction field rework." *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1077-1089.

Hwang, B-G., Thomas, S., Haas, C. and Caldas, C. (2009). "Measuring the impact of rework on construction cost performance." *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(3), 187-198.

Josephson, P.E., and Hammarlund, Y. (1999). "The causes and costs of defects in construction. A study of seven building projects." *Automation in Construction*, 8(6), 681-687.

Love, P.E.D. (2002). "Influence of project type and procurement method on rework costs in building construction projects." *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(1), 18-29.

Love, P.E.D, and Edwards, D. (2004). "Determinants of rework in building construction projects." *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management*, 11(4), 259-274.

Love, P.E.D, and Li, H. (2000). "Quantifying the causes and costs of rework in construction." *Construction Management and Economics*, 18(4), 479-490.

Love, P.E.D., Li, H., and Irani, Z. (2000b). "Construction rework: the multiplier effect in practice." *5th Int. Conf. on ISO 9000 & TQM School of Business*, HK Baptist Univ. & Productivity & Quality Research Centre, National University of Singapore, Singapore, 435-439.

Love, P.E.D., Wyatt, A.D., and Mohamed, S. (1997). "Understanding rework in construction." *Construction Process Re-engineering*, Griffith University, Australia, 14-15(July), 269-278.

Love, P.E.D., Edwards, D.J., Smith, J. and Walker, D.H.T. (2009). "Divergence or congruence? A path model of rework for building and civil engineering projects." *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 23(6), 480-488.

Love, P.E.D., Edwards, D.J., Watson, H. and Davis, P. (2010) "Rework in civil infrastructure projects: determination of cost predictors." *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(3), 275-282.

Love, P.E.D., Mandal, P., Smith, J., and Li, H. (2000a). "Modeling the dynamics of design error induced rework in construction projects." *Construction Management and Economics*, 18(5), 567-574.

Metro S.A. (2012). "DIA Línea 3 - Etapa 1: piques y galerías." <<http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=7016582>>.

Metro S.A. (2013) "EIA Línea 3 - Etapa 2: túneles, estaciones, talleres y cocheras."
<<http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=8290840>>.

Rogge, D.F., Cogliser, C., Alaman, H., and McCormack, S. (2001). "RR153-11 An investigation of field rework in industrial construction." Construction Industry Institute.

ANEXOS

ANEXO A: Clasificación de causas (Fayek et al. 2003)

SECTION 1 - Engineering & Reviews	
A. Late Design Changes	
A1	Insufficient time between engineering and construction activities
A2	Incomplete Client design review
A3	Inadequate constructability reviews
A4	Inadequate execution plan
A5	Process and instrumentation drawings are incomplete
A6	Drawings not issued for construction (incomplete)
A7	Drawings not issued for construction (in review)
A8	Drawings not issued for construction (revisions required)
A9	Document presentation of poor quality (missing details)
A10	Document presentation of poor quality (missing drawings)
A11	Scope changes
A12	Errors & Omissions
A13	Late Owner input
B. Poor Document Control	
B1	Inadequate Revision Control
B2	Document delivery delay
B3	Improper drawing log
B4	Incorrect numbering on drawings
B5	Incorrect work package numbering/contents
B6	Inadequate vendor data control

B7	Inadequate or insufficient resources for document control
B8	Inconsistent treatment/comments on vendor drawings
B9	Inconsistent/conflicting numbering on alliance jobs
B10	Request for Information (RFI's) not responded to in a timely fashion
B11	Incorrect distribution of documents
B12	Drawings not available
B13	Lack of internal document tracking
C. Scope Changes	
C1	Process tinkering (fine tuning of end product)
C2	Client scope changes
C3	Bad process assumptions
C4	Client operating changes
C5	Inadequate design change control
C6	Scope gaps between Contractors/Client
C7	Utilities, off-sites, and site integration
C8	Technology changes
C9	Unknown conditions (undergrounds, field checks)
C10	Licenser changes
C11	Incorrect initial vendor data
C12	Specification changes
C13	Inadequate prototype design
C14	Constructability issues

C15	Request by Fabricator/Supplier
D. Errors & Omissions	
D1	Inadequate discipline coordination
D2	PM deviates from process
D3	Inadequate field verification by designer
D4	Changes in personnel (small project)
D5	High turnover (resulting in quality issues)
D6	Conflicting project demands
D7	High work load taxing capability
D8	Lack of skills
D9	Incomplete engineering
D10	Complex specifications
D11	Consistency not ensured before Issued For Construction (IFC)
D12	Original design/specification was incorrect
D13	As-built error (for retrofit)
D14	As-built error (for interface)
D15	Lack of attention to (critical) details
D16	Insufficient details
D17	Inexperience
D18	Poor assumption during the design

SECTION 2 - Construction Planning & Scheduling	
A. Late Designer Input	
A1	Incomplete Client design review
A2	Technology advancements
A3	Inadequate constructability reviews
A4	Inadequate execution plan
A5	Drawings not issued for construction (incomplete)
A6	Drawings not issued for construction (in review)
A7	Drawings not issued for construction (revisions required)
A8	Schedule - not enough float to accommodate change
A9	Errors & Omissions
A10	Scope Changes
B. Constructability Problems	
B1	Safety issues
B2	Access to work location
B3	Non-conformance (quality) problems
B4	Trade interferences
B5	Structural interferences
B6	Drawings vs. field construction issues
B7	Technology changes
B8	Poor assumptions during design
B9	Unforeseen ground/site conditions

B10	Adverse weather conditions
B11	Unexpected environmental concerns
B12	Working environment
C. Unrealistic Schedules	
C1	Resources used in schedule do not reflect that of actual construction
C2	Budget used in schedule does not reflect that of actual construction
C3	Suppliers/Fabricators not meeting milestones
C4	Sub-trades not meeting milestones
C5	Unforeseen ground/site conditions
C6	Unexpected environmental concerns
C7	Separation between engineering and construction
C8	Unrealistic production factors used
C9	Schedule developed before scope fully defined
C10	Adverse weather conditions
C11	Working environment
C12	Out-of-sequence work
C13	Schedule not up-to-date
D. Insufficient Turnover & Commissioning Resourcing	
D1	Lack of site visits by operations
D2	Lack of site visits by design engineer
D3	Lack of site visits by owner
D4	Poor definition of project scope and schedule

D5	Poor understanding of project scope and schedule
D6	Lack of owner involvement in early stage of the project
D7	Untimely start date
D8	Unrealistic schedule constraints
D9	Inadequate input from owner or representative
D10	Inadequate input from operations
D11	Process tinkering (fine tuning of end product)
D12	Poor coordination between contractors
D13	Inadequate quality assurance / quality control availability
D14	Poor design assumptions
D15	Implementing new technology - Do not know what is expected
D16	Implementing new technology - Does not work as expected
D17	Inadequate experience with commissioning – owner
D18	Inadequate experience with commissioning – contractor
D19	Unforeseen conditions / circumstances

SECTION 3 - Leadership & Communications	
A. Ineffective Management of Project Team	
A1	Poor role definition of key players for authority & responsibility
A2	Frequent structure changes within key team groups
A3	Frequent personnel changes within key team groups
A4	Lack of a sense of ownership within the team

A5	Inadequate project reviews
A6	Inadequate instructions
A7	Inadequate quality systems/audits
A8	Lack of management tools
B. Lack of Operations (End User) Persons Buy-in	
B1	Lack of client involvement at all stages
B2	Client's PM adopted as 'gatekeeper' to scope change
B3	Lack of dedicated, consistent process personnel/team
B4	Lack of authority/initiative of operators to make decisions
B5	Plan not integrated
C. Lack of Safety and QA/QC Commitment	
C1	Poor definition and communication of project goals
C2	Poor measures & incentive plans
C3	Unclear contract/technical documents
C4	Misalignment of expectations between Contractor and Owner
C5	Misalignment of expectations between Supplier/Contractor
C6	Misalignment of expectations between Contractor and Subcontractor
D. Poor Communications	
D1	Interpersonal difficulties
D2	Barriers to effective communication
D3	Lack of problem solving skills
D4	Lack of standard communication procedures

SECTION 4 - Material & Equipment Supply	
A. Untimely Deliveries	
A1	Poor material handling strategy
A2	Lost material/equipment and documents
A3	Error made in method of transportation
A4	Delay in order/inspection
A5	Inadequate specification
A6	Schedule compression
A7	Safety concerns
B. Prefabrication and Construction Not to Project Requirements	
B1	Lack of specifications
B2	Lack of inspection
B3	Special techniques or materials not utilized
B4	Wrong material/equipment
B5	Not-shop tested
B6	Schedule compression
B7	Poor workmanship of the prefab material
B8	Inadequate material/equipment protection for delivery
C. Non-compliance with Specification	
C1	Inadequate vendor quality plans
C2	Inadequate quantity of material
C3	Complex and/or tight specifications

C4	Wrong material/equipment
C5	Lack of experience with material
C6	Poor workmanship of the supplied material/equipment
D. Materials Not in Right Place When Needed	
D1	Poor material/equipment handling strategy
D2	Lost material/equipment and documents
D3	Error made in method of transportation
D4	Delay in order/inspection
D5	Inadequate specification
D6	Schedule compression
D7	Safety concerns
D8	Lack of standard communication procedures

SECTION 5 - Human Resource Capability	
A. Unclear Instructions to Workers	
A1	Poor imperative drawings/information
A2	Untimely communication
A3	Misunderstanding of information transferred to individuals
A4	Lack of monitoring of the understanding of transferred information
A5	Inadequate team work
A6	Lack of feedback on clarification of instructions/documentation
A7	Poor information transfer techniques

A8	Lack of clarity of project documentation
A9	Lack of clarity of instructions
A10	Language barrier for technical information
A11	Workers' poor understanding level
B. Inadequate Supervision & Job Planning	
B1	Insufficient leadership talent
B2	Lack of training & experience
B3	Lack of leadership and experience in job planning
B4	Inadequate technical knowledge
B5	Poor information flow
B6	Inadequate Supervisor/Foreman/Tradesmen ratios
B7	Lack of skill development opportunities
B8	Shortage of skilled supervision
B9	Shortage of skilled labour
B10	Excessive labour absenteeism
B11	Excessive labour turnover
B12	Inadequate Field Verification by Contractor
C. Excessive Overtime	
C1	For recovery or advancement
C2	Compressed schedule
C3	Lack of resources
C4	Lack of information

C5	Adverse weather conditions
C6	Design changes
C7	Lack of material
C8	Insufficient manpower
C9	Congestion
C10	Working conditions
D. Insufficient Skill Levels	
D1	Lack of skill development opportunities
D2	Shortage of skilled supervision
D3	Shortage of skilled labour
D4	Excessive labour absenteeism
D5	Excessive labour turnover
D6	Lack of leadership & communication skills
D7	Lack of mentoring & team skill talent transfer
D8	Lack of ongoing training
D9	Restrictive (name hiring) practices
D10	Language barriers
D11	Shortage of experienced workers
D12	Inadequate Journeyman to Apprentice Ratios
D13	Lack of adherence to procedures

ANEXO B: Formulario de incidentes de retrabajo

	FORMULARIO DE INCIDENTE DE RETRABAJO		SISTEMA DE CALIDAD				
Código Centro 1EU	Nombre del Centro CONSTRUCCIÓN DE OO.CC. DE PIQUES, GALERIAS Y TÚNELES TRAMO 4 - LÍNEA 3 - METRO DE SANTIAGO		Ed. : 2.0 Página : 01 de 02				
INFORMACIÓN GENERAL							
Pique	<input type="checkbox"/> Almagro <input type="checkbox"/> Copiapó <input type="checkbox"/> Matta	Frente	<input type="checkbox"/> Norte <input type="checkbox"/> Sur <input type="checkbox"/> Oriente <input type="checkbox"/> Poniente	Etapa	<input type="checkbox"/> Bóveda <input type="checkbox"/> Contrabóveda <input type="checkbox"/> Contrab. Falsa	Fecha _____ Turno	<input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B
ACTIVIDADES							
<input type="checkbox"/> Excavación <input type="checkbox"/> Topografía <input type="checkbox"/> Sello	<input type="checkbox"/> Mallas HP1 <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Topografía <input type="checkbox"/> Enfierradura <input type="checkbox"/> Shotcrete HP1	<input type="checkbox"/> Mallas HP2 <input type="checkbox"/> Shotcrete HP2	<input type="checkbox"/> Agotamiento de agua				
CAUSAS DE RETRABAJO							
1 Mandante							
1.1	Cambios por parte del mandante			<input type="checkbox"/>			
2 Ingeniería							
2.1	Cambios en la ingeniería tardíos			<input type="checkbox"/>			
2.2	Bajo control de documentos			<input type="checkbox"/>			
2.3	Cambios de alcance			<input type="checkbox"/>			
2.4	Errores y omisiones			<input type="checkbox"/>			
3 Construcción							
3.1	Inputs de ingeniería tardíos			<input type="checkbox"/>			
3.2	Problemas constructivos			<input type="checkbox"/>			
3.3	Planificación poco realista			<input type="checkbox"/>			
3.4	Falta de visitas a terreno e ineficiente administración de recursos			<input type="checkbox"/>			
4 Liderazgo y Comunicación							
4.1	Administración poco efectiva			<input type="checkbox"/>			
4.2	Falta de participación del mandante			<input type="checkbox"/>			
4.3	Falta de compromiso en seguridad y AC/CC			<input type="checkbox"/>			
4.4	Bajo nivel de comunicación			<input type="checkbox"/>			
5 Suministro de Materiales y Equipos							
5.1	Atrasos en las entregas			<input type="checkbox"/>			
5.2	Pefabricados sin los requerimientos del proyecto			<input type="checkbox"/>			
5.3	Incumplimiento de especificaciones			<input type="checkbox"/>			
5.4	Materiales ubicados en lugar incorrecto cuando se necesitan			<input type="checkbox"/>			
6 Competencia de Recursos Humanos							
6.1	Instrucciones poco claras a trabajadores			<input type="checkbox"/>			
6.2	Supervisión inadecuada			<input type="checkbox"/>			
6.3	Exceso de horas extras			<input type="checkbox"/>			
6.4	Habilidades insuficientes			<input type="checkbox"/>			

Código Centro
1EU

Nombre del Centro
CONSTRUCCIÓN DE OO.CC. DE PIQUES, GALERIAS Y TÚNELES
TRAMO 4 - LÍNEA 3 - METRO DE SANTIAGO

Ed. : 2.0
Página : 02 de 02

COSTOS DE RETRABAJO

1 Recursos Humanos

1.1	Capataz	_____	HH
1.2	Operador	_____	HH
1.3	Minero 1º	_____	HH
1.4	Ayudante	_____	HH
1.5	_____	_____	HH
1.6	_____	_____	HH
1.7	_____	_____	HH

2 Materiales

2.1	Hormigón	_____	m3
2.2	_____	_____	
2.3	_____	_____	

3 Equipos

3.1	_____	_____	
3.2	_____	_____	

4 Subcontratos

4.1	_____	_____	
-----	-------	-------	--

5 Proveedores

5.1	_____	_____	
-----	-------	-------	--

COMENTARIOS

ANEXO C: Formulario de detenciones y demoras

Código Centro 1EU	Nombre del Centro CONSTRUCCIÓN DE OO.CC. DE PIQUES, GALERIAS Y TÚNELES TRAMO 4 - LÍNEA 3 - METRO DE SANTIAGO	Ed. : 1.0 Página : 01 de 02
-----------------------------	---	--

INFORMACIÓN GENERAL

Pique	<input type="checkbox"/>	Almagro	Frente	<input type="checkbox"/>	Norte	Fecha	_____
	<input type="checkbox"/>	Matta		<input type="checkbox"/>	Sur	Turno	<input type="checkbox"/> A
	<input type="checkbox"/>	Cuevas		<input type="checkbox"/>	Oriente		<input type="checkbox"/> B
				<input type="checkbox"/>	Poniente		

DETENCIONES Y DEMORAS

1	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin
	Comentarios		
2	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin
	Comentarios		
3	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin
	Comentarios		
4	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin
	Comentarios		
5	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin
	Comentarios		

Código Centro
1EU

Nombre del Centro
CONSTRUCCIÓN DE OO.CC. DE PIQUES, GALERIAS Y TÚNELES
TRAMO 4 - LÍNEA 3 - METRO DE SANTIAGO

Ed. : 1.0
Página : 02 de 02

DETENCIONES Y DEMORAS

6	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin

	Comentarios		
7	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin

	Comentarios		
8	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin

	Comentarios		
9	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin

	Comentarios		
#	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin

	Comentarios		
#	_____	_____	_____
	Causa	Hora Inicio	Hora Fin

	Comentarios		