



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS
CANALES Y PUERTOS**

MASTER UNIVERSITARIO EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN EN INGENIERÍA CIVIL

**GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA
NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN
DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ**

AUTOR / AUTHOR: ALEJANDRO VILCAPOMA LA ROSA	FECHA / DATE: FEBRERO 2019
DIRECTOR / SUPERVISOR: DR. VICTOR YEPES PIQUERAS	Nº PÁGINAS / N° PAGES: 150
UNIVERSIDAD / UNIVERSITY: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	
PALABRAS CLAVE / KEYWORDS: TÚNELES, METROS, GESTIÓN, RIESGOS, ISO, DELPHI	

INDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
RESUM	8
CAPÍTULO 1	13
1. INTRODUCCION	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	15
1.3. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.3.1 ALCANCE	16
1.3.2 OBJETO	16
1.3.3 OBJETIVOS	16
1.3.4 HIPOTESIS	17
1.4. DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	17
1.5. CONTENIDO DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER	18
CAPÍTULO 2	20
2. DIAGNÓSTICO DEL ENTORNO DEL PERÚ	21
2.1. ENTORNO SOCIAL DEL PERÚ	21
2.1.1 POBLACIÓN EN EL PERÚ	21
2.1.2 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL PERÚ	22
2.1.3 COMPARACIÓN POBLACIONAL ENTRE PERÚ Y LATINOAMÉRICA	23
2.2. ENTORNO ECONÓMICO DEL PERÚ	24
2.2.1 PRODUCTO BRUTO INTERNO DEL PERÚ	26
2.2.2 DESEMPEÑO ECONÓMICO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN	28
2.3. ENTORNO FÍSICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS EN PERÚ	30
2.3.1. BRECHA EN INFRAESTRUCTURA	30
2.3.2. PLAN DE INFRAESTRUCTURA AL 2025	31
2.4. LOS SISTEMAS DE METRO EN PERÚ	35
2.4.1. RESEÑA HISTÓRICA DEL SISTEMA DE METRO EN LIMA	36
2.4.2. PLAN DE DESARROLLO DEL SISTEMA DE METRO EN LIMA	37
CAPÍTULO 3	39
3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	40
3.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES	40
3.1.1. RESEÑA HISTORICA	40



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

3.1.2.	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE TÚNELES	42
3.1.2.1	Geometría del Túnel	42
3.1.2.2	Consideraciones del terreno	42
3.1.2.3	Consideraciones estructurales.....	43
3.1.3.	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.....	43
3.1.3.1	Sistema constructivo a cielo abierto (Cut and Cover).....	44
3.1.3.2	Sistemas constructivos Subterráneos a sección completa.....	45
3.1.3.3	Sistemas constructivos Subterráneos a sección parcial.....	51
3.2.	GESTION DE RIESGOS	54
3.2.1	ANTECEDENTES.....	54
3.2.2	DEFINICIONES	54
3.2.2.1	Gestión	54
3.2.2.2	Proyecto	55
3.2.2.3	Gestión de Proyectos	55
3.2.2.4	Ciclo de Vida de un Proyecto.....	55
3.2.2.5	Incertidumbre.....	56
3.2.2.6	Riesgo	56
3.2.2.7	Gestión del Riesgo	56
3.2.3	TIPOLOGÍA DE LOS RIESGOS	56
3.2.3.1	Riesgos conocidos.....	57
3.2.3.2	Riesgos desconocidos.....	57
3.2.4	GESTIÓN DE RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN	57
3.2.4.1	Clasificación	58
3.2.4.2	Gestión de Riesgo durante el Ciclo de Vida de la Obra	60
3.2.5	GESTION DE RIESGOS SEGÚN LA NORMA ISO 31000.....	62
3.3.5.1	Los Principios	63
3.3.5.2	El Marco de Referencia	64
3.3.5.3	El Proceso	65
3.3.	METODO DELPHI	66
3.3.1	ANTECEDENTES.....	66
3.3.2	OBJETIVOS	67
3.3.3	CARACTERISTICAS	67
3.3.3.1	Anonimato	67
3.3.3.2	Iteración.....	67
3.3.3.3	Retroalimentación controlada	67



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

3.3.3.4	Estadística global de respuestas grupales.....	68
3.3.4	VENTAJAS	68
3.3.5	LINEAMIENTOS PARA IMPLEMENTAR EL METODO	69
CAPÍTULO 4.....		70
4.	METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	71
4.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	71
4.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	71
4.2.1.	FASE TEÓRICA	72
4.2.2.	FASE DE VALIDACIÓN.....	72
4.3.	MÉTODO DELPHI.....	73
4.3.1.	DEFINICIÓN DE OBJETIVOS	74
4.3.2.	PANEL DE EXPERTOS Y CUESTIONARIO	74
4.3.2.1	Panel de Expertos	74
4.3.2.2	Cuestionario	76
4.3.3.	PRIMERA RONDA	77
4.3.3.1	Cuestionario de la Primera Ronda.....	77
4.3.3.2	Resultados y Análisis Estadísticos de la Primera Ronda	81
4.3.3.3	Fiabilidad de los Resultados	82
4.3.4.	SEGUNDA RONDA	83
4.3.4.1	Cuestionario de la Segunda Ronda	83
4.3.4.2	Resultados y Análisis Estadísticos de la Segunda Ronda	84
4.3.4.3	Fiabilidad de los Resultados	85
4.3.5.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	86
4.3.5.1	Medida del Consenso	86
4.3.5.2	Interpretación de los Resultados.....	88
CAPÍTULO 5.....		103
5.	DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
5.1.	DISCUSION DE RESULTADOS.....	104
5.1.1.	RESPECTO AL MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	104
5.1.2.	RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DE LOS EXPERTOS	105
5.1.3.	RESPECTO A LOS FACTORES DE RIESGO.....	106
5.1.4.	RESPECTO A LA ESTRUCTURA DE GESTIÓN DE RIESGOS SEGÚN ISO 31000	109
5.2.	CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACION	112
5.3.	RECOMENDACIONES.....	114



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

5.4.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	115
CAPÍTULO 6.....		116
6.	REFERENCIAS.....	117
CAPÍTULO 7.....		121
7.	ANEXOS.....	122
7.1.	ANEXO 1: LISTA DE TABLAS.....	122
7.2.	ANEXO 2: LISTA DE FIGURAS.....	123
7.3.	ANEXO 3: LISTA DE GRÁFICOS.....	123
7.4.	ANEXO 4: MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.....	124
7.5.	ANEXO 5: CUESTIONARIO DELPHI RONDA 1.....	125
7.6.	ANEXO 6: ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS DE LA RONDA 1.....	130
7.7.	ANEXO 7: CUESTIONARIO DELPHI RONDA 2.....	138
7.8.	ANEXO 8: ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS DE LA RONDA 2.....	143



CAPÍTULO 1

INTRODUCCION



1. INTRODUCCION

En algunas ciudades alrededor del mundo la población crece exponencialmente y de forma desordenada, algunas urbes solucionan sus problemas de transporte con obras de infraestructura con montos de inversión elevados y que en ocasiones no cumplen con el plazo previsto y las expectativas de la población; este es el caso de los sistemas masivos de transporte como son los metros, tranvías o BRT (sus siglas en inglés *Bus Rapid Transit*), sistema de autobuses de transito rápido.

El trabajo de investigación se enfoca en los riesgos asociados durante la fase de construcción de túneles para sistemas de transporte masivo en el Perú y cómo gestionarlos; principalmente para la ciudad de Lima que cuenta con un plan a largo plazo para la implementación de este tipo de sistemas, y en donde los montos de inversión son una de las variables más importantes a tener en cuenta por el gobierno.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En ciudades donde habita un elevado porcentaje de la población cada vez se hace necesaria la planificación y construcción de sistemas de transportes seguros, eficientes y sostenibles; que busquen mejorar la calidad del transporte y al mismo tiempo incrementen la productividad de la región.

Por otro lado, la mejora de los sistemas de transporte es un proceso que debe ser sostenido en el tiempo, con suficientes recursos financieros y de control, capacidad técnica y un fuerte liderazgo por parte del sector público, que se transmita al sector privado y a la opinión pública (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017).

Una alternativa que se ha tomado en cuenta en los últimos años para solucionar el problema del transporte público en las ciudades, es el uso de sistemas masivos de transporte, como son los metros. Estructuras cuya construcción supone una elevada inversión para las entidades públicas; motivo por el cual, las empresas contratistas que se adjudican estas obras deben evaluar los riesgos que implican su ejecución y las medidas necesarias que deben tomarse para mitigar posibles efectos negativos.

El alto grado de incertidumbre que existe en obras subterráneas sumado a la gran cantidad de proyectos que no culminan en el plazo acordado y con el presupuesto que fue adjudicado, requieren un análisis detallado desde la etapa inicial de la fase de construcción, en donde puedan identificarse y evaluarse las principales contingencias que podrían presentarse y cuáles deberían ser las medidas correctivas que se tomen para cada una de estas situaciones.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Un estimado del 75% de proyectos ferroviarios urbanos finalizan sus obras con un sobrecosto de al menos 33% más, respecto al presupuesto adjudicado y una cantidad inicial de usuarios que en promedio es 51% menos de las estimaciones del estudio de demanda inicial (World Bank Group, 2018).

Por otro lado, Perú cuenta con una economía que ha crecido en los últimos 15 años a una tasa promedio anual del 5%, debido principalmente a la producción de materias primas y al alto precio internacional de los minerales. Mientras que su capital, Lima, ha crecido de forma desordenada en los últimos 50 años; por un lado cuenta con cerca de 9 millones y medio de habitantes, lo que representa el 32% de la población total del país; y por otro, su sistema de transporte ha decrecido en calidad a lo largo de los años. Por lo que recientes inversiones se han centrado en la construcción de nuevas infraestructuras viales y ferroviarias; los casos más recientes son las líneas de metro que forman parte de la Red Básica del metro de Lima y que fue aprobada en el año 2010.

El problema que se presenta es, cómo gestionar los riesgos que aparecen durante la fase de construcción de túneles para futuras líneas de metro en la ciudad de Lima, Perú.

1.2. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

La industria de la construcción está sujeta a más riesgos e incertidumbre que cualquier otra industria. El proceso de seleccionar un proyecto desde la evaluación de la inversión inicial hasta su culminación y puesta en marcha es complejo, generalmente hecho a medida y conlleva un desgaste de tiempo en el proceso de diseño y ejecución (Flanagan & Norman, 1993).

La importancia de centrar los esfuerzos en una continua identificación y asignación de los riesgos durante el ciclo de vida nunca es exagerada; la protección de los intereses públicos y al mismo tiempo permitir que los socios privados ganen ingresos razonables de sus inversiones, son esenciales para alcanzar el valor de retorno del dinero (Zou, Wang, & Fang, 2008).

Por ello, la gestión de riesgos es una herramienta que gestiona eficazmente los proyectos a lo largo de todo su ciclo de vida. Proyectos de infraestructura de gran envergadura involucran varios factores de riesgos y la culminación exitosa de aquellos proyectos depende de una gestión eficaz de los factores clave de riesgos (Ghosh & Jintanapakanont, 2004).

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Todas las actividades de una organización involucran un riesgo. Las organizaciones gestionan los riesgos por su identificación, análisis y luego su evaluación; sea que el riesgo debiera ser modificado por algún tratamiento, a fin de satisfacer los criterios de riesgo. En todo este proceso, la organización comunican y consultan con sus clientes internos y externos y hacen el monitoreo y revisión de riesgos y los controles, que son modificados a fin de asegurar que no sean requeridos más tratamientos de riesgos (International Organization for Standardization, 2009).

La propuesta de utilizar la norma ISO 31000 Gestión de Riesgos, como base para realizar la identificación, análisis y evaluación de los riesgos que conlleva la construcción de un túnel para metro, busca convertirse en una herramienta práctica de uso en cualquier proyecto de construcción con características similares a las que se presentan en este trabajo.

1.3. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 ALCANCE

El trabajo de investigación busca verificar los factores de riesgo que afectan la construcción de un túnel para sistemas de metro, teniendo en cuenta las consideraciones propias del contexto del Perú.

A partir de este primer paso, y trabajando con la norma ISO 31000 como referencia, se busca establecer los lineamientos básicos para gestionar los riesgos en la construcción de los futuros túneles para metro en Lima, Perú; y que sean de utilidad para los involucrados en estos proyectos.

1.3.2 OBJETO

El sistema de gestión de riesgos que establece la norma ISO 31000 para la fase de construcción de un túnel para metro en Perú, desde la perspectiva del contratista responsable.

1.3.3 OBJETIVOS

Objetivo principal de la investigación:

Identificar y evaluar los factores de riesgo que afectan la fase de construcción de túneles para sistemas de metro en zonas urbanas de Perú.

Objetivos específicos de la investigación:

Se busca alcanzar los siguientes objetivos secundarios:

- Establecer un marco de referencia y el proceso para la gestión de riesgos en proyectos de túneles para metros, según las especificaciones de la norma ISO 31000.
- Plantear niveles de aceptabilidad para los riesgos identificados.
- Conocer los métodos de construcción de túneles para sistemas de metro.

1.3.4 HIPOTESIS

A través del estudio de los factores de riesgo y de la norma ISO 31000, es posible establecer la adaptación de esta norma a un proyecto de ejecución de túneles para metros en Perú.

1.4. DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

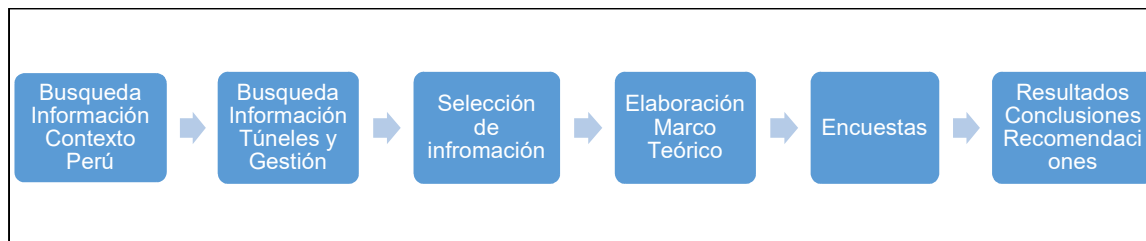
La metodología de la investigación que se ha seguido es la siguiente:

- ✓ Búsqueda de información relacionada al contexto peruano. Datos relevantes como: población, economía, contexto de la construcción e infraestructura (sobre todo túneles)
- ✓ Búsqueda de información relacionada a la construcción de túneles, así como a la gestión de riesgos a través de investigaciones previas, libros, normas, etc.
- ✓ Selección de la información relevante y útil para el desarrollo del presente trabajo.
- ✓ Elaboración del marco teórico y estado actual del trabajo de investigación.
- ✓ Elaboración de una primera lista de factores de riesgo, como parte de la identificación. Y las consideraciones de la norma ISO 31000.
- ✓ Consulta y validación mediante encuestas a un panel de expertos, método Delphi.
- ✓ Resultados obtenidos de las encuestas y conclusiones a las que se ha llegado,

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

- ✓ Recomendaciones para los constructores que realicen las futuras líneas de metro de Lima. Y futuras líneas de investigación.



Metodología de trabajo de investigación (Elaboración propia)

1.5. CONTENIDO DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER

La estructura del trabajo de investigación es la siguiente:

Capítulo 1: Introducción. Este capítulo presenta el planteamiento del problema, la justificación de la investigación, el alcance, el objeto, los objetivos, la hipótesis y la descripción de la metodología que se utilizará en el trabajo.

Capítulo 2: Diagnostico del Entorno del Perú. En este capítulo se hace una explicación del entorno social y económico del Perú; además el estado actual de las infraestructuras y la evolución del sistema de transporte de metro en el país, y las futuras líneas de metros en la ciudad de Lima.

Capítulo 3: Marco Teórico y Estado del Arte. En este capítulo se hace una breve explicación sobre conceptos asociados a túneles y sobre la gestión de riesgos en la construcción.

Capítulo 4: Metodología y Desarrollo de la Investigación. En este capítulo se desarrolla la metodología propuesta para este trabajo, dividiéndose en dos fases: teórica y de validación. Para la segunda fase se recurren a cuestionarios a través del método Delphi, realizado en 2 rondas. La parte final de este capítulo muestra el análisis de los resultados obtenidos.



Capítulo 5: Discusión, Conclusiones y Recomendaciones. En este capítulo se muestran las discusiones y conclusiones a las que se han llegado luego de estudiar el marco teórico y contrastarse con los resultados del estudio Delphi. Asimismo, se plantean recomendaciones para la construcción de las futuras líneas de metro que se ejecutaran en el Perú. Y se proponen futuras líneas de investigación.

Capítulo 6: Referencias. En este capítulo se muestran todas las referencias bibliográficas que se han utilizado en el trabajo de investigación.

Capítulo 7: Anexos. En este capítulo se indican los anexos que componen el trabajo de investigación.



CAPÍTULO 2

DIAGNOSTICO DEL ENTORNO DEL PERÚ

2. DIAGNÓSTICO DEL ENTORNO DEL PERÚ

2.1. ENTORNO SOCIAL DEL PERÚ

Socialmente Perú varía entre departamentos y dentro de cada uno de ellos, siendo algunos factores importantes: el cultural, el idiomático o el poblacional.

En este capítulo se muestran las estadísticas obtenidas de la última medición nacional de la población en el Perú y de cada uno de sus departamentos; siendo el más importante, no sólo por ser la capital política y económica de Perú sino por la cantidad de habitantes, Lima.

Lima se encuentra dividida en dos regiones, Lima provincia y Lima metropolitana. La primera, está compuesta por 9 provincias alrededor de Lima metropolitana y concentran en conjunto cerca de 1 millón de habitantes; la conforman las provincias de Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Huaral, Huarochiri, Huaura, Oyón y Yauyos. Lima metropolitana la conforman 43 distritos y concentra la mayor cantidad de habitantes.

2.1.1 POBLACIÓN EN EL PERÚ

La población total del Perú, de acuerdo al censo realizado en el año 2017 y cuyos resultados están en el documento “Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017”, elaborado por el INEI, es de 31 millones 237 mil 385 habitantes.

La evolución de la población nacional del Perú a lo largo de los años se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1: Población de Perú según censos realizados entre 1940 a 2017

AÑO	POBLACIÓN		
	CENSADA	OMITIDA	TOTAL
1940	6 207 967	815 144	7 023 111
1961	9 906 746	513 611	10 420 357
1972	13 538 208	583 356	14 121 564
1981	17 005 210	757 021	17 762 231
1993	22 048 356	591 087	22 639 443
2007	27 412 157	808 607	28 220 764
2017	29 381 884	1 855 501	31 237 385

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018a)

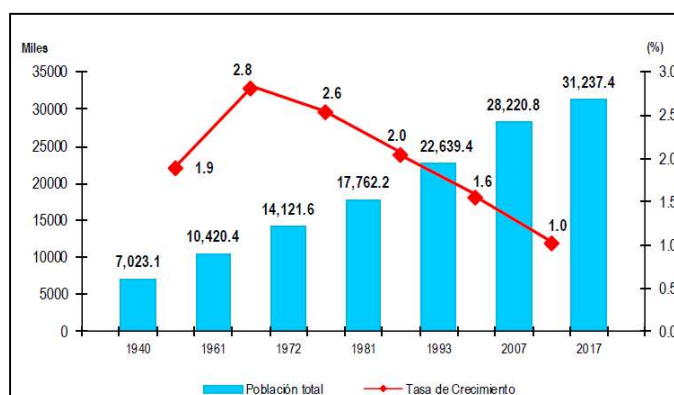
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Como se puede observar, de los datos obtenidos, la población de Perú creció en los últimos 10 años, desde 2007 a 2017, en un 10.7% respecto al año 2007, fecha del último censo; lo que representan 3 millones 16 mil 621 habitantes.

Sin embargo, la tasa de crecimiento poblacional entre cada censo ha ido disminuyendo durante los últimos 56 años, es decir que la velocidad de crecimiento en el Perú ha desacelerado en promedio 2% para cada periodo de censo, con una tendencia lineal decreciente para el próximo censo, tal como se observa en el gráfico 1.

Gráfico 1: Población total y tendencia según censos realizados entre 1940 a 2017



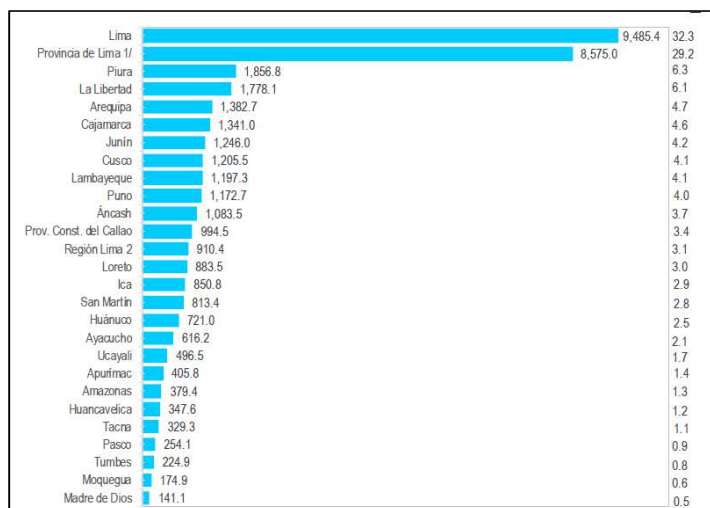
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018a)

2.1.2 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL PERÚ

Geopolíticamente el Perú está dividido en 24 departamentos y 1 provincia constitucional, distribuidos dentro de 1 millón 285 mil 216 km² de superficie.

De estos 24 departamentos y 1 provincia constitucional, Lima es la capital y el departamento que mayor cantidad de habitantes concentra, con 9 millones 485 mil 400 habitantes lo que representa el 32.3% del total de la población peruana. Mientras que el departamento de Madre de Dios, ubicado en la selva peruana, concentra 141 mil habitantes que representa el 0.5% de la población total. La cantidad total por departamentos se muestra en el gráfico 2.

Gráfico 2: Población censada por departamentos en Perú, año 2017

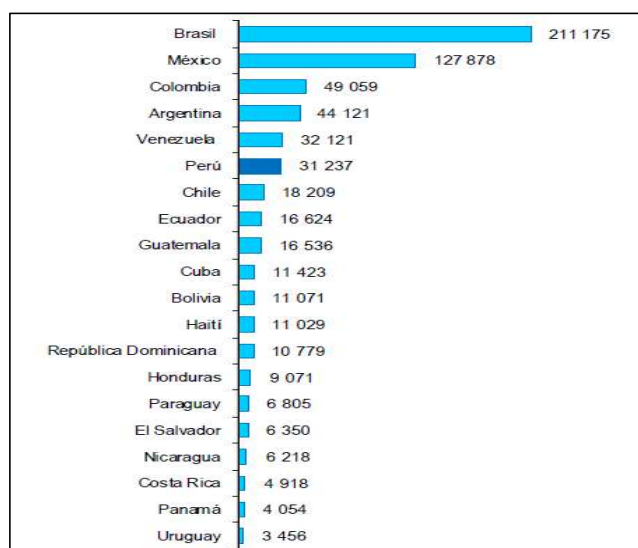


Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018a)

2.1.3 COMPARACIÓN POBLACIONAL ENTRE PERÚ Y LATINOAMÉRICA

Dentro de América Latina, en total son 20 países, Perú se encuentra en el puesto 6 respecto a su cantidad de habitantes, sólo antecedido por Brasil, México, Colombia, Argentina y Venezuela. Siendo los países con menos habitantes Uruguay, Panamá y Costa Rica con menos de 5 millones de habitantes cada uno.

Gráfico 3: Población por países en América Latina al 2017, en miles habitantes



Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018a)

2.2. ENTORNO ECONÓMICO DEL PERÚ

Para entender el contexto económico del Perú en los últimos años, es necesario establecer y conocer el panorama económico mundial y que, en algunos casos hizo que la economía peruana creciera significativamente, principalmente entre los años 2003 al 2013.

A continuación se hace una breve explicación del entorno económico mundial desde el año 2003 basado en el estudio “*Panorama de la Economía peruana 1950 – 2016*” (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017):

- ✓ Entre 2003 – 2006, la económica mundial registró un crecimiento sostenido, con tasas mayores al 4% anual que absorbieron la capacidad instalada excedentaria y generaron indicios de presión inflacionaria, en tanto que la mayor demanda de petróleo y materia prima (especialmente los metales), hizo que sus precios llegaran a niveles sin precedentes.
- ✓ Durante el 2006 la economía mundial creció 5.5% con un riesgo que un fenómeno ininterrumpido del mercado de la vivienda en las economías avanzadas debilita la posición económica de los hogares y la demanda agregada.
- ✓ A mediados de 2007, la turbulencia crediticia originada en el mercado hipotecario de Estados Unidos se desbordó y desató una crisis de liquidez total en los mercados financieros, siendo decisivo el rol de los bancos centrales al suministrar liquidez a las instituciones financieras para sostener las presiones a corto plazo.
- ✓ En 2008 se desacelera la tasa de crecimiento de la economía mundial a 3.0%, principalmente por la recesión de Estados Unidos (-0.3%) y Japón (-1.0%) que se reflejó en un débil crecimiento de las economías avanzadas (0.1%). América Latina siguió creciendo aunque a una menor tasa (4.1%) en relación al año anterior.
- ✓ En 2009, la económica mundial presentó una de las peores recesiones desde la segunda guerra mundial, el producto mundial decreció en -0.1%. Las economías avanzadas registraron una profunda recesión (-3.4%). La economía de Estados Unidos decreció en -2.8%, Canadá en -3.0%, Japón en -5.5% y la Zona Euro en -4.5%. América Latina se contrajo -1.6% debido al desplome de los precios de las materias primas, las tensiones financieras y la escasa demanda de sus exportaciones.



- ✓ En 2010, la economía mundial registro un significativo crecimiento de 5.4%. El crecimiento de las economías avanzadas fue relativamente modesto (3.1%) considerando la profundidad de la recesión, las economías emergentes registraron un significativo crecimiento de 7.5%. América Latina creció 6.3% destacando la expansión de Brasil (7.5%) debido a la reactivación de la exportación y una demanda interna vigorosa, alimentada por políticas monetarias y fiscales.
- ✓ En 2011, la economía mundial creció 4.2%, Japón decreció (-0.5%) como consecuencia del devastador terremoto y tsunami de la costa del Pacífico y la economía de Estados Unidos creció sólo 1.6%. América Latina creció en 4.5% debido al dinamismo de la demanda interna, respaldado por políticas macroeconómicas acomodaticias, una gran afluencia de capitales y mejoras en los términos de intercambio.
- ✓ Entre 2012-2013 la economía mundial entró en un proceso de reajuste y adecuación de la actividad económica con tasas moderadas de crecimiento del orden del 3.0%. la Zona del euro entró en recesión entre 2012 y 2013 con intervención del Banco Central Europeo aportando grandes cantidades de liquidez a los bancos, aplicando políticas de reajuste fiscal y reformas estructurales. En América Latina se redujo a tasas de 2.9% debido a la caída de los precios de las materias primas y un deterioro de los términos de intercambio en los países que las exportan.
- ✓ Entre 2014-2016 la economía mundial mostró un crecimiento atenuado, con una recuperación en marcha desigual, reflejando el escaso aumento de la productividad desde la crisis, las transiciones demográficas, la realimentación del crecimiento de China y la etapa de ajuste que están atravesando muchos mercados emergentes tras el boom de crédito e inversión que siguió a la crisis. América Latina registró una acentuada recesión, reflejando principalmente la contracción de la economía brasileña y el debilitamiento de la economía de otros países de la región ante el retroceso de los precios de las materias primas.
- ✓ El 2017 estuvo marcado por la recuperación de la inversión, las manufacturas y el comercio, y las economías en desarrollo exportadoras de productos básicos mejoraron. Una de las regiones que tuvo mejores resultados fue la Zona euro, que tuvo un crecimiento del 2.3% por encima de lo que se había previsto a inicios del 2017, que fue de un 1.4%.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Como se puede observar del breve análisis mundial de la economía, el inicio del nuevo milenio estuvo marcado por el precio internacional de las materias primas, principalmente los minerales y el petróleo. Productos que forman parte del eje de la economía peruana y que permitieron que durante la primera década el crecimiento del Perú estuviera alrededor del 9%, según datos del INEI.

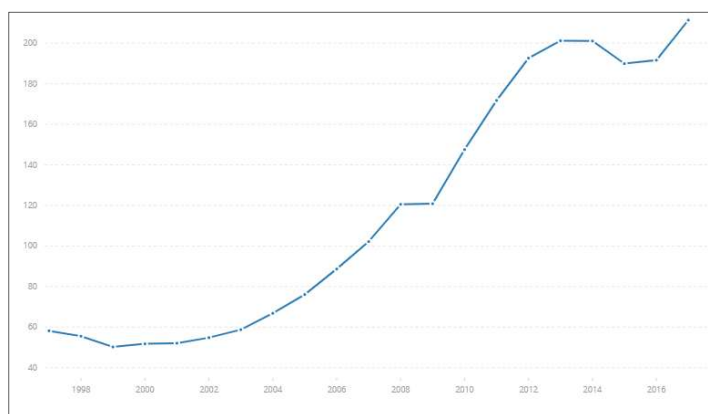
La fase de notable desempeño del crecimiento de la economía peruana, registrado durante el llamado “súper-ciclo” de los precios internacionales de las materias primas de 2003 – 2013 parece haber llegado a su fin. En efecto, mientras que el PBI se expandió a la tasa anual promedio de 6.4% en ese periodo (a precios constantes de 2007), el crecimiento se desaceleró perceptiblemente, registrando una tasa de 2.4% en 2014 (Machado & Toma, 2017).

2.2.1 PRODUCTO BRUTO INTERNO DEL PERÚ

La economía peruana ha tenido un desarrollo sostenido a lo largo de los últimos 20 años, debido principalmente, a la producción y exportación de materias primas, en especial los metales como el oro, la plata, el cobre y el zinc; y que durante la década del 2003 al 2013 tuvieron precios internacionales altos. Así a finales del 2008, el precio internacional del oro estuvo en 882,050 \$/onza.

El gráfico 4 muestra el desarrollo del PBI de Perú desde el año 1997 hasta el 2017.

Gráfico 4: Producto Bruto Interno de Perú, entre 1997 a 2017



Fuente: (Banco Mundial, 2018)

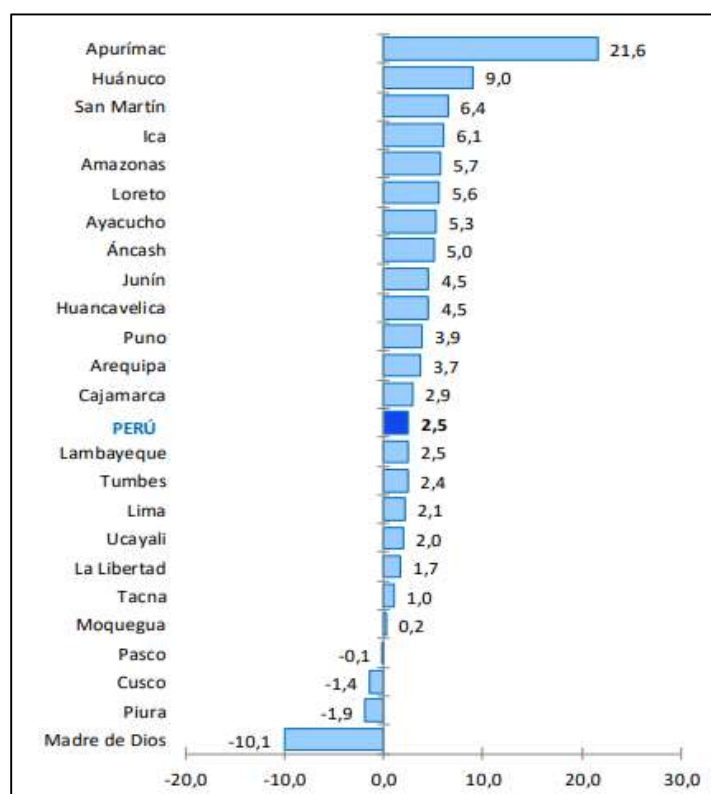
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Los resultados indican, que en el año 2013 el PBI de Perú alcanzó los 201,218 millones de dólares y fue disminuyendo progresivamente por los motivos indicados anteriormente. Para el año 2017 el PBI de Perú fue de 211,389 millones de dólares.

Según el reporte “*PERU: Producto Bruto Interno por Departamentos 2007 – 2017*” (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018b), el PBI del Perú creció en 2.5% explicado por el incremento de las actividades extractivas y de servicios que aumentaron 3.1% y las de transformación en 0.9%. En efecto, en 2017 crecieron las actividades: Telecomunicaciones y otros servicios de información (8.4%); pesca y acuicultura (5.6%); transporte, almacenamiento, correo y mensajería (3.8%); extracción de petróleo, gas, minerales y servicios conexos (3.5%); administración pública y defensa (3.3%); otros servicios (3.0%); construcción (2.4%); agricultura, ganadería, caza y silvicultura (2.1%); comercio, servicios de mantenimiento y reparación de vehículos (1.6%); alojamiento y restaurantes (1.4%); electricidad, gas y agua (0.9%) y manufactura (0.2%).

Gráfico 5: Producto Bruto Interno de Perú y de sus departamentos en 2017



Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018b)

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

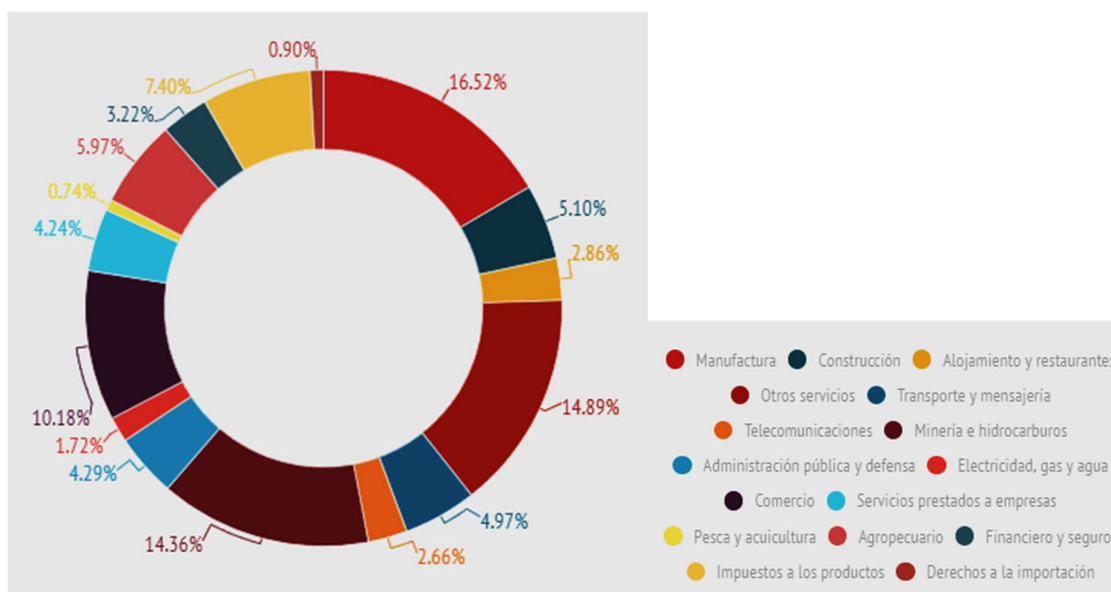
GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Como se observa en el gráfico 5, las regiones que más crecieron en 2017 fueron Apurímac, Huánuco y San Martín, en el primer caso debido principalmente a la actividad extractiva del petróleo, gas y minería que representan un 34.6%, y también, pero en menor medida, por la agricultura y ganadería (4.8%). En el segundo caso, las actividades que marcaron el crecimiento de la región Huánuco fueron la agricultura y ganadería con un 12.4% y la extracción de petróleo, gas y minerales con un 9%. Finalmente en la región San Martín, el crecimiento se debió a la actividad e agricultura y ganadería (9.9%) y a la construcción (16.4%).

2.2.2 DESEMPEÑO ECONÓMICO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN

El sector de la construcción representa el 5.1% del PBI en el Perú y es uno de los sectores que, junto con la minería, generan más fuentes de trabajo y requieren mayor cantidad de recursos materiales, por lo que el efecto es multiplicador, al requerir más productos de la industria manufacturera. En el gráfico 6, se muestra la distribución del PBI de acuerdo al impacto que tiene cada sector productivo en el Perú.

Gráfico 6: Importancia de los sectores productivos en el PBI de Perú



Fuentes: (Diario El Comercio, 2016)

Como se observa en el gráfico 6, el sector que más influye en el PBI nacional es la manufactura, 16.52%. En tercer lugar se encuentra la minería e hidrocarburos con un 14.36%.

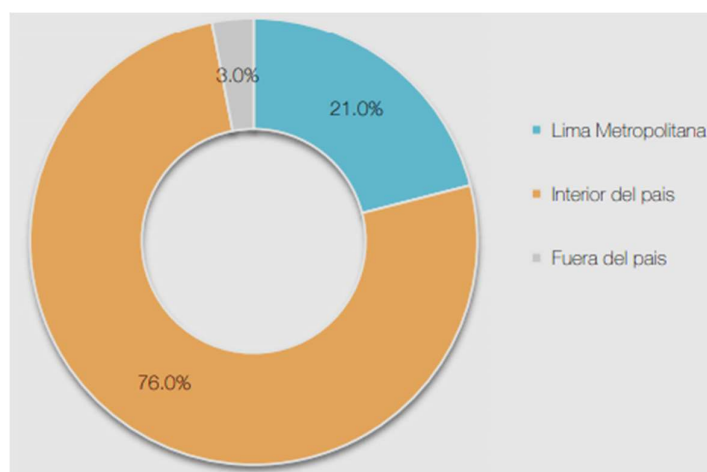
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

En 2017, el valor agregado bruto de la actividad construcción registró un crecimiento del 2.4% respecto al año anterior, explicado por la mayor ejecución de obras de vivienda; edificios para oficinas; centros comerciales; carreteras y vías, así como, obras de ingeniería civil desarrolladas por el sector público y privado (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018a).

Por otro lado, según una encuesta de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) realizada a inicios de 2018, los contratistas de infraestructura estiman que el 76% de sus ingresos en el año 2018 se obtendrán de obras localizadas en el interior del país, mientras que el 21% provendrían de proyectos ubicados en Lima metropolitana y el 3% de obras ejecutadas en el extranjero, como se muestra en el gráfico 7.

Gráfico 7: Distribución de ingresos de las constructoras de infraestructuras en 2018.



Fuente: (Cámara Peruana de la Construcción - CAPECO, 2018)

Gráfico 8: PBI Global y PBI de Construcción Perú: Periodo 2017-2018



Fuente: (Cámara Peruana de la Construcción - CAPECO, 2018)

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Según el *Informe Económico de la Construcción*, realizado a fines del segundo semestre de 2018, la actividad constructora registró un incremento de 10.55% en el mes de abril 2018, respecto al mismo mes del año anterior. En el gráfico 8 se puede ver el desarrollo del PBI nacional medido desde enero 2017 hasta abril 2018, en comparación con el PBI de la Construcción en este mismo periodo de tiempo.

2.3. ENTORNO FÍSICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS EN PERÚ

La planificación y ejecución de las inversiones a futuro en infraestructuras de un país, deben seguir una metodología de evaluación de los problemas que se tratarán de solucionar, teniendo en consideración principalmente factores económico-financieros, sociales y medioambientales. El entorno físico requiere estudiar brechas y planes de infraestructura.

2.3.1. BRECHA EN INFRAESTRUCTURA

El documento, “*Un Plan para salir de la pobreza: Plan Nacional de Infraestructuras 2016-2025*”, elaborado en 2015 estimó que la brecha en infraestructura del Perú era \$ 159,549 millones para este periodo de tiempo. Siendo el sector de Transporte el que presenta una mayor brecha con \$ 57,499 millones (36%).

Tabla 2: Brecha por tipo de Infraestructura en Perú en 2016 - 2025

Agua y Saneamiento /1		12,252
1.	Acceso a Agua Potable	2,629
2.	Acceso a Saneamiento	9,623
Telecomunicaciones		27,036
3.	Suscriptores a telefonía móvil	6,884
4.	Suscriptores de banda ancha	20,151
Transporte		57,499
5.	Kilómetros de vía férrea	16,983
6.	Kilómetros de vía pavimentada	31,850
7.	Aeropuertos	2,378
8.	Puertos	6,287
Energía		30,775
9.	Electricidad	30,775
Salud		18,944
10.	Camas de hospital	18,944
Educación 2/		4,568
11.	Matrícula Inicial	1,621
12.	Matrícula primaria	274
13.	Matrícula secundaria	2,672
Hidráulica		8,476
14.	Tierra irrigada	8,476
TOTAL		159,549

Fuente: (Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico, 2015)

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Como se observa en la tabla 2, los sub sectores de carreteras y ferrocarriles representan entre ambos cerca del 85% de la brecha en infraestructura de transporte hacia el año 2025, siendo los montos indicados valores en inversión y mantenimiento de obras nuevas, por lo que no se están considerando las inversiones en mantenimiento de vías nacionales y líneas férreas existentes.

Dentro de la brecha del sub sector de vías férreas, las líneas de metro en la ciudad de Lima y los trenes de cercanía entre Lima metropolitana y las provincias de Lima representan alrededor de 20 mil millones de dólares en inversión pública y privada.

Para fines del presente trabajo de investigación, es importante tener en consideración en la fase de evaluación de riesgos en la etapa de factibilidad de las futuras líneas de metro en Lima, que entre las líneas 2 a 6 el monto de inversión total es aproximadamente de 19 mil millones de dólares, por lo que se debe tener en cuenta variables de riesgo como: la demanda de pasajeros a futuro o las fuentes de financiamiento de cada una de las líneas.

2.3.2. PLAN DE INFRAESTRUCTURA AL 2025

Para cubrir la brecha existente en infraestructura el Ministerio de Economía y Finanzas de Perú, la Agencia de Promoción de la Inversión Privada y el Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público, han propuesto varios proyectos de inversión en los cuatro sub sectores, con la finalidad de cubrir la mayor parte de la brecha existente. Según el estudio de la Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico, cerca del 70% de la brecha será cubierta con este plan.

En la siguiente tabla se muestra el plan de inversión, en montos, de infraestructuras.

Tabla 3: Inversión estimada de proyectos del sector transporte en Perú

Sub-sector	Proyectos de inversión	Brecha estimada
Ferrocarriles	25,759	16,983
Carreteras	10,247	31,850
Aeropuertos	2,849	2,378
Puertos	1,481	6,287
Total	40,336	57,499

Fuente: (Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico, 2015)

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Para el sub sector de carreteras, las tres entidades gubernamentales han propuesto cerca de 20 proyectos de inversión con montos desde los 25 hasta los 2,300 millones de dólares, que incluyen la fase de diseño, construcción y operación y mantenimiento.

En la tabla 4, se detallan los proyectos de carretera más importantes para cubrir la brecha de 31,850 millones de dólares.

Tabla 4: Principales proyectos de inversión en Carreteras.

Proyecto	Financiamiento	Inversión estimada	Estado
Longitudinal de la Sierra Tramo 4	Cofinanciado	340.0	Promoción
Panamericana Sur: Tramos Ica- Dv Quilca	Autosostenible	374.8	Promoción
IPC Diseño, Construcción y Explotación Vial de Caminos Vecinales que conectan capitales de Distrito de la Región Cusco en el ámbito del Fonie.	Cofinanciado	338.4	Promoción
IPC Pistas y Veredas de la Municipalidad Distrital Miraflores (IPC-PVMDM)	Cofinanciado	310.0	Promoción
Anillo Vial Periférico	Cofinanciado	1,713.5	Promoción
Longitudinal de la Sierra Tramo 5	Cofinanciado	340.0	Promoción
Longitudinal de la Costa IP Sullana - Frontera Ecuador	Autosostenible	781.2*	Promoción
Concesión vial Pativilca - Conococha - Huaraz - Caraz	Autosostenible	223.0**	Promoción
Concesión Tarma - La Merced - Villa Rica - Puerto Bermúdez - San Alejandro/La Merced - Pto Ocopa	Cofinanciada	203.0***	Promoción
IIRSA Centro Tramo 2 - Adenda N. 1	Autosostenible	40.6	Concesionado
IIRSA Centro Tramo 2 - Adenda N. 2	Autosostenible	274.3	Concesionado
IIRSA Norte - Adenda N. 6	Autosostenible	138.0	Concesionado
Red Vial N. 6 - Pucusana - Cerro Azul - Ica	Autosostenible	276.1	Concesionado
Red Vial N. 5 - Ancón-Huacho-Pativilca	Autosostenible	25.0	Concesionado
Red Vial N. 4 Pativilca-Trujillo	Autosostenible	558.0	Concesionado
IP Tramo Ica - Palpa - Nazca - Dv. Puquio	Autosostenible	343.8	En evaluación
Carretera IIRSA - Centro Tramo 4	Autosostenible	35.0	En evaluación
Nuevas Vías proyectadas (Proyecto Perú 2/CREMA)	Iniciativa Privada	2,300.0	En evaluación
Carretera IIRSA - Centro Tramo 3	Iniciativa Privada	127.0	En evaluación
Longitudinal de la Selva Norte Tramo 1	Iniciativa Privada	296.0	En evaluación
Longitudinal de la Selva Norte Tramo 2	Iniciativa Privada	268.0	En evaluación
Longitudinal de la Selva Norte Tramo 3	Iniciativa Privada	167.0	En evaluación
Longitudinal de la Selva Sur Tramo 1	Iniciativa Privada	164.0	En evaluación

Fuente: (Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico, 2015)

Para el sub sector de ferrocarriles, las entidades gubernamentales han establecido un total de 12 proyectos de inversión con montos desde, 84 hasta 5,075 millones de dólares, que incluyen la fase de diseño, construcción y operación y mantenimiento.

En el plan nacional para cerrar la brecha en vías férreas para el periodo 2016-2025, se han considerado las líneas de metro de la ciudad de Lima, lo que representa la mayor parte de la inversión en el sub sector, y también los ferrocarriles de cercanía a la ciudad de Lima.

En la tabla 5, se detallan los proyectos de ferrocarriles más importantes para cubrir la brecha de 16,983 millones de dólares.

Tabla 5: Principales proyectos de inversión en Vías Férreas.

Proyecto	Financiamiento	Inversión estimada	Estado
Sistema de Transporte Masivo del tipo Monorriel en el área Metropolitana de Arequipa	Cofinanciado	880	Promoción
Ferrocarril Huancayo – Huancavelica	Cofinanciado	194*	Promoción
Ferrocarril Tacna – Arica	Cofinanciado	84**	Promoción
Línea 3 del Metro de Lima	Cofinanciado	4,640***	Promoción
Línea 4 del Metro de Lima	Cofinanciado	4,350***	Promoción
Ferrocarril Nor Andino	Iniciativa Privada	1,500	Promoción
Ferrocarril Tambo de Sol-Pucallpa	Iniciativa Privada	800	Promoción
Ferrocarril Marcona-Andahuaylas-Las Bambas	Iniciativa Privada	1,500	Promoción
Ferrocarril Huancavelica-Huanta-Andahuaylas-Cusco	Iniciativa Privada	800	Promoción
Ferrocarril Barranca-Lima –Ica	Iniciativa Privada	900	Promoción
Metro de Lima - Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta	Autosostenible	5,075	Concesionado
Línea 6 de la red básica del Metro de Lima	Iniciativa Privada	5,036	Promoción

Fuente: (Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico, 2015)

Para el sub sector de aeropuertos, las entidades gubernamentales han establecido un total de 21 proyectos de inversión, en donde los proyectos más importantes de este grupo serán la ampliación del actual aeropuerto Internacional Jorge Chávez en la ciudad de Lima, que además es el más importante del Perú, y el nuevo aeropuerto Internación del Chincheros en la ciudad de Cuzco, con inversiones estimadas de 800 y 658 millones de dólares respectivamente. El resto de la inversión se centra principalmente en la modernización o rehabilitación de los aeropuertos existentes en el interior del país.

En la tabla 6, se detallan los proyectos aeroportuarios a desarrollar en el largo plazo.

Tabla 6: Principales proyectos de inversión en Aeropuertos.

Proyecto	Financiamiento	Inversión estimada	Estado
		(US\$ millones)	
Segunda pista de aterrizaje y Nuevo Terminal de Pasajeros de Aeropuerto Internacional Jorge Chávez	Autosostenible	800	Concesionado
Aeropuerto Internacional de Chinchero - Cusco	Cofinanciada	658	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Piura	Cofinanciada	91	Concesionado
Rehabilitación y modernización del aeropuerto de Juliaca	Cofinanciada	80	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Chiclayo	Cofinanciada	96	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Arequipa	Cofinanciada	155	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Iquitos	Cofinanciada	259	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Ayacucho	Cofinanciada	14	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Puerto Maldonado	Cofinanciada	29	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Trujillo	Cofinanciada	123	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Cajamarca	Cofinanciada	125	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Tacna	Cofinanciada	29	Concesionado
Modernización y rehabilitación de pista de aterrizaje del aeropuerto de Pucallpa	Cofinanciada	101	Concesionado
Modernización y rehabilitación de pista de aterrizaje del aeropuerto de Talara	Cofinanciada	59	Concesionado
Modernización del Aeropuerto de Chachapoyas	Cofinanciada	61	Concesionado
Modernización del aeropuerto de Tarapoto	Cofinanciada	55	Concesionado
Modernización del aeropuerto de Tumbes	Cofinanciada	75	Concesionado
Rehabilitación de pista de aterrizaje Pisco	Cofinanciada	24	Concesionado
Modernización del aeropuerto de Anta	Cofinanciada	39	Concesionado
Mantenimiento periódico 2014 en 12 aeropuertos	Cofinanciada	n.d.	Concesionado
Mantenimiento periódico de pista, rodajes y plataforma de Pucallpa	Cofinanciada	n.d.	Concesionado

Fuente: (Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico, 2015)

Para el sub sector de puertos, las tres entidades gubernamentales han planteado 13 proyectos de inversión con un total estimado en 1,481 millones de dólares. En la tabla 7 se indican todos los proyectos portuarios y los montos de inversión estimados.

Tabla 7: Principales proyectos de inversión en Puertos.

Proyecto	Financiamiento	Inversión estimada (US\$ millones)	Estado
Proyecto Bahía Islay (TISUR)	n.d.	140.0	Construcción
Terminal Portuario de Matarani - TISUR	Autosostenible	35.5*	Concesionado
Fase 2 A de ampliación del Muelle Sur del Callao (DP World)	Autosostenible	164.4*	Por iniciar
Terminal Portuario Callao (Muelle Norte)	Autosostenible	256.7*	Concesionado
Terminal Portuario de Paíta	Autosostenible	9.6*	Concesionado
Terminal Portuario Gral. San Martín (Pisco)	Autosostenible	118.6*	Concesionado
Terminal Portuario San Juan de Marcona	n.d.	149.0	En estudio
Terminal Portuario de Yurimaguas	Cofinanciado	3.0*	Concesionado
Terminal Portuario de Salaverry	Iniciativa Privada	220.0	Admitida a trámite
Terminal Portuario de Chimbote	Iniciativa Privada	74.0	Admitida a trámite
Terminal Portuario de Ilo	Iniciativa Privada	230.0	Admitida a trámite
Terminal Portuario Pucallpa (Fluvial)	n.d.	55.0	En Estudio
Terminal Portuario de Iquitos (Fluvial)	n.d.	25.0	En Estudio

Fuente: (Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico, 2015)

2.4. LOS SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

El sistema de transporte público en Perú ha tenido a lo largo de su historia 5 etapas bien definidas, cada una dentro de un contexto económico y social en particular.

El sistema de transporte en la ciudad de Lima ha pasado por las siguientes etapas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017):

- ✓ Etapa 1: Red Estructurada
- ✓ Etapa 2: Estancamiento
- ✓ Etapa 3: Sobredemanda
- ✓ Etapa 4: Sobreoferta
- ✓ Etapa 5: Transformación

Sin embargo las diversas etapas por las que ha pasado el sistema de transporte público en Perú y principalmente en su capital, Lima, han ido añadiendo lecciones para la mejora.

Ahora, el futuro del sistema de transporte público está en los sistemas masivos de metro, que se explicará en el siguiente apartado.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

2.4.1. RESEÑA HISTÓRICA DEL SISTEMA DE METRO EN LIMA

A inicios de los años 70, se elaboró el primer estudio de factibilidad técnico – económico y el anteproyecto del “Sistema de Transporte Rápido Masivo de Pasajeros en el Área Metropolitana de Lima – Callao”, el cual fue aprobado en 1974. Sin embargo, los problemas políticos y la crisis económica internacional de esos años impidieron conseguir el financiamiento económico y consecuentemente el inicio de los trabajos.

En la década de los años 80, se creó la Autoridad Autónoma del Proyecto Especial del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, entidad gubernamental encargada de convocar a concurso público la ejecución del Metro de Lima o también conocido como “Tren Eléctrico”.

En 1986 se otorgó la buena pro al Consorcio Tralima para que construya la Línea 1 del Metro de Lima. El 18 de Octubre de ese mismo año se iniciaron los trabajos en el distrito de Villa El Salvador, al sur de la ciudad de Lima. Sin embargo, debido a problemas sociales y económicos se paralizaron las obra y el 28 de Abril de 1990 se inauguró un tramo de 9.20 Km que recorría los distritos desde Villa El Salvador hasta San Juan de Miraflores.

En 2001 la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE) pasó a la administración de la Municipalidad Metropolitana de Lima con la intención que este organismo reactivara la construcción del Tren Eléctrico, sin embargo no se llegó a concretar el propósito.

En 2009 la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE) pasó a ser administrada por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones del Perú (MTC). En ese año se encargaría a Provias Nacional la licitación pública internacional para seleccionar a la empresa que se encargaría de la ejecución de las obras civiles y el equipamiento electromecánico del tramo faltante. El financiamiento de la obra provino de un endeudamiento externo con la Corporación Andina de Fomento (CAF) por \$ 300 millones de dólares.

Luego de la evaluación técnica y económica de los postores, en Diciembre de 2009, se otorgó la buena pro para culminar las obras civiles y electromecánicas del Tramo 1 de la Línea 1, que comprendía rehabilitar el tramo que ya existía en ese momento, desde el distrito de Villa El Salvador hasta la estación de Atocongo en San Juan de Miraflores. Además culminar la infraestructura hasta la avenida Grau en el Cercado de Lima.

El 11 de Julio del 2011, se inauguró el Tramo 1 de la Línea 1 que recorre un total de 21.40 Km cruzando nueve (09) distritos: Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, San Juan de

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Miraflores, Santiago de Surco, Surquillo, San Borja, San Luis, La Victoria y el Cercado de Lima. En todo el recorrido se ubican 16 estaciones de pasajero; en donde se tuvieron que rehabilitar 7 estaciones existentes: Villa El Salvador, Parque Industrial, Pumacahua, Villa María, María Auxiliadora, San Juan y Atocongo; además se construyeron 9 estaciones nuevas: Jorge Chávez, Ayacucho, Cabitos, Angamos, San Borja Sur, La Cultura, Nicolás Arriola, Gamarra y Miguel Grau.

Ese mismo año, 2011, la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE) como parte de la ejecución de la Red Básica del Metro de Lima, convoca a concurso la elaboración del Expediente Técnico y Ejecución de las Obras Civiles y Electromecánicas del Tramo 2 que recorre los distritos del Cercado de Lima, El Agustino y San Juan de Lurigancho, completándose la Línea 1.

El 28 de Julio del 2011, el consorcio conformado por las empresas Odebrecht (Brasil) y Graña y Montero (Perú) se adjudican la buena pro para la ejecución del Tramo 2 y se iniciarían los trabajos con la elaboración del Expediente Técnico. Con un plazo de obra de 900 días calendarios.

El 10 de Noviembre del 2011, se iniciaron los trabajos del Viaducto elevado del Tramo 2, en la avenida Grau con la excavación para las cimentaciones. Esta obra finalizó en 2014.

El 11 de Enero del 2013, la Agencia de Promoción de la Inversión Privada en Perú (Pro Inversión) convocó a licitación internacional para el diseño y construcción de la línea 2 del metro de Lima, que a su vez es la primera línea de metro subterránea del Perú. El 29 de Diciembre del 2014 inició la construcción de la línea 2 del metro de Lima.

2.4.2. PLAN DE DESARROLLO DEL SISTEMA DE METRO EN LIMA

En el año 2010 el gobierno de Perú, mediante Decreto Supremo No. 059-2010-MTC por intermedio del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aprobó la Red Básica del Metro de Lima – Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, donde inicialmente se consideraban 5 líneas de metro que atravesarían toda la ciudad de Lima para cubrir la demanda de pasajeros estimada.

En el año 2013 mediante Decreto Supremo No. 009-2013-MTC por intermedio del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se decreta modificar la Red Básica del Metro de Lima con la finalidad de incluir una nueva línea de metro, que sería la línea 6 y con esta última modificación definir la Red Básica definitiva del Metro de Lima.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

La Red básica del Metro de Lima que fue elaborado por la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE) es la que se muestra en la figura 1.

Figura 1: Red Básica del Metro de Lima



Fuente: (Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, 2018)



CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

3.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES

En este capítulo se hace una breve reseña histórica sobre la construcción de túneles, así como las consideraciones para su diseño y los métodos constructivos que se utilizan.

3.1.1. RESEÑA HISTORICA

Los primeros túneles de la historia se usaron para la minería y datan aproximadamente del año 40,000 a.C. en el cerro de Bomvu en Swazilandia, originados de forma natural.

Siglos más tarde, el primero túnel de la historia desde el punto de vista de la ingeniería, tuvo lugar en Babilonia (antigua Mesopotamia) en el año 2,200 a.C. y fue construido para conectar bajo del río Éufrates, el Palacio Monárquico con el Templo de Belos.

Civilizaciones más desarrolladas como la egipcia, griega o romana trabajaron en la construcción de sistemas de túneles que cumplían diversas funciones, desde galerías que conectaban cuevas que alojaban a máximas autoridades muertas hasta túneles para abastecer de agua o como sistemas de alcantarillado bajo las calzadas.

Durante toda la Edad Antigua, hasta la caída del Imperio Romano de occidente en el año 476; la construcción de túneles tuvo un periodo de máximo desarrollo en diversas áreas y fue decreciendo a lo largo de la Edad Media. Pero en el siglo XVIII aparece la era de los túneles para canales. No sería hasta el siglo XIX que vuelven a construirse obras subterráneas de gran importancia, debido a la aparición del ferrocarril.

En 1826, finalizó la construcción del primer túnel ferroviario en Francia, el túnel de Terre-Noire de 1,476 metros de longitud. Mientras que entre los años 1825 a 1843, en Londres el ingeniero inglés Marc Isambard Brunel y su hijo Isambard Kingdom Brunel construyeron bajo el río Támesis el primer túnel con escudos.

En la segunda mitad del siglo XIX, tres túneles marcaron un punto de quiebre en la construcción de estas obras, debido a que atravesarían Los Alpes. Estos serían: el túnel de Mont Cenis, construido entre 1857 y 1871, de 12,8 kilómetros que conectaría la ciudad de Modane (Francia) con Bardonecchia (Italia). El segundo, sería el túnel ferroviario de Sant Gotthard de 15 kilómetros, construido entre 1872 y 1880, conectaría el corredor norte-sur de Europa entre las ciudades de Göschenen y Airolo. Por último, el túnel Simplon I de 19,8 kilómetros, construido entre 1898 y 1906 que conecta Suiza e Italia.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

El hito principal en la construcción de túneles para metros se dio el 10 de enero de 1863, cuando se inauguró el metro de Londres que conectaba tres estaciones del norte de la ciudad con el centro en Farringdon. Inicialmente se utilizó para su construcción el método Cut and cover; posteriormente se industrializaría el proceso y se utilizaría el método de Greathead Shiel que permitía con una maquina ir perforando el terreno de forma mecánica y posteriormente colocar escudos de recubrimiento de forma manual. Posteriormente se industrializaría esta parte del proceso y daría paso a las TBMs.

Figura 2: Túnel del metro de Londres, 1863



Fuente: (Wikipedia)

A fines del siglo XIX y principios del siglo XX, daría inicio un periodo de expansión en la construcción de túneles para metros, tanto en Europa como en el resto del mundo debido principalmente a los avances en los métodos constructivos de este tipo de obras y al aumento de la población en muchas ciudades, sobre todo las más industrializadas.

En Europa, luego del metro de Londres seguirían en 1896 el metro de Glasgow (Escocia) y el de Budapest (Hungría), en 1898 el metro de Viena (Austria), en 1900 el de París (Francia), en 1902 el de Berlín (Alemania), y en 1919 el de Madrid (España) entre los más importantes.

En Estados Unidos, entre las principales ciudades donde se inaugurarían los primeros túneles para metros sería: Chicago en 1895, Boston en 1897, Nueva York en 1904 y Filadelfia en 1907.

En Latinoamérica, los primeros sistemas de metro estuvieron en Buenos Aires (Argentina) construido en 1913, Ciudad de México (México) en 1969, Sao Paulo en 1974 y Rio de Janeiro (Brasil) en 1979 y el del Santiago de Chile en 1975.

3.1.2. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE TÚNELES

El diseño y la construcción de túneles requieren un tratamiento especial y diferente al resto de obras de ingeniería civil. En primer lugar, la estructura se encuentra enterrada en el suelo; y en segundo, porque al estar bajo el terreno se debe garantizar todas las medidas de seguridad para los trabajadores y personal que inspeccione las obras.

A partir de estos fundamentos, las consideraciones previas para un correcto diseño de túneles y posterior ejecución, se agrupan de la siguiente manera:

- ✓ Geometría del túnel
- ✓ Consideraciones del terreno
- ✓ Consideraciones estructurales

3.1.2.1 Geometría del Túnel

La geometría del túnel determina el camino a seguir y la cantidad de material a excavar durante la fase de construcción, por lo que esta fase es de prioritaria importancia tanto para el diseño como para la construcción misma.

Por otro lado, la geometría del túnel se trabaja en conjunto con los estudios de geotecnia y geología, así como con el método constructivo que se prevé utilizar. Las tres variables que se tiene en cuenta para la geometría de un túnel son:

- ✓ Trazado en planta
- ✓ Trazado en elevación
- ✓ Sección transversal

3.1.2.2 Consideraciones del terreno

El terreno es, junto con la geometría del túnel, el factor más importante y de mayor riesgo en la fase de construcción de este tipo de obras, debido al alto grado de incertidumbre que supone la composición del material, sus condiciones y las cargas que soporta el macizo.

Dentro de los objetivos geológicos y geotécnicos que deben cumplir todo estudio de este tipo están. (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2016):

Objetivos Geológicos

- ✓ Establecer las características de los afloramientos rocosos implicados en construcción.
- ✓ Evaluar las características hidrogeológicas de la zona donde se efectuara la excavación del túnel.

Objetivos Geotécnicos

- ✓ Definir las propiedades físico – mecánicas del macizo rocoso.
- ✓ Definir las propiedades elásticas del macizo mediante ensayos de esfuerzo In Situ.
- ✓ Definir un posible grado de estabilidad del macizo rocoso.
- ✓ Definir los parámetros sísmicos.

Para los estudios geológicos y geotécnicos en la zona de excavación se tomarán en cuenta:

- ✓ Litología
- ✓ Estructura del terreno
- ✓ Aguas subterráneas

3.1.2.3 Consideraciones estructurales

Generalmente los túneles han tenido mejor comportamiento durante los movimientos sísmicos que el que tienen las estructuras que están por encima del terreno tales como puentes o edificios.

El procedimiento general para el análisis y diseño sísmico de estructuras de túneles, deberá basarse principalmente en un enfoque de la deformación del terreno, la estructura debe ser diseñada para acomodarse a la deformación impuesta por el terreno. (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2016)

Para un adecuado análisis y diseño sísmico de un túnel se deben tener en consideración los siguientes factores:

- ✓ Estudio de riesgo sísmico para túneles
- ✓ Determinación del entorno sísmico
- ✓ Factores que influyen en el comportamiento sísmico de un túnel
- ✓ Comportamiento sísmico del túnel

3.1.3. MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES

La fase de construcción de un túnel, independientemente del método de construcción que se emplee, está compuesto por 3 etapas:

- ✓ Excavación
- ✓ Sostenimiento
- ✓ Recubrimiento

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Cada etapa puede completarse de diferentes formas, dependiendo del método de excavación a emplear.

La excavación del túnel estará limitada a la capacidad resistente del terreno y se clasifica de dos maneras:

- ✓ Excavación en Roca dura
- ✓ Excavación en Suelo o Terreno blando

Determinar las características y los parámetros del terreno donde se construirá el túnel, son esenciales para definir el sistema constructivo de la estructura. A partir del sistema constructivo, se podrán planificar y estimar las máquinas y equipos necesarios para el trabajo de excavación y sostenimiento, así como los plazos de ejecución, ya que estos variarán para cada tipo de sistema constructivo.

Los **sistemas constructivos de túneles** se clasifican de la siguiente manera:

- ✓ **A Cielo abierto**
 - Cut and cover
- ✓ **Subterráneo o de minería**
 - Excavación a Sección completa
 - Excavación a Sección parcial

En el **Anexo 4**, se muestra un cuadro resumen con los sistemas de construcción de túneles que se explican a continuación.

3.1.3.1 Sistema constructivo a cielo abierto (Cut and Cover)

Consiste en, como su nombre lo indica, primero realizar una gran excavación a lo largo del trazo del túnel hasta la profundidad especificada, luego construir la bóveda in situ o mediante arcos prefabricados y finalmente realizar la cobertura sobre los arcos con el material procedente de la excavación.

Se recomienda este sistema constructivo para excavaciones que no superen los 20 metros de profundidad, debido a que se podría presentar problemas de estabilidad de los taludes y que significan mayores costes por los sistemas de sostenimientos (Priego de los Santos, 2013).

El sistema Cut and cover presenta dos métodos de trabajo:

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

- ✓ Método Bottom-up
- ✓ Método Top down.

Además en este sistema, el elemento estructural más importante es el muro pantalla o lo que soporte la presión del terreno, sea que se realice por cualquiera de los dos métodos. Algunos métodos de sostenimiento para excavaciones que se utilizan son:

- ✓ Tablestacas de acero
- ✓ Pilotes in situ o hincados
- ✓ Anclajes
- ✓ Muros pantalla

3.1.3.2 Sistemas constructivos Subterráneos a sección completa

Este sistema permite realizar la excavación en el frente de ataque del túnel, es decir no requiere una gran excavación y posterior cobertura con el material de la zona.

Dependiendo del tipo de terreno que se presente, en este sistema de trabajo puede realizarse la tarea de excavación con explosivos o con maquinarias.

Por un lado, la excavación con explosivos se utiliza cuando el terreno está compuesto de roca dura, y por otro lado la excavación mecánica se utiliza principalmente cuando se encuentra roca medianamente dura y suelo blando.

Los tres métodos de excavación en este sistema son:

- ✓ Excavación con explosivos
- ✓ Excavación mecánica de Ataque puntual
- ✓ Excavación mecánica Integral o Tuneladoras

Excavación con Explosivos

Esta técnica de excavación se recomienda cuando la longitud del túnel a excavar es relativamente corta o la roca es tan dura que utilizar máquinas perforadoras requeriría una inversión mayor en los accesorios de corte, asimismo en túneles cortos el análisis coste – beneficio de utilizar explosivos contra utilizar una tuneladora, debe ser evaluado por el alto coste que representa la máquina.

Los cinco pasos que se siguen para la técnica de voladura son:



Excavación Mecánica de Ataque puntual

Este método incluye todos los sistemas de avance por corte mecánico, los túneles que se avanzan con herramientas de mano (hidráulicas o eléctricas), maquinas rozadoras o minadoras, máquinas excavadoras hidráulicas, tractores y cargadores o cualquier otro tipo de maquinaria, excluyendo solo las maquinas integrales (Priego de los Santos, 2013).

Este método presenta 2 sistemas de excavación: con Rozadoras o martillo hidráulico.

✓ **Excavación con Rozadoras**

Las Rozadoras, son máquinas auto portantes en las que la excavación se efectúa por fricción del útil de corte con el terreno (Martí, J.; Yepes, V.; González, F.; Alcalá, 2012)

Figura 3: Maquina Rozadora



Fuente: (Internet, 2018)

✓ **Excavación con Martillo hidráulico y fresadoras**

Este sistema consiste en disponer de una excavadora y colocarle en el brazo móvil el útil del que se disponga, ya sea un martillo hidráulico (Puntero) o una fresadora (útil de corte similar al de la rozadora). Se trata de un sistema de excavación de frente abierto y se utiliza en rocas de dureza media y baja (Zufferri Arqué, 2010).

Figura 4: Maquina Fresadora



Fuente: (Internet, 2018)

Excavación Mecánica Integral o Tuneladora

Los métodos de excavación mecánica con máquinas integrales, son aquellos que utilizan equipos que realizan de forma continua la excavación del túnel a sección completa (comúnmente la sección de la excavación es circular), simultáneamente con la operación de desescombro e incluso de revestimiento. Este tipo de máquinas reciben el nombre de tuneladoras o el de sus siglas en ingles TBM (Tunnel Boring Machine) (Priego de los Santos, 2013).

Figura 5: Tuneladora o TBM



Fuente: (Blog de Ferrovial, 2018)

A partir de las características del terreno se establecen dos grupos de máquinas tuneladoras: los topos y los escudos:

- ✓ Tuneladoras para Rocas duras: Topos
- ✓ Tuneladoras para Rocas blandas o suelos: Escudos

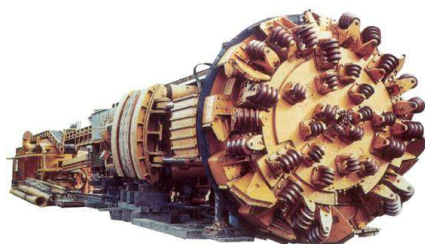
Los escudos a su vez se clasifican en: escudos de frente abierto o de frente cerrado.

- ✓ **Escudos de Frente Abierto (maquinas no presurizadas)**
 - (1) Escudos de Frente abierto con Excavadora
 - (2) Escudos de Frente abierto con Rozadora
- ✓ **Escudos de Frente Cerrado (maquinas presurizadas)**
 - (1) Hidroescudos
 - (2) Escudos de Presión de tierra
 - (3) Doble Escudos
 - (4) Escudos Mixtos

Tuneladoras para Rocas duras: Topos

Los Topos son máquinas diseñadas para excavaciones en roca dura o medianas, por lo que en principio no se requieren de técnicas de sostenimiento de las paredes del túnel; sin embargo en caso de fracturación de la roca es posible el uso de bulones. Y cuando la fracturación sea notable, es recomendable usar hormigón proyectado.

Figura 6: Tuneladora tipo Topo



Fuente: (Internet, 2018)

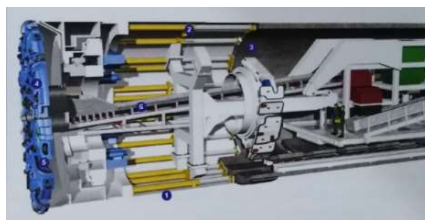
La cabeza giratoria de la tuneladora tipo topo, cumple 2 funciones principales (Martí, J.; Yepes, V.; González, F.; Alcalá, 2012):

- ✓ Excavar el frente moviendo los útiles de corte y transmitiendo la presión necesaria.
- ✓ Recoger el material excavado y facilitar su paso a la parte inferior de la máquina.

Tuneladoras para Rocas blandas o suelos: Escudos

El escudo es una máquina para excavar roca blanda y terreno poco resistente que incorpora siempre un sistema integral de protección, normalmente una carcasa metálica exterior que rodea el equipo perforador, para trabajar en terrenos inestables. Este elemento sostiene provisionalmente el terreno desde el frente de avance hasta donde se coloca el sostenimiento definitivo, garantizando en todo momento la seguridad de los trabajadores y la estabilidad de la excavación del túnel.

Figura 7: Esquema de Tuneladora tipo Escudo



Fuente: (Priego de los Santos, 2013)

Desde que en 1865, Brunel, utilizara por primera vez el escudo como método de construcción para la construcción del túnel bajo el río Támesis; este método de excavación y sostenimiento ha ido desarrollándose a lo largo de los años.

Descripción general de los **Escudos para frente abierto**:

Escudos de frente abierto con Excavadora

Este método se utiliza fundamentalmente en la técnica de hincas de tubos, obras de colectores, oleoductos, gaseoductos, etc., que utilizan un sistema de construcción de túneles sin zanja con diámetros inferiores a 4 metros, y donde el suelo es de baja resistencia a la compresión, suelos no cohesivos, como arenas o gravas (Priego de los Santos, 2013).

Escudos de frente abierto con Rozadora

Este método es similar al descrito anteriormente, pero la pala de la excavadora se cambia por un brazo rozador que se utiliza principalmente para terrenos más compactos y rocas blandas.

Descripción general de los **Escudos para frentes cerrados**.

Hidroescudos

Los Hidroescudos (en inglés Hydroshields) son tuneladoras de tipo cerrado, en las que se inyectan lodos bentoníticos en la cámara de la cabeza, que forman con el producto de la excavación una mezcla viscosa, que se mantiene a presión para estabilizar el terreno del frente (Priego de los Santos, 2013)

Figura 8: Hidroescudo

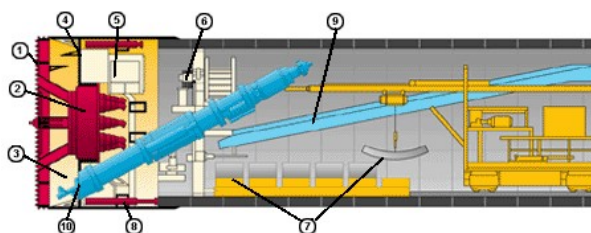


Fuente: (Priego de los Santos, 2013)

Escudos de Presión de tierra

Las tuneladoras de escudos de presión de tierra o EPBM (en inglés Earth Pressure Balance Machine) se utilizan para terrenos cohesivos, donde el sostenimiento del frente se realiza mediante un equilibrio de la presión del terreno más el agua del propio terreno con la presión que se mantiene en la cámara de extracción de la cabeza del escudo. (Priego de los Santos, 2013)

Figura 9: Esquema básico de Escudo de Presión de Tierra



Esquema básico de un escudo EPB

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. Rueda de Corte. | 6. Erector de dovelas. |
| 2. Accionamiento. | 7. Dovelas. |
| 3. Cámara de excavación. | 8. Cilindros de propulsión. |
| 4. Sensor de presión. | 9. Cinta transportadoras |
| 5. Escusa de aire comprimido. | 10. Sifin de extracción. |

Fuente: (Blog Víctor Yepes, 2013)

Doble escudos

El doble escudo es una maquina concebida en un escudo telescópico articulado en dos piezas, que además de proporcionar un sostenimiento continuo del terreno durante el avance del túnel, permite en aquellos casos en que el terreno puede resistir la presión de los grippers, simultanear las fases de excavación y sostenimiento. (Priego de los Santos, 2013)

Figura 10: Esquema interior de Tuneladora Doble Escudo

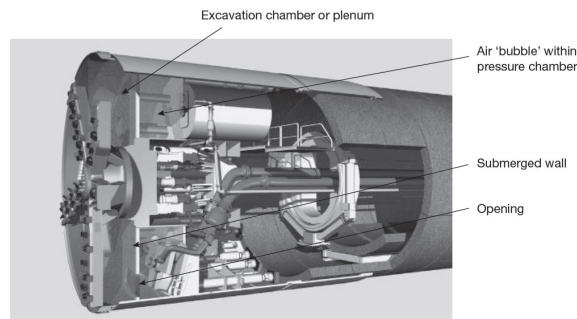


Fuente: (Internet, 2018)

Escudos mixtos

El escudo mixto (inglés Mixshield) es una maquina polivalente para excavar en diferentes tipos de geologías. Está dotada de las funciones básicas de un hidroescudo y de un escudo de presión de tierras (EPBM), además de poder trabajar como escudo abierto, e incluso con aire comprimido. Se suelen utilizar fluidos para sostener el frente de excavación y una suspensión de bentonita (mezclada con el agua y la tierra excavada) para transportar el material excavado. Hoy en día es el tipo de escudo más utilizado en la construcción de túneles en zonas urbanas. (Priego de los Santos, 2013)

Figura 11: Tuneladora de Escudo Mixto



Fuente: (Chapman, David; Metje, Nicole and Stark, 2010)

3.1.3.3 Sistemas constructivos Subterráneos a sección parcial

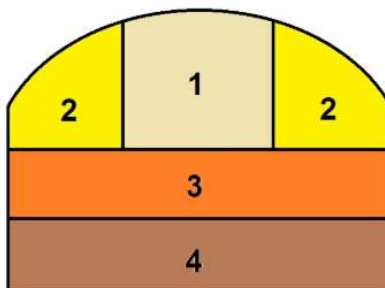
Se refieren a los métodos tradicionales de construcción de túneles que son:

- ✓ Método Inglés
- ✓ Método Alemán
- ✓ Método Belga
- ✓ Nuevo Método Austriaco

Método Inglés

Este método de excavación comienza, en su fase 1 (ver figura X), con una galería central de sección pequeña y fácil de controlar, de unos 3m² y una longitud de entre 3 a 4 m. la excavación se entiba con puntales y tablonos o con placas metálicas. Una vez asegurada la fase 1, se puede ampliar la excavación hacia los laterales, en la fase 2. Este proceso es más rápido al atacar los laterales. Posteriormente se excavan en franjas horizontales, en las fases 3 y 4. Una vez se ha excavado la sección completa del túnel, se procede al revestimiento, comenzando por la solera o contra bóveda (Yepes Piqueras, 2016b)

Figura 12: Esquema de excavación en Método Inglés

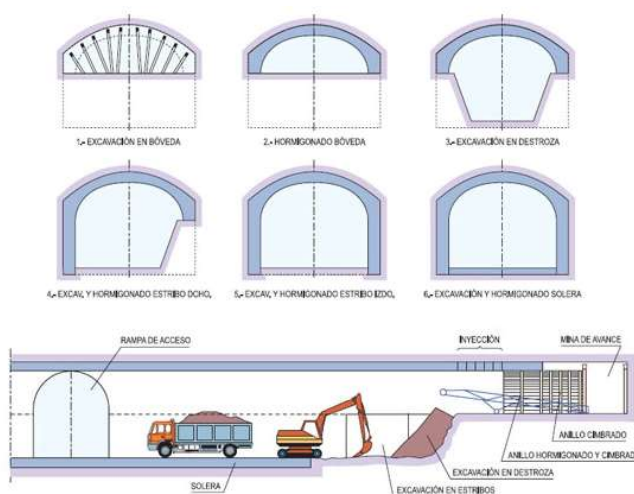


Fuente: (Blog de Víctor Yepes, 2016)

Método Belga

Este método consiste en realizar la excavación abriendo una pequeña galería en la clave del túnel para ir ensanchando poco a poco, protegiendo y entibando el frente, hasta permitir hormigonar la bóveda. El primer elemento excavado es la bóveda del túnel (se suele denominar avance en bóveda o calota). La bóveda se sostiene en el terreno mediante un entramado progresivo de madera. La bóveda se asegura con un encofrado y cuando está asegurada, la parte inferior se va excavando a medida que se va asegurando el avance. De esta forma la galería se va construyendo a medida que se avanza sin poner en riesgo a los trabajadores debido al hundimiento del túnel (Yepes Piqueras, 2013)

Figura 13: Esquema de excavación en Método Belga

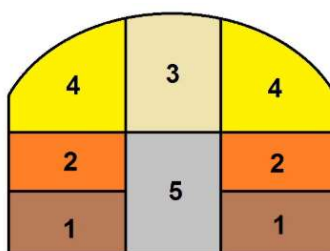


Fuente: (Blog de Víctor Yepes, 2013)

Método Alemán

Es un método de construcción de túneles de grandes luces que también se emplea cuando el terreno es muy malo y resulta peligroso descalzar parte de la bóveda para ejecutar los hastiales, como es el caso del método belga. Con este procedimiento se puede reaccionar con mayor rapidez que el método belga en el caso de aparecer agua, en terrenos sueltos o capas arenosas. Permite reducir los posibles asentamientos diferenciales que producirían grietas en la bóveda y asentamientos en superficie (Yepes Piqueras, 2016a)

Figura 14: Esquema de excavación en Método Alemán



Fuente: (Blog de Víctor Yepes, 2016a)

Nuevo Método Austriaco (en inglés New Austrian Tunnelling Method, NATM)

Consiste en una excavación secuencial a sección completa y la colocación inmediata de un sostenimiento primario temporal, antes de que el terreno se vea afectado por el proceso de descompresión. Se trata de un conjunto de sistemas de ejecución en el que se controlan las tensiones y las deformaciones del terreno desde el comienzo de la excavación, pretendiendo que el terreno colabore como elemento resistente frente a los incrementos tensionales producidos por la excavación, y participe en la función portante. (Priego de los Santos, 2013)

Figura 15: Nuevo Método Austriaco, excavación de bóveda



Fuente: (Chapman, David; Metje, Nicole and Stark, 2010)



3.2. GESTION DE RIESGOS

Todas las organizaciones están expuestas a riesgos que pueden afectar el cumplimiento de los objetivos del proyecto durante su desarrollo.

Por esta razón, las organizaciones deben adoptar medidas que permitan reaccionar oportunamente ante cualquier tipo de riesgo y ayuden a una mejor toma de decisiones, para lo cual se crean sistemas de gestión de riesgos que responsan de manera eficiente.

3.2.1 ANTECEDENTES

En los años 60 ingresan al mundo de la empresa los conceptos de Gestión de Riesgos, debido a los avances en la tecnificación y modernización de ciertos procesos que hasta ese entonces se realizaban de forma manual, con lo cual muchos sectores productivos se vieron en la necesidad de mejorar el proceso de control de estas actividades.

Pero sería hasta mediados de los años 70 que se instaló de lleno en las empresas el concepto de Gestión de Riesgos, debido a la aparición de las primeras normas y estándares relacionados a este tema; siendo el más importante el código de seguridad nuclear que publicó la *US Nuclear Regulatory Commission*, que buscaba minimizar los riesgos a los que estaba expuesto el sector nuclear en los Estados Unidos.

Los conceptos de Gestión de Riesgo, se asimilaron y consolidaron en las empresas cuando a finales de los 90, Australia y Nueva Zelanda publican la norma *AS/NZ 4360* sobre administración de riesgo en sus empresas públicas, y por otro lado en 2002 el Instituto Británico de Gestión de Riesgos publico el estándar *Risk Management Standard* (IRM).(ISOTools, 2018)

3.2.2 DEFINICIONES

3.2.2.1 Gestión

El término gestión, se utiliza para referirse al conjunto de acciones o diligencias que permiten la realización de cualquier actividad o deseo. Dicho de otra manera, una gestión se refiere a todos aquellos trámites que se realizan con la finalidad de resolver una situación o materializar un proyecto. (Wikipedia, 2011).

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

En general, la gestión es un proceso de coordinación e integración de actividades (productivas y/o administrativas) de modo que se desarrollen de forma eficiente y eficaz utilizando unos recursos escasos (Lozano, 2018)

3.2.2.2 Proyecto

El marco general de un proyecto se establece por su definición. Para ello se necesita cubrir tres conceptos fundamentales: el objeto (la meta o propósito) del proyecto, el alcance del proyecto y los resultados esperados del mismo. (Pellicer, 2006)

La definición más precisa sería que un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. (Project Management Institute, 2013)

De acuerdo a la definición del Project Management Institute (PMI) un proyecto debe tener dos condiciones fundamentales para considerarse como tal, la temporalidad y la unicidad. Esto quiere decir que un proyecto tendrá un plazo definido (inicio y fin) y además debe ser único, es decir no debe ser igual a los proyectos anteriores ni a los posteriores.

3.2.2.3 Gestión de Proyectos

A partir de las definiciones previas, la gestión de proyectos consiste en la acción de una o varias personas para crear un producto, servicio o resultado, el cual deberá ser único y con fecha de inicio y término preestablecidas; y además se realizará de forma organizada y con recursos limitados.

La gestión o dirección de un proyecto es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. (Project Management Institute, 2013)

3.2.2.4 Ciclo de Vida de un Proyecto

El ciclo de vida de un proyecto consiste en una serie de fases por las que atraviesan un proyecto desde su inicio hasta su cierre. (Project Management Institute, 2013)

Según esta definición, los proyectos cuentan con un inicio y un fin definido preliminarmente y estarán conformados por etapas o fases evolutivas y secuenciales, que en su conjunto conformarán todo el ciclo de vida de un proyecto.

En general, el ciclo de vida de un proyecto está conformado por cuatro etapas dependientes entre sí y con objetivos ya definidos, que son:

- ✓ Inicio del Proyecto
- ✓ Organización y Preparación



- ✓ Ejecución del Trabajo
- ✓ Cierre del proyecto

3.2.2.5 Incertidumbre

Es la falta de capacidad para estimar una variable, que no puede ser determinada con precisión. (Extremiana Vázquez, 2012)

3.2.2.6 Riesgo

Es el efecto de la incertidumbre en los objetivos. El riesgo a veces, es expresado en términos de una combinación de las consecuencias de un evento (incluyendo cambios en las circunstancias) y asociado a la probabilidad de ocurrencia. (International Organization for Standardization, 2009)

Es decir, es una medida de la probabilidad, la severidad y la exposición de todos los peligros de una actividad. (Jannadi & Almishari, 2003)

El riesgo de un proyecto, es un evento o condición incierta que, de producirse, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto, tales como el alcance, el cronograma, el coste y la calidad. (Project Management Institute, 2013)

3.2.2.7 Gestión del Riesgo

Es el arte y ciencia de anticiparse y planificar eventos inciertos en el futuro. Se concentra en identificar y analizar un rango de posibles resultados, y luego en controlar y mitigar los impactos negativos. (Alarcón, Ashley, de Hanily, Molenaar, & Ungo, 2011)

También se define como la cultura, procesos y estructuras que están dirigidas hacia la consecución de oportunidades potenciales mientras se manejan efectos adversos. (Joint Technical Committee, 2004)

Los beneficios del proceso de la gestión de riesgos incluyen la identificación y análisis de los riesgos, y la mejora en los procesos de la gestión de proyectos de construcción y el uso eficiente de los recursos. (Banaitiene & Banaitis, 2013)

3.2.3 TIPOLOGÍA DE LOS RIESGOS

Los riesgos están presentes en todos los sectores y en cada uno se clasifica de acuerdo a sus exigencias.



Sin embargo, la clasificación aceptada por los proyectos es la indicada por el PMI en la Guía de Gestión de Proyectos en el capítulo correspondiente a la Gestión de Riesgos.

Según el origen de la incertidumbre, el PMI define dos tipos de riesgos:

3.2.3.1 Riesgos conocidos

Los riesgos conocidos son aquellos que han sido identificados y analizados, lo que hace posible planificar respuestas para ellos. A los riesgos conocidos que no se pueden gestionar de manera proactiva se les debe asignar una reserva de contingencia. (Project Management Institute, 2013)

3.2.3.2 Riesgos desconocidos

Los riesgos desconocidos no se pueden gestionar de manera proactiva y por lo tanto se les puede asignar una reserva de gestión. (Project Management Institute, 2013)

3.2.4 GESTIÓN DE RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN

En la industria de la construcción la euforia, el optimismo y la emoción de un nuevo proyecto a veces lleva a la actitud de “todo ira de acuerdo al plan”. Tendemos a entregar presupuestos, estimaciones y fechas de culminación basadas en que todo ira de acuerdo a lo planeado. La construcción tiene muchas variables y las cosas rara vez salen de acuerdo al plan. Las personas deberían ser alentadas a tener “lluvia de ideas de pensamientos disruptivos” y estas ideas, necesitan ser recolectadas en el sistema de gestión de riesgos donde se pueda llevar a cabo el análisis.(Flanagan & Norman, 1993)

Un proceso de gestión de riesgos eficaz incentiva a las empresas constructoras a identificar y cuantificar los riesgos y a considerar las contingencias y políticas de reducción de riesgos. Empresas de construcción que gestionan eficaz y eficientemente el riesgo gozan de menores gastos financieros, y grandes productividades, mejorando el éxito de los ratios del nuevo proyecto y con toma de decisiones mejor pensadas.(Banaitiene & Banaitis, 2013)

Asimismo, siguiendo la línea de la definición de la norma AS/NZ 4360, la gestión de riesgos en el contexto de la gestión de proyectos de construcción consiste en una forma sistemática de identificar, analizar y tratar con los riesgos asociados al proyecto, con la finalidad de alcanzar los objetivos de la obra.(Zou, Zhang, & Wang, 2007)

La gestión de riesgos en la industria de la construcción, desarrollada de una forma sistemática y organizada, es relativamente nueva; sin embargo cada vez es más utilizada en proyectos

de gran envergadura, donde el monto de inversión es elevado y los plazos de ejecución son reducidos.

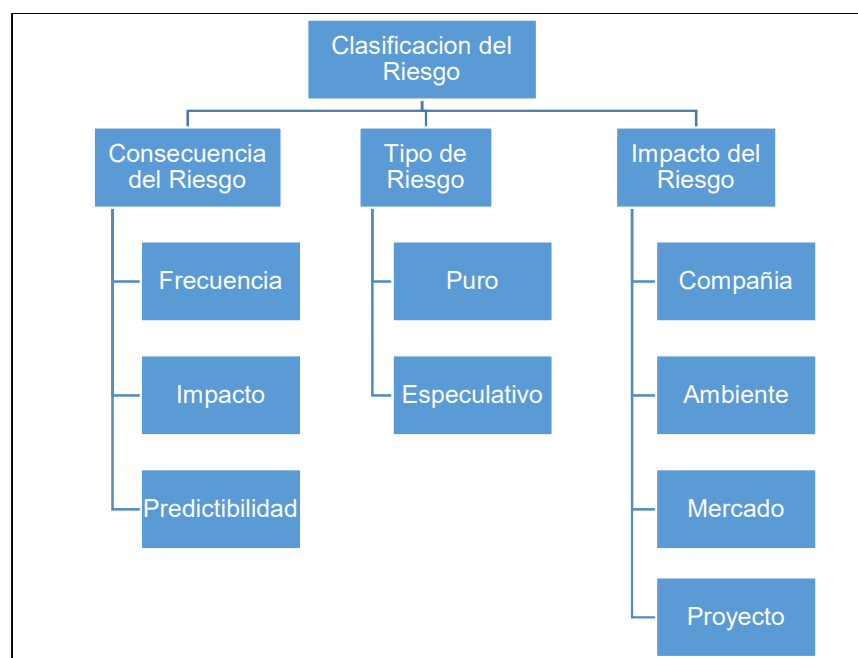
3.2.4.1 Clasificación

El desarrollo de la gestión de riesgos requiere conocer los tipos de riesgos a los que está expuesta una obra; como se indicó previamente, estos pueden ser conocidos o desconocidos; pero para proyectos de construcción esta clasificación es muy general.

Mientras que los riesgos sistemáticos de una compañía pueden dividirse en dos componentes: riesgos de negocio y riesgos financieros; en la industria de la construcción estos conceptos no ayudan en definir los tipos de riesgo.(Flanagan & Norman, 1993)

Existen 3 formas de clasificar los riesgos: por la identificación de consecuencias, por el tipo y por el impacto del riesgo.

Figura 16: Clasificación del Riesgo



Fuente: (Flanagan & Norman, 1993)

Según Flanagan & Norman, en proyectos de construcción existen dos tipos de riesgos: **puros y especulativos**. Los riesgos puros o estáticos, son aquellos en donde no existe una ganancia potencial, debido a la posibilidad de un accidente o algún tipo de fallo. Por otro lado, los riesgos

especulativos se refieren a aquellos en donde podrían existir pérdidas o ganancias de tipo financiero, técnico o físicos.

El propósito de formar una taxonomía o clasificación de los riesgos es doble: primero, expandir la conciencia del constructor sobre los riesgos involucrados. Segundo, es necesario clasificar los riesgos porque las estrategias que adopte el constructor para mitigar los riesgos podría variar de acuerdo a su naturaleza. (Al-Bahar & Crandall, 1990)

Según Al-Bahar & Crandall, establecen el siguiente esquema de clasificación de riesgos:

Tabla 8: Clasificación para los Riesgos

Categoría del Riesgo	Riesgos Típicos
Actos de Dios	Inundaciones, Sismos, Desprendimiento de taludes, Incendios, Tormentas.
Físicos	Daños a estructuras, daños a equipos, accidentes laborales, daño o robo de materiales o equipos.
Financieros y Económicos	Inflación, disponibilidad de fondos del cliente, fluctuaciones en el tipo de cambio, incumplimiento financiero de subcontratistas.
Políticos y Ambientales	Cambios en leyes y regulaciones, guerras civiles y/o desorden, requerimientos para permisos y sus aprobaciones, contaminación y reglas de seguridad, expropiaciones, embargos.
Diseño	Alcance del diseño incompleto, diseño deficiente, errores y omisiones, especificaciones inadecuadas, diferentes condiciones de sitio.
Relacionados a la Construcción	Atrasos por clima, conflictos laborales y huelgas, productividad laboral, trabajos deficientes, cambios en el diseño, falla de equipos, etc.

Fuente: (Al-Bahar & Crandall, 1990)

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

3.2.4.2 Gestión de Riesgo durante el Ciclo de Vida de la Obra

Se ha evaluado la gestión de riesgos en proyectos de construcción en diferentes partes del mundo como Australia, China, Noruega, Dinamarca, Tailandia, Lituania o Panamá; con la finalidad de estudiar los factores de riesgo que afectan el desempeño de los proyectos. Las investigaciones, en muchos casos, realizan el análisis del riesgo en cada una de las etapas del ciclo de vida de la infraestructura y reparten las responsabilidades entre el contratista y el propietario.

El ciclo de vida de una infraestructura, está normalmente dividido en cuatro etapas que incluyen: la fase conceptual (factibilidad), de diseño, de construcción y de operación; por lo que es necesario contar con una visión global del proyecto en todas sus fases para una correcta evaluación de los riesgos en cada una de ellas. (Zou et al., 2007)

Según Zou et al., (2007) los responsables sobre la gestión de los riesgos en cada una de las 3 primeras etapas del ciclo de vida de la infraestructura están claramente identificadas, de la siguiente forma:

- ✓ **Etapas de Factibilidad**
Gran parte de los riesgos asociados al cliente y las agencias gubernamentales.

- ✓ **Etapas de Diseño**
Los diseñadores tienen un rol muy importante. El mayor riesgo es que entiendan las necesidades del cliente y lo que ellos quieren.

- ✓ **Etapas de Construcción**
Gran parte de los riesgos están asociados al contratista y los subcontratistas.

El uso de la gestión de riesgos desde las etapas tempranas de un proyecto, donde las decisiones importantes como por ejemplo la elección del alineamiento y la elección del método constructivo para un túnel influyen, es esencial. (Eskesen, Tengborg, Kampmann, & Holst Veicherts, 2004)

Según Eskesen et al., (2004), un correcto uso de la gestión de riesgos a lo largo de un proyecto estaría dividido en las siguientes 3 fases:

- ✓ Fase 1: Gestión de Riesgos en fase de Diseño preliminar
- ✓ Fase 2: Gestión de Riesgos en fase de Licitación y Negociación del Contrato
- ✓ Fase 3: Gestión de Riesgos en fase de Construcción

Por otro lado, una adecuada gestión de los riesgos requiere que estos sean correctamente identificados y asignados. Esto sólo se podrá conseguir si las partes contratantes comprenden sus responsabilidades en los riesgos, las condiciones de los eventos de riesgo y la capacidad de manejarlos. (Banaitiene & Banaitis, 2013)

Para gestionar eficientemente un amplio rango de características complejas, los responsables en la organización deberán considerar el desarrollo de una estrategia para la gestión de riesgos que estaría compuesta por seis pasos esenciales: (1) identificación, (2) evaluación, (3) mitigación, (4) asignación, (5) tratamiento para el riesgo detenido, y (6) monitoreo. Véase la tabla 8 (World Bank Group, 2018)

Tabla 9: Los pasos para el desarrollo de la estrategia de Gestión de Riesgos

Pasos	Descripción
1. Identificación	Identificar y describir todos los riesgos posibles y entender su impacto.
2. Evaluación	Examinar posibles impactos de los riesgos y categorizarlos usando métodos cualitativos y cuantitativos
3. Mitigación	Mecanismos de medición que reduzcan la probabilidad y el impacto de los riesgos si es que estos se materializan (o reducir el riesgo percibido reduciendo la incertidumbre)
4. Asignación	Asignar consecuencias financieras a los clientes mejor posicionados, para que traten con ellas.
5. Tratamiento	Lidiar con riesgos aceptados o retenidos bajo diferentes estrategias, como auto seguros, fondos de contingencia y seguros, o reaccionar a las consecuencias.
6. Monitoreo	Conduzca la supervisión de los riesgos para estar preparado para actuar con prontitud y eficacia, establezca medidas de mitigación concretas para los riesgos que sufren aumento de probabilidad, reevalúe los riesgos, identifique o incorpore nuevos riesgos, cambie de prioridades y actualice permanentemente los sistemas y estrategias de control de riesgos dependiendo de los cambios de contexto del proyecto.

Fuente: (World Bank Group, 2018)

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

En las fases de diseño preliminar y de licitación algunos riesgos pueden transferirse, bien sea contractualmente o mediante aseguradoras, otros pueden ser eliminados y otros reducidos. En la fase de construcción, sin embargo, las posibilidades de transferir el riesgo son mínimas y una estrategia adecuada tanto para el propietario como para el contratista es reducir la severidad de todos los riesgos posibles mediante la planificación e implementación de iniciativas o tareas de reducción o eliminación del riesgo. (Extremiana Vázquez, 2012)

3.2.5 GESTIÓN DE RIESGOS SEGÚN LA NORMA ISO 31000

Las normativas que aparecían en diferentes partes del mundo presentaban dos problemas principales para su uso masivo; el primero, era que estaban dirigidas a sectores específicos, lo que reducía su extensión e impacto. El segundo, era que presentaban diferencias en los criterios entre cada una de estas normas.

Debido a estos inconvenientes, en 2009 la Organización Internacional de Normalización (ISO) elaboró una norma que abordaba la Gestión de Riesgos de forma global y que dieron origen a la norma ISO 31000 en su primera versión.

La norma busca que cada empresa implemente un sistema de Gestión de Riesgo para reducir los obstáculos que impiden la consecución de sus objetivos.

La ISO 31000 establece 3 criterios que rigen la gestión de riesgos en todo tipo de proyecto:

- ✓ Los Principios
- ✓ El Marco de Referencia
- ✓ El Proceso

Cada uno dependiente del otro y en conjunto forma los lineamientos para la correcta gestión.

La norma describe en detalle el proceso sistemático y lógico que significa la gestión de riesgos; con la identificación, análisis y evaluación del riesgo. Además, permite que la gestión de cualquier tipo de riesgo se realice sistemática, transparente y creíblemente.

Las ventajas, que ofrece el uso de una norma estándar para la gestión de riesgos, son:

- ✓ Incrementar la probabilidad de alcanzar los objetivos.
- ✓ Estimular la gestión proactiva en el proyecto.
- ✓ Concientizar sobre la necesidad de identificar y tratar los riesgos.
- ✓ Minimizar las pérdidas.

3.3.5.1 Los Principios

Según la norma, para alcanzar una gestión de riesgos eficaz es necesario conseguir que la organización en todos sus niveles de ejecución entienda y cumpla con los ocho principios básicos indicados en la figura 17.

Figura 17: Principios básicos según ISO 31000



Fuente: (UNE-ISO-31000, 2018)

Los principios planteados conforman la filosofía de la gestión de riesgos según la norma ISO 31000. A partir de estos fundamentos, se establece el siguiente paso que es el desarrollo de un marco de referencia para la gestión en la organización.

Los involucrados en el proceso productivo de la organización deben estar alineados y conocer los principios, para garantizar un flujo continuo en el proceso de gestión.

3.3.5.2 El Marco de Referencia

El propósito del marco de referencia de la gestión de riesgo, es asistir a la organización en integrar la gestión del riesgo en todas sus actividades y funciones significativas.

Es decir, el éxito en la gestión de riesgos dependerá de la eficacia en la gestión del marco de referencia, garantizándose la entrega de los fundamentos y acuerdos que regirán a todos los niveles de la organización.

Por otro lado, el marco de referencia asegura que la información acerca del riesgo sea utilizada como base para la toma de decisiones y asignación de responsabilidades, en todos los niveles de la organización.

Figura 18: Componentes del Marco de Referencia según ISO 31000



Fuente: (UNE-ISO-31000, 2018)

El funcionamiento del marco de referencia para la gestión de riesgos dependerá principalmente del liderazgo y el compromiso, tanto de la alta dirección y como de los órganos supervisores.

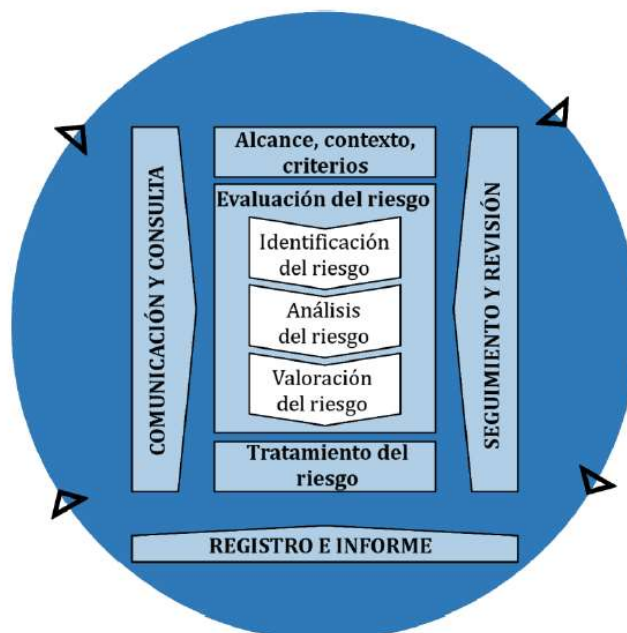
Tabla 10: Explicación de los Componentes del Marco de Referencia

Integración	
	<p>Dependerá de las estructuras y el contexto de la organización.</p> <p>Además es un proceso dinámico e iterativo que se debería adaptar a las necesidades y a la cultura de la organización.</p>
Diseño	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprensión de la organización y de su contexto. 2. Articulación del compromiso con la gestión del riesgo. 3. Asignación de roles, autoridades, responsabilidades y obligaciones. 4. Asignación de recursos. 5. Establecimiento de la comunicación y consulta.
Implementación	
	<p>Requerirá el compromiso y la toma de conciencia de las partes interesadas.</p> <p>Para ello se debería:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar un plan que incluya plazos y recursos. 2. Identificar los tomadores de decisiones en la organización.
Valoración	
	<p>Se deberá medir periódicamente el desempeño del marco de referencia con relación a su propósito, planes de implementación, indicadores y comportamientos esperados.</p>
Mejora	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adaptación 2. Mejora Continua

Elaboración propia

3.3.5.3 El Proceso

Luego de conocer y asimilar los principios, y establecer el marco de referencia que propone la norma, se debe definir el proceso de gestión de riesgos.

Figura 19: Proceso de la Gestión de Riesgo

Fuente: (UNE-ISO-31000, 2018)

Comúnmente se considera que la gestión de riesgos en un proyecto está limitada sólo a la evaluación del riesgo es decir: la identificación, el análisis y la valoración del riesgo; sin embargo estos tres pasos sólo corresponden una parte de todo el modelo de gestión de riesgos que propone la norma ISO 31000, y sólo delimita el problema sin colocarlo en un contexto mayor, como por ejemplo su afectación con el entorno de la organización o las medidas correctivas o de tratamiento que requiere el riesgo identificado.

3.3. METODO DELPHI

3.3.1 ANTECEDENTES

La técnica Delphi fue desarrollada durante los años 50 por trabajadores de la Corporación RAND. Utilizaron la técnica para recolectar el conocimiento y el juicio de expertos para crear un sistema de destino industrial óptimo en los Estados Unidos para la fuerza aérea de este país. La primera aplicación no militar fue iniciada en un estudio que se enfocaba en la previsión de eventos tecnológicos emergentes. (Hallowell, 2008)

3.3.2 OBJETIVOS

El método Delphi es una técnica de investigación sistemática e interactiva para obtener el juicio de un panel de expertos independientes acerca de un tema específico. Los individuos son seleccionados de acuerdo a criterios predefinidos y son consultados para participar en 2 o más rondas de cuestionarios. (Hallowell & Gambatese, 2010)

Los objetivos específicos del método son los siguientes. (Hallowell, 2008):

- ✓ Obtener una visión a partir de un grupo de expertos certificados (exactitud)
- ✓ Establecer un grado de consenso (precisión)
- ✓ Mantener el anonimato de la diversidad del panel de expertos a lo largo del proceso (imparcialidad)
- ✓ Responder un cuestionario que no puede ser direccionado utilizando procedimientos estadísticos estándares debido a la naturaleza de la pregunta o carencia de datos objetivos (juicio / criterio)

3.3.3 CARACTERÍSTICAS

Para ser clasificado como un Delphi, la investigación requiere cuatro elementos claves: anonimato, iteración, retroalimentación controlada y estadística global. (Hallowell, 2008)

3.3.3.1 Anonimato

Primero, el aporte de los expertos debe ser anónimo. El anonimato asegura que aspectos negativos de la interacción del grupo como por ejemplo conflictos sociales, personales y políticos se eviten y aspectos positivos como conocimiento de algunas fuentes, información externa y síntesis creativa sean explotados.

3.3.3.2 Iteración

Múltiples iteraciones permiten a los miembros del panel estar informados sobre las opiniones de los otros miembros (anónimamente) a través de un método de realimentación controlada. Las iteraciones permiten a los miembros del panel ajustar sus respuestas a la luz de las otras opiniones.

3.3.3.3 Retroalimentación controlada

La retroalimentación es el medio por el que la información se transfiere a través de los miembros del panel en una manera que aliente a los expertos a considerar la opinión de otros.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Hay muchos métodos de control de la retroalimentación dependiendo de la naturaleza de la investigación. Por ejemplo incluyendo el grado de certeza o la respuesta promedio.

3.3.3.4 Estadística global de respuestas grupales

Luego de la iteración final las respuestas del grupo son englobadas en una respuesta que representa la opinión del grupo de expertos. Esta estadística global se manifiesta típicamente mediante medianas, medias o cuartiles. Análisis estadísticos más complicados son típicamente inapropiadas dada la estructura del método.

3.3.4 VENTAJAS

El método Delphi no es una técnica de investigación apropiada para todos los estudios. A pesar de ello, es una de las técnicas basada en juicio más riguroso. (Hallowell, 2008)

Tabla 11: Fortalezas del método Delphi como técnica de investigación viable

Soporte	Fuente
El consenso se puede alcanzar en un área de incertidumbre o cuando datos objetivos no son disponibles.	(Murphy, Black et al. 1998)
El anonimato lleva a mayores resultados creativos y enriquece los datos.	(Okoli y Pawlowski 2004))
El anonimato y la realimentación controlada eliminan problemas como influencias, conflicto de intereses, presión de grupos	(Murphy, Black et al. 1998)
Poco costo para su organización y administración.	(Rowe y Wright 1999)
Uso de tecnologías modernas como encuestas por internet y el e-mails reducen los tiempos requeridos para las iteraciones	(Rajendran 2006)
Opinión experta de personas que se encuentran en locaciones geográficamente variadas pueden ser fácilmente obtenidas.	
Tendencias pueden ser limitadas por un facilitador efectivo a través de una retroalimentación controlada y un análisis cuidadoso de las respuestas del grupo.	

Fuente: (Hallowell, 2008). Elaboración propia

3.3.5 LINEAMIENTOS PARA IMPLEMENTAR EL METODO

Según Hallowell & Gambatese, se deben cumplir una cierta cantidad de cualificaciones por parte de los expertos y un numero de expertos que conformen el panel, así como un numero de rondas requerido. Véase la tabla 12.

Tabla 12: Lineamientos para Implementar el método Delphi

CARACTERÍSTICAS	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS
Identificación del experto potencial	<p>Miembro de un comité nacional reconocido enfocada en el área de la investigación (p.e. ASCE)</p> <p>Escritor de publicaciones en revistas ASCE.</p> <p>Participación reconocida en estudios similares.</p>
Panelistas calificados como expertos	<p>Los expertos deben satisfacer al menos 4 de los siguientes criterios sobre el tema relacionado a la investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Invitado participante de una conferencia. • Miembro de algún comité nacional reconocido. • Al menos 5 años de experiencia profesional. • Miembro facultado de alguna institución acreditada. • Escritor de publicaciones relacionada a construcción.
Numero de panelistas	8 – 12
Numero de rondas	3
Retroalimentación por cada ronda	
Ronda 1	Datos de investigaciones previas
Ronda 2	La mediana de respuestas de la ronda 1
Ronda 3 (en adelante)	La mediana de respuestas de la ronda 2
Medida de consenso	Desviación absoluta (con consensos indicados por un valor < 1/10 del rango de posibles valores para estudios cuantitativos)

Fuentes: (Hallowell & Gambatese, 2010). Elaboración propia



CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4. METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

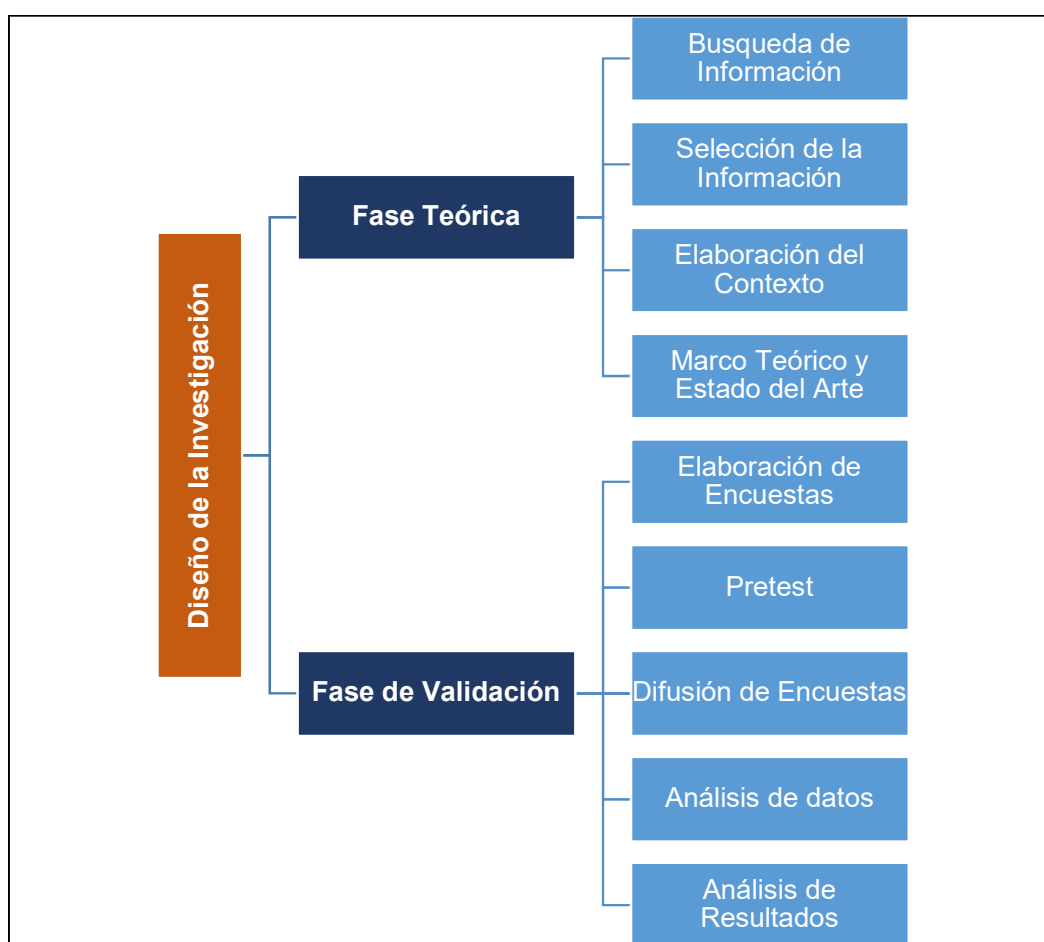
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según la naturaleza de la información que se recoge, esta es una investigación cualitativa.

4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se divide en dos partes; la primera es la fase teórica que corresponde al estudio del estado del arte y desarrollo del marco teórico. La segunda fase será de validación empírica y analítica mediante encuestas a un panel de expertos.

Figura 20: Diseño de la Investigación

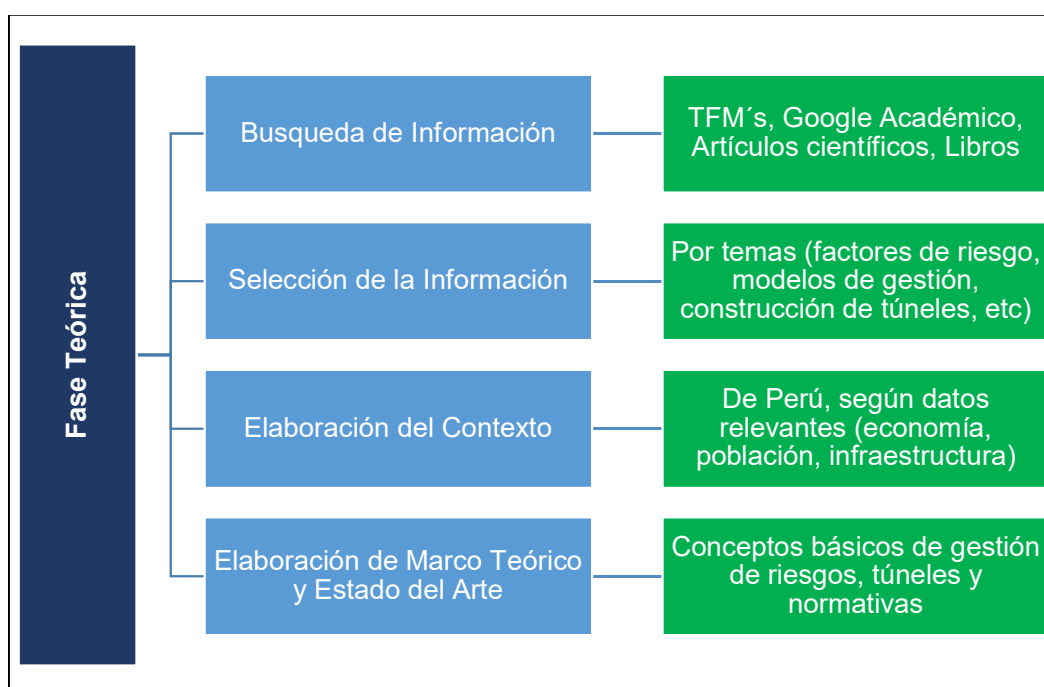


Elaboración propia

4.2.1. FASE TEÓRICA

En la fase teórica se hace un estudio del contexto del Perú y del tema de investigación, se desarrolla el marco teórico y el estado del arte a partir de la búsqueda, selección y estudio de información existente sobre la gestión de riesgos para la fase de construcción de túneles para metros. El contexto del Perú se desarrolla en detalle en el Capítulo 2 y el marco teórico y estado del arte en el Capítulo 3.

Figura 21: Fase teórica de la Investigación



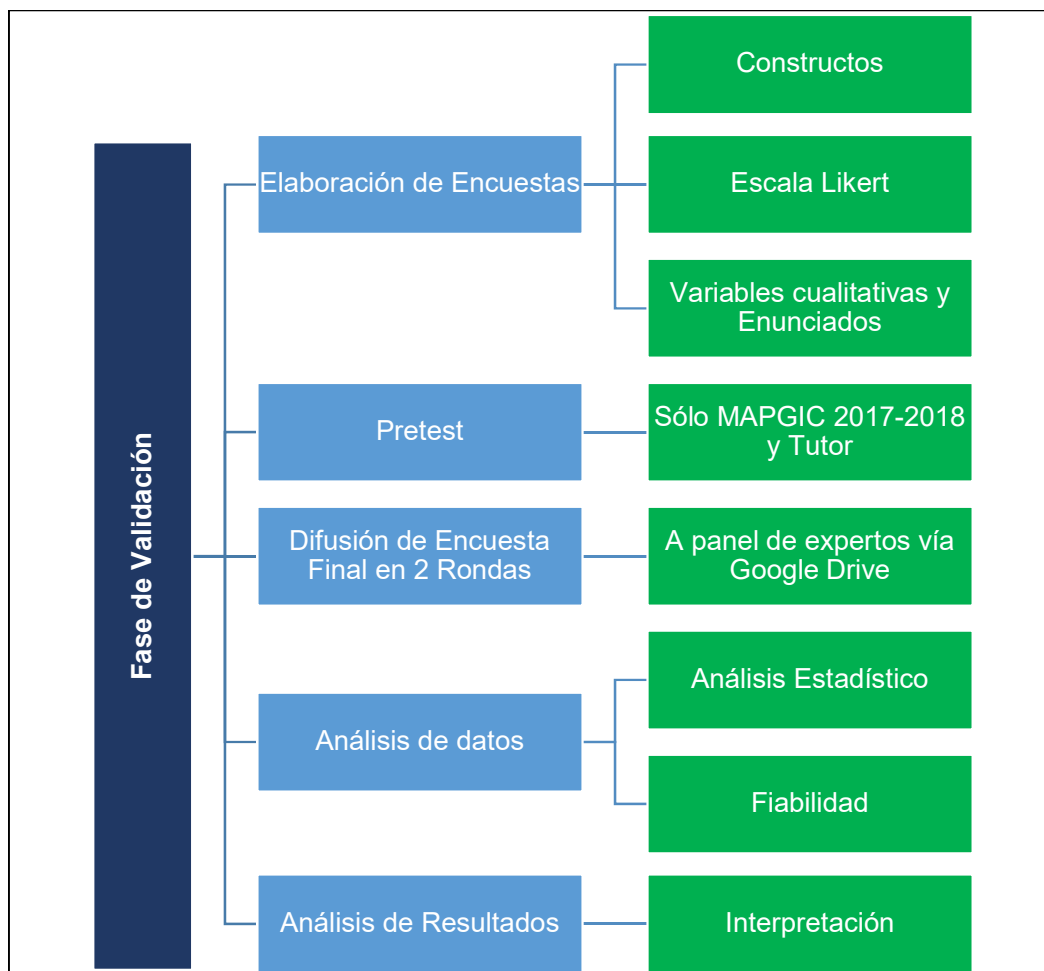
Elaboración propia

4.2.2. FASE DE VALIDACIÓN

En esta fase se hace un estudio más preciso del problema que se está estudiando a partir del estudio del marco teórico, para obtener resultados cuantitativos que ayuden a resolver el problema planteado en la investigación.

Se plantea trabajar con el método Delphi, buscando el consenso de un panel de expertos seleccionado en base a su experiencia y conocimientos.

Figura 22: Fase de Validación de la Investigación



Elaboración propia

4.3. MÉTODO DELPHI

Es un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. (Linstone y Turoff, 1975)

En esta investigación se utilizará este método debido a la complejidad que supone la gestión de riesgos en la construcción de túneles para metros, además por las variables que se deben tener en consideración para plantear el sistema de gestión y que deben ser validadas por un panel de expertos.

4.3.1. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

Alcanzar un consenso para la aplicación del estándar ISO 31000 en proyectos de construcción de túneles para metros en Perú. Un panel de expertos pre seleccionados analizará cuestiones planteadas para validarlas, llegando a consensos sobre riesgos identificados, gestión de los riesgos según el estándar ISO y consideraciones para la gestión de riesgo en obras.

4.3.2. PANEL DE EXPERTOS Y CUESTIONARIO

El método Delphi requiere establecer un número de expertos que serán encuestados y avalarán los resultados en base a su experiencia, y que deberán responder un cuestionario previamente elaborado y analizado por el director del estudio (facilitador).

4.3.2.1 Panel de Expertos

Para seleccionar el panel de experto se recurre a una evaluación previa basada en los siguientes criterios: autoevaluación del experto, nivel de conocimiento del experto sobre el tema y su experiencia. Según Sierra (2012) se deben definir algunos coeficientes de evaluación del panel de expertos para valorar sus grados de competencia.

Tabla 13: Coeficientes para la valoración del Panel de expertos

Coeficiente	Fórmula
Conocimiento (Kc)	$V \times 0.1 = Kc$
Argumentos (Ka)	$0.2 + \sum_{i=1}^2 Ai = Ka$
Competencia (K)	$\frac{Kc + Ka}{2} = K$

Fuente: (Sierra et al., 2016)

Donde:

V : Autovaloración del potencial experto. Usa una escala de 1 a 10.

A1 : Coeficiente Análisis Teórico. (0.3 si es alto, 0.2 si es medio y 0.1 si es bajo)

A2 : Coeficiente Experiencia en su campo (0.5 es alto, 0.4 es medio y 0.2 es bajo)

Tabla 14: Coeficientes de competencia para la selección de los expertos

Coeficientes de Competencia de Expertos				
Experto	Kc	Ka	K	Nivel
1	0.80	0.90	0.85	Alto
2	0.70	0.90	0.80	Alto
3	0.80	1.00	0.90	Alto
4	0.90	1.00	0.95	Alto
5	0.80	0.90	0.85	Alto
6	1.00	1.00	1.00	Alto
7	0.80	0.90	0.85	Alto
8	0.90	1.00	0.95	Alto
9	0.70	0.90	0.80	Alto
10	1.00	1.00	1.00	Alto
11	1.00	1.00	1.00	Alto

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 14, todos los expertos presentan un nivel alto. Se concluye que el panel de expertos que se ha seleccionado es apto, por sus conocimientos y experiencia.

Por otro lado, para constituir el panel de expertos se recomienda un mínimo de 8 y un máximo de 12 personas. (Hallowell & Gambatese, 2010) Según Okoli y Pawlowski, el panel de expertos podrá estar compuesto por un mínimo de 10 expertos.

Para esta investigación, el panel de expertos estará compuesto por 11 profesionales.

Se ha clasificado al panel de expertos por sus niveles académicos y experiencia, tal como se indican en las tablas 15 y 16.

Tabla 15: Clasificación de expertos por su nivel académico

Titulación	Número de Expertos
Titulado	3
Maestría	7
Doctorado	1
Otro	0



Elaboración propia

Tabla 16: Clasificación de expertos por su experiencia

Experiencia	Número de Expertos
Menos 5 años	1
5 - 10 años	4
10 - 15 años	2
Más 15 años	4

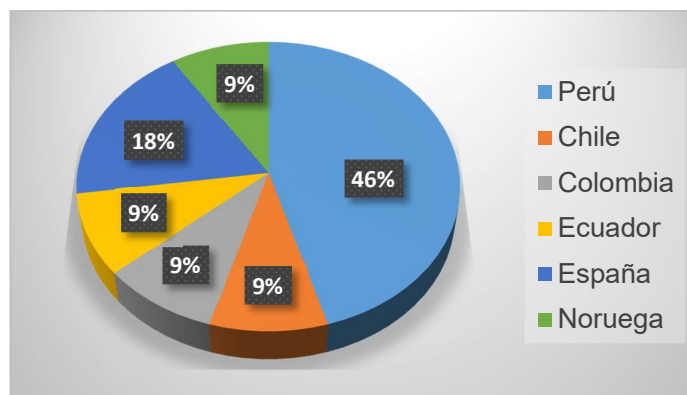


Elaboración propia

Asimismo todos los expertos cuentan con estudios en Ingeniería Civil.

Por otro lado, el 46% de los expertos son peruanos y el restante son de Ecuador, Colombia, Chile, España y Noruega. Véase gráfico 9.

Gráfico 9: Distribución de expertos por Nacionalidad



Elaboración propia

4.3.2.2 Cuestionario

Los cuestionarios son afirmaciones cortas y concisas con respuestas directas, donde el experto elige entre una escala del 1 al 5 (Escala Likert) su respuesta. Las respuestas se sustentan en su experiencia y/o conocimientos sobre el tema.

4.3.3. PRIMERA RONDA

4.3.3.1 Cuestionario de la Primera Ronda

Estructura

La encuesta consta de dos partes: la primera corresponde a la caracterización de los encuestados, donde cada experto debe indicar sus datos personales como: edad, profesión, experiencia profesional, grado académico y sector actual de trabajo.

Tabla 17: Preguntas de caracterización de los encuestados

Pregunta	Alternativas
Edad	Menos de 30 años / 30 a 40 / 40 a 50 / Más de 50
Profesión	Arquitecto / Ingeniero Civil / Ingeniero Industrial / Otro
Grado Académico	Bachiller / Titulado / Maestría / Doctorado / Otro
Experiencia Profesional	Menos de 5 años / 5 a 10 / 10 a 15 / Más de 15
Sector Actual de Trabajo	Administración Pública / Consultoría / Construcción / Supervisión de Obra / Otro

Elaboración propia

En la segunda parte, se presentan las 22 preguntas compuestas de 21 enunciados más 1 variable dependiente. Los 21 enunciados están agrupadas en tres grupos o constructos, que son:

- ✓ Constructo 1: Factores de Riesgo
- ✓ Constructo 2: Gestión de Riesgo según norma ISO 31000
- ✓ Constructo 3: Consideraciones para la gestión de riesgo en obras

Cada constructo está compuesto por una cantidad de preguntas relacionadas al tema y que se han planteado a partir de la revisión de fuentes bibliográficas: libros, revistas científicas o trabajos de investigación similares aplicados a otros contextos.

En las tablas 18, 19 y 20 se muestran los enunciados de cada uno de los 3 constructos. Y en la tabla 21 se indica la variable dependiente.

Tabla 18: Enunciados del Primer Constructo

Ítem	Enunciados
CONSTRUCTO 1	
1	Los factores políticos como cambios de gobierno o cambios de políticas públicas, afectan el cumplimiento del plazo de entrega y el presupuesto en obras de infraestructura.
2	Los riesgos financieros y económicos son los más importantes a tener en cuenta para la fase de construcción de una línea de metro subterráneo.
3	Para la construcción de túneles para metro, los riesgos ambientales y sociales son igual de importantes que los riesgos económicos.
4	Para proyectos de metro subterráneo los estudios de demanda y de retorno de la inversión representan un alto riesgo para el contratista de la obra.
5	Para la construcción de túneles en zonas urbanas los riesgos asociados a la protección del patrimonio requieren un marco legal distinto al de otros proyectos de infraestructura.

Elaboración Propia

Tabla 19: Enunciados del Segundo Constructo

Ítem	Enunciados
CONSTRUCTO 2	
6	Implementar un sistema de gestión de riesgos para la construcción de túneles para metros mejora la productividad de la obra.
7	Para mejorar la toma de decisiones en una obra, la participación de los clientes internos (los que participan en la obra) es más importante que la de los externos.
8	Las creencias culturales de las personas que participan en una obra influyen en la consecución de los objetivos de un proyecto complejo, como por ejemplo un metro.
9	Para la construcción de un túnel para metro, la gestión del riesgo es responsabilidad exclusiva de la alta dirección.



10	La cultura organizativa de una empresa contratista influye en el logro de los objetivos de sus obras.
11	Los responsables de cada área de la obra conocen los objetivos del proyecto antes de iniciar su ejecución.
12	Las obras de construcción cuentan con un plan de acción para la gestión de riesgos.
13	Las reuniones semanales de obra son la mejor herramienta de comunicación para identificar riesgos no previstos.
14	En las reuniones semanales de obra participan todas las áreas de la organización.
15	La mejor forma de identificar riesgos en proyectos complejos es a través de la participación de un panel de expertos.
16	Para definir el nivel de riesgo y sus consecuencias en una obra, es más útil recurrir a proyectos similares hechos en el pasado.
17	El análisis de los riesgos identificados, conlleva complejos modelos estadísticos que complican su desarrollo en obra.

Elaboración Propia

Tabla 20: Enunciados del Tercer Constructo

Ítem	Enunciados
CONSTRUCTO 3	
18	La evaluación del entorno externo de una obra es más importante que el entorno interno.
19	Los Proyectos de metro subterráneo requieren mayor nivel de detalle en la gestión de riesgos respecto a otros proyectos de infraestructura.
20	El sobre-costes y el incumplimiento del plazo para construcción de metros subterráneos están directamente relacionados con errores en la etapa de diseño.
21	Para implementar de un sistema de gestión de riesgos en obra, la experiencia del Jefe de Obra es más valorada que las normativas internacionales sobre el tema.

Elaboración Propia

Tabla 21: Enunciado que corresponde a la variable dependiente

Ítem	Enunciado
22	Se debe adaptar un modelo de gestión de riesgos basado en normativas internacionales para la construcción de túneles de metro en Perú, teniendo en cuenta las particularidades del país.

Elaboración Propia

El cuestionario completo fue elaborado en Google Drive y enviado a las direcciones electrónicas de cada experto para su análisis y respuesta.

Tipo y número de preguntas

Para esta ronda se han planteado un total de 22 preguntas.

Las preguntas son de respuesta directa y cada experto tendrá entre cinco opciones para responder a cada cuestión. Para cuantificar las respuestas se utilizó la escala de Likert con valores numéricos de 1 a 5, tal como se indica en la tabla 22.

Tabla 22: Escala Likert para el cuestionario

Alternativas	Valor Numérico
Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
A medias	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5

Elaboración propia

Para consultar el cuestionario Delphi de la primera ronda véase el **Anexo 5**.

4.3.3.2 Resultados y Análisis Estadísticos de la Primera Ronda

Tablas de Análisis

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de la primera ronda del cuestionario Delphi, para las 22 preguntas que se plantearon. Asimismo se muestran los estadísticos descriptivos, que servirán para recolectar, ordenar, analizar y representar un conjunto de datos, a fin de describirlos de forma correcta.

Los estadísticos descriptivos de la primera ronda del cuestionario Delphi, se muestran en el **Anexo 6**.

Interpretación de los Resultados

A partir de los estadísticos descriptivos que se muestran en el Anexo 6, y en donde se indican los promedios, desviaciones estándar y varianzas; se puede describir lo siguiente:

- En 15 de los 22 enunciados, los expertos indican en un porcentaje superior al 50% estar “**De acuerdo**” o “**Totalmente de acuerdo**”, con lo que se indica. Además, en los enunciados (6) *Implementar un sistema de gestión de riesgos para la construcción de túneles para metros mejora la productividad de la obra* y (10) *La cultura organizativa de una empresa contratista influye en el logro de los objetivos de sus obras*, el 100% de los expertos afirma estar “**De acuerdo**” o “**Totalmente de acuerdo**”.
- Sólo en el enunciado (9) *Para la construcción de un túnel para metro, la gestión del riesgo es responsabilidad exclusiva de la alta dirección*, los expertos indican en un porcentaje elevado (73%) estar “**En desacuerdo**” o “**Totalmente en desacuerdo**”:
- Sólo en el enunciado (18) *La evaluación del entorno externo de una obra es más importante que el entorno interno*, los expertos indican en un 73% estar “**A medias**”.
- En 5 de los 22 enunciados no se tiene una mayoría para cualquier de los dos extremos.
- La **menor desviación estándar** es **0.52**, en los enunciados (6) *Implementar un sistema de gestión de riesgos para la construcción de túneles para metros mejora la productividad de la obra* y (10) *La cultura organizativa de una empresa contratista influye en el logro de los objetivos de sus obras*. Mientras que la **mayor desviación estándar** es **1.47** en el enunciado (4) *Para proyectos de metro subterráneo los estudios de demanda y de retorno de la inversión representan un alto riesgo para el contratista de la obra*.

4.3.3.3 Fiabilidad de los Resultados

La fiabilidad se mide calculando el índice de consistencia interna, Alfa de Cronbach; que se utiliza para evaluar la validez de los resultados. Dicha consistencia refleja, hasta cierto nivel, la validez del cuestionario. El Alfa de Cronbach varía de 0 a 1. (Alshubbak, 2010)

Los límites para el Alfa de Cronbach son. (Gliem & Gliem, 2003) :

Tabla 23: Criterio de aceptación del Alfa de Cronbach

Alfa de Cronbach	Criterio
>0.9	Excelente
>0.8	Bueno
>0.7	Aceptable
>0.6	Cuestionable
>0.5	Pobre

Fuente: (Gliem & Gliem, 2003) Elaboración propia

Para calcular el alfa de Cronbach (α) existen dos formas: mediante la varianza de las cuestiones empleadas (ítems) en el cuestionario o mediante la matriz de la correlación.(Alshubbak, 2010)

Se empleará el método a través del cálculo de las varianzas, siguiendo la siguiente ecuación:

$$\alpha = \left[\frac{K}{K - 1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^K S_i^2}{St^2} \right]$$

Donde:

- K : Numero de cuestiones (ítems)
- S_i^2 : Varianza de cada cuestión (ítem)
- St^2 : Varianza del cuestionario total

La tabla 24 muestra las respuestas a cada cuestión que respondió cada uno de los expertos. En la última fila se indican los valores de las varianzas para cada una de las cuestiones y en la última columna se indica la varianza del cuestionario.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Tabla 24: Varianzas de cada ítem y del Cuestionario total – 1ra Ronda

Experto	ítem 1	ítem 2	ítem 3	ítem 4	ítem 5	ítem 6	ítem 7	ítem 8	ítem 9	ítem 10	ítem 11	ítem 12	ítem 13	ítem 14	ítem 15	ítem 16	ítem 17	ítem 18	ítem 19	ítem 20	ítem 21	ítem 22	Suma
1	2	1	4	4	1	4	4	1	4	4	4	2	2	4	5	4	2	3	1	2	5	5	68
2	2	3	5	2	4	5	5	4	1	4	5	4	4	5	3	5	4	5	2	4	3	5	84
3	5	4	5	1	5	5	1	2	5	5	5	5	4	5	4	5	3	2	5	4	4	4	88
4	4	2	3	3	4	4	3	4	2	5	3	3	4	4	3	4	3	3	5	3	4	4	77
5	5	4	5	3	5	4	3	3	2	4	4	4	4	4	5	4	3	3	5	3	4	5	86
6	3	3	4	3	5	5	3	3	3	5	5	5	5	5	3	3	2	3	4	3	4	4	83
7	5	3	4	5	5	4	5	4	2	5	3	3	4	4	4	4	3	3	5	4	3	5	87
8	4	4	2	1	3	4	2	1	2	4	4	4	3	4	4	3	2	3	3	3	4	4	68
9	5	4	3	5	5	5	3	2	1	4	2	5	5	3	4	5	3	5	5	4	4	5	87
10	4	4	1	1	5	5	4	3	1	5	3	2	4	2	4	4	2	3	3	4	3	3	70
11	4	4	2	3	3	5	4	3	1	4	3	4	3	4	3	4	2	3	4	2	3	4	72
Varianza	1.29	1.02	1.87	2.16	1.69	0.27	1.45	1.22	1.76	0.27	1.02	1.22	0.76	0.80	0.56	0.49	0.45	0.82	1.96	0.62	0.42	0.45	67.49

Elaboración propia

De la tabla 24, la suma de las 22 varianzas correspondientes a cada ítem es 22.60 y la varianza del cuestionario total es 67.49.

El cálculo del valor α es:

$$\alpha = (22/21) * [1 - (22.60/67.49)] = 0.70$$

De acuerdo al cálculo del Alfa de Cronbach y según los criterios de aceptación de la tabla 23, la **fiabilidad de los resultados es Aceptable**.

4.3.4. SEGUNDA RONDA

4.3.4.1 Cuestionario de la Segunda Ronda

Estructura

El cuestionario de la segunda ronda tiene la misma estructura que en la primera, es decir se divide en 2 partes y con respuestas directas, para que cada experto responda de manera rápida.

Sin embargo, en esta ronda se incluye al final de cada una de las preguntas la respuesta promedio obtenida de la primera ronda y cuyos valores son los indicados en el **Anexo 6**.

Tipo y número de preguntas

Al igual que en la primera ronda, las preguntas de caracterización del experto son las que se indicaron en la tabla 17 y las 22 preguntas de investigación son de respuesta directa con 5

opciones para responder a cada cuestión. Para cuantificar las respuestas se utilizó la escala de Likert con valores numéricos de 1 a 5, similar a la tabla 22.

Para consultar el cuestionario Delphi de la segunda ronda véase el **Anexo 7**.

4.3.4.2 Resultados y Análisis Estadísticos de la Segunda Ronda

Tablas de Análisis

Los estadísticos descriptivos de esta segunda ronda del cuestionario Delphi, se muestran en el **Anexo 8**.

Interpretación de los Resultados

A partir de los resultados de la segunda ronda del cuestionario, se llegaron a algunos consensos, que se indican a continuación.

- En 16 de los 22 enunciados, los expertos indican en un porcentaje superior al 50% estar **“De acuerdo”** o **“Totalmente de acuerdo”**, con lo que se indica. Además, en los enunciados (5) *Para la construcción de túneles en zonas urbanas los riesgos asociados a la protección del patrimonio requieren un marco legal distinto al de otros proyectos de infraestructura*; (6) *Implementar un sistema de gestión de riesgos para la construcción de túneles para metros mejora la productividad de la obra*; (10) *La cultura organizativa de una empresa contratista influye en el logro de los objetivos de sus obras* y (22) *Se debe adaptar un modelo de gestión de riesgos basado en normativas internacionales para la construcción de túneles de metro en Perú, teniendo en cuenta las particularidades del país*, el 100% de los expertos afirma estar **“De acuerdo”** o **“Totalmente de acuerdo”**.
- Al igual que en la Ronda 1, sólo en el enunciado (9) *Para la construcción de un túnel para metro, la gestión del riesgo es responsabilidad exclusiva de la alta dirección*, el 73% de los expertos indican estar **“En desacuerdo”** o **“Totalmente en desacuerdo”**. Además en el enunciado (17) *El análisis de los riesgos identificados, conlleva complejos modelos estadísticos que complican su desarrollo en obra*, el 55% de los expertos indica estar **“En Desacuerdo”**.
- Sólo en el enunciado (18) *La evaluación del entorno externo de una obra es más importante que el entorno interno*, los expertos indican en un porcentaje superior al 50% estar **“A medias”**.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

- En los enunciados (4) *Para proyectos de metro subterráneo los estudios de demanda y de retorno de la inversión representan un alto riesgo para el contratista de la obra;* (7) *Para mejorar la toma de decisiones en una obra, la participación de los clientes internos (los que participan en la obra) es más importante que la de los externos;* y (8) *Las creencias culturales de las personas que participan en una obra influyen en la consecución de los objetivos de un proyecto complejo, como por ejemplo un metro, no se tiene una mayoría para cualquier de los dos extremos.*
- La **menor desviación estándar** es **0.40**, en los enunciados (16) *Para definir el nivel de riesgo y sus consecuencias en una obra, es más útil recurrir a proyectos similares hechos en el pasado. Mientras que la mayor es 1.35 en el enunciado (4) Para proyectos de metro subterráneo los estudios de demanda y de retorno de la inversión representan un alto riesgo para el contratista de la obra.* Al igual que en la Ronda 1 los resultados del enunciado (4) son los que mayor dispersión presentan.

4.3.4.3 Fiabilidad de los Resultados

Se utiliza el cálculo del Alfa de Cronbach que se indicó en el acápite 4.3.3.3 y de la tabla 25 se observa que la suma de las 22 varianzas es 13.44 y la varianza del cuestionario total es 36.29.

El cálculo del valor α es:

$$\alpha = (22/21) * [1 - (13.44/36.29)] = 0.66$$

De acuerdo al cálculo del Alfa de Cronbach y según los criterios de aceptación de la tabla 20, la **fiabilidad de los resultados es cuestionable**.

Tabla 25: Varianzas de cada ítem y del Cuestionario total – 2da Ronda

Experto	ítem 1	ítem 2	ítem 3	ítem 4	ítem 5	ítem 6	ítem 7	ítem 8	ítem 9	ítem 10	ítem 11	ítem 12	ítem 13	ítem 14	ítem 15	ítem 16	ítem 17	ítem 18	ítem 19	ítem 20	ítem 21	ítem 22	Suma
1	3	2	4	2	4	5	3	2	2	4	4	3	3	4	4	4	4	2	4	3	5	5	76
2	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	86
3	4	3	4	2	4	4	3	4	2	4	3	3	4	4	3	4	2	3	3	3	3	5	74
4	4	3	5	3	4	5	2	3	2	5	4	4	4	4	4	4	3	3	4	2	3	5	80
5	5	4	4	4	5	5	3	2	4	5	4	4	5	5	4	4	4	3	5	4	4	5	91
6	2	4	2	1	5	5	5	1	1	5	4	3	5	3	4	4	2	3	4	4	4	4	75
7	4	4	2	4	4	4	5	4	3	4	3	4	4	3	3	3	5	4	3	4	3	5	82
8	4	2	4	1	5	4	5	5	1	5	3	3	4	3	3	3	2	3	5	3	3	5	76
9	4	4	4	1	4	4	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	3	4	5	77
10	4	4	4	4	5	5	3	3	3	5	5	5	5	5	3	4	2	3	4	4	4	4	88
11	4	4	4	4	4	5	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	2	4	5	4	5	5	87
Varianza	0.56	0.67	0.82	1.82	0.25	0.27	1.05	1.49	0.89	0.27	0.36	0.42	0.36	0.49	0.25	0.16	1.16	0.36	0.49	0.47	0.56	0.22	36.29

Elaboración propia

4.3.5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

El criterio de consenso para el cuestionario Delphi y la interpretación de los resultados se muestran en este apartado.

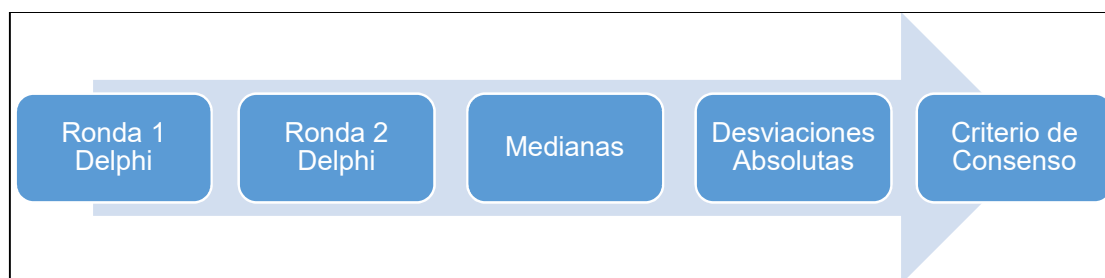
4.3.5.1 Medida del Consenso

En la tabla 12 se indicó que la desviación absoluta es el indicador de medida de consenso sugerido por la referencia.

La desviación absoluta se utiliza como medida de consenso en lugar de la desviación estándar, porque mide la variabilidad en la respuesta respecto a la mediana en lugar de la media. Se considera la mediana porque es menos probable de ser influenciada por los resultados sesgados. (Hallowell & Gambatese, 2010)

El proceso que se siguió para definir el nivel de consenso se muestra en la figura 23.

Figura 23: Proceso para la medida de consenso



Elaboración propia

De los apartados 4.3.3.2 y 4.3.4.2 se obtienen los valores de las medianas de cada uno de los 22 enunciados de las rondas 1 y 2 del cuestionario Delphi respectivamente.

La desviación absoluta (D_m) en cada enunciado, se obtiene de la siguiente manera:

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_m|}{n}$$

Dónde: X_m : Mediana en cada enunciado

n : Número de respuestas en cada enunciado

Las medianas y desviaciones absolutas de las rondas 1 y 2 se muestran en la tabla 26.

Tabla 26: Mediana y Desviación Absoluta de los Enunciados en las Rondas 1 y 2

Constructo	Enunciado	Ronda 1		Ronda 2	
		Mediana	Desviación Absoluta	Mediana	Desviación Absoluta
1	1	4.00	0.82	4.00	0.36
	2	4.00	0.73	4.00	0.55
	3	4.00	1.09	4.00	0.45
	4	3.00	1.09	3.00	1.18
	5	5.00	0.91	4.00	0.36
2	6	5.00	0.45	5.00	0.45
	7	3.00	0.91	3.00	0.82
	8	3.00	0.82	3.00	1.00
	9	2.00	0.91	2.00	0.64
	10	4.00	0.45	4.00	0.45
	11	4.00	0.82	4.00	0.36
	12	4.00	0.82	4.00	0.45
	13	4.00	0.55	4.00	0.36
	14	4.00	0.55	4.00	0.45
	15	4.00	0.55	4.00	0.36
	16	4.00	0.45	4.00	0.18
	17	3.00	0.55	2.00	0.82
3	18	3.00	0.45	3.00	0.36
	19	4.00	1.09	4.00	0.45
	20	3.00	0.64	4.00	0.55
	21	4.00	0.45	4.00	0.55
Variable	22	4.00	0.55	5.00	0.27

Elaboración propia

El criterio de consenso será, la desviación absoluta con un valor menor a 1/10 del rango de posibles valores para un estudio cuantitativo. (Hallowell & Gambatese, 2010)

La escala Likert que se utilizó para la investigación plantea un valor mínimo de 1 y un máximo de 5. A partir de estos extremos se puede estimar un **Valor de Consenso de 0.6**. Con este valor se determina que para desviaciones absolutas menores a 0.60, se han alcanzado el consenso de los expertos; mientras que para valores superiores, no se ha alcanzado consenso o no es posible determinar con certeza una respuesta sobre el enunciado.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

4.3.5.2 Interpretación de los Resultados

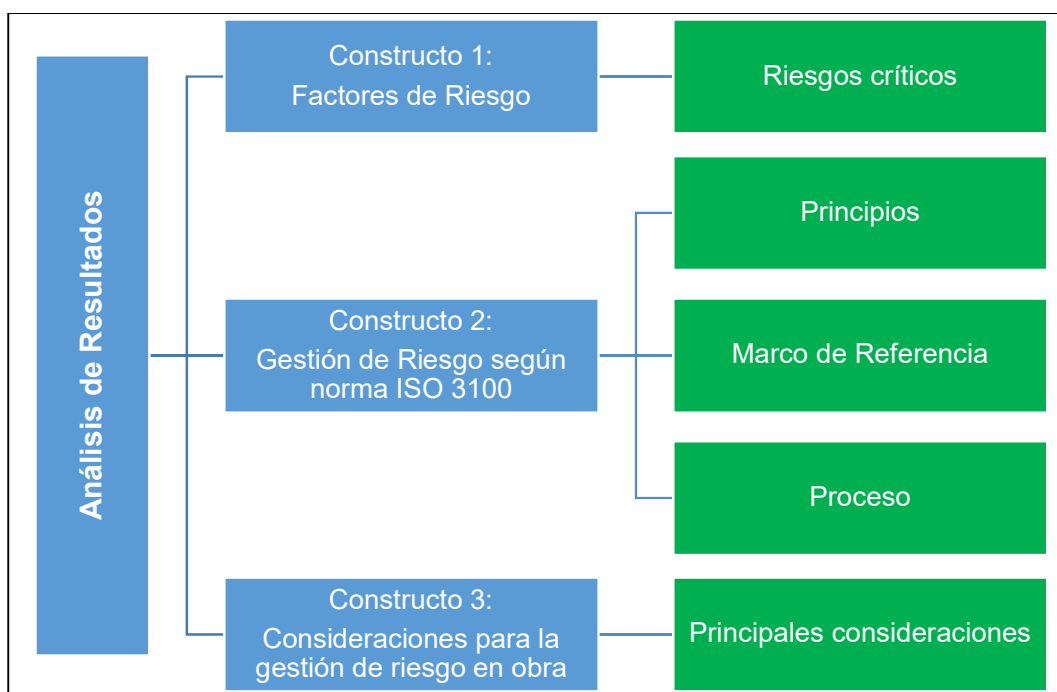
Este apartado corresponde al último paso de la fase de validación, tal como se mostró en la figura 22. Se busca interpretar los resultados que se han conseguido a través de la investigación mediante el método Delphi.

La estructura de la segunda parte del cuestionario Delphi estuvo compuesto por:

- ✓ Constructo 1: Factores de Riesgo
- ✓ Constructo 2: Gestión de Riesgo según norma ISO 31000
- ✓ Constructo 3: Consideraciones para la gestión de riesgo en obra

La interpretación de los resultados seguirá la misma estructura que se planteó para el cuestionario, es decir por constructos. Además el Constructo 2 está sub dividido en tres partes: los principios, el marco de referencia y el proceso según la norma ISO 31000.

Figura 24: Análisis de los Resultados



Elaboración propia

Constructo 1: Factores de Riesgo

Según la tabla 26, se pueden analizar los resultados obtenidos al final de la Ronda 2 del cuestionario Delphi, referido a los factores de riesgo para la construcción de túneles para sistemas de metro.

En la siguiente tabla se han reordenado los enunciados del primer constructo en función del nivel de consenso alcanzado en cada uno de ellos.

Tabla 27: Constructo 1 - Factores de Riesgo

Nº	Enunciado	Riesgo Asociado	Desviación Absoluta	Mediana
1	E5	Riesgo del Entorno (Patrimonio)	0.36	4.00
2	E1	Riesgo Político	0.36	4.00
3	E3	Riesgo Ambiental y Social	0.45	4.00
4	E2	Riesgo Financiero y Económico	0.55	4.00
5	E4	Riesgo Financiero y Económico	1.18	3.00

Elaboración propia

El estudio de los factores de riesgo se debe a que; un estimado del 75% de proyectos ferroviarios urbanos finalizan sus obras con un sobrecosto de al menos el 33% más respecto al presupuesto de adjudicación. (World Bank Group, 2018). Y teniendo en cuenta que, proyectos de infraestructuras grandes y complejos involucran varios factores de riesgo y que la implementación exitosa de aquellos proyectos dependerá de la gestión eficiente de los factores de riesgo clave. (Ghosh & Jintanapakanont, 2004)

Este constructo se ha elaborado para alcanzar el objetivo principal de la investigación, identificar y evaluar los riesgos que afectan la construcción de un túnel para metro en zonas urbanas del Perú.

Para alcanzar el objetivo, primero se ha elaborado la siguiente tabla con los principales riesgos que afectan la construcción de este tipo de proyectos; basado en las investigaciones de Al-Bahar & Crandall (1990), Eskesen et al. (2004), Ghosh & Jintanapakanont (2004), J.J. Reilly (2000) y World Bank Group (2018).

Tabla 28: Principales factores de riesgo que afectan la construcción de túneles para metro

ítem	Factores	Variables	Referencias
1	Riesgo Financiero y Económico	Insolvencia (No disponibilidad de fondos). Desastre económico. Precios de licitación. Fluctuación del tipo de cambio. Inflación. Fracaso financiero del constructor.	Eskesen et al. (2004) Ghosh & Jintanapakanont (2004) J.J. Reilly (2000) World Bank Group (2018)
2	Riesgo Contractual y Legal	Disputas contractuales. Cambio de prioridades de negociación. Retraso en pago de extras y según contrato.	Eskesen et al. (2004) Ghosh & Jintanapakanont (2004)
3	Riesgo Político	Cambio de gobierno. Cambio en leyes y regulaciones. Interferencia de las autoridades. Consensos y compromisos políticos. Expropiaciones / Embargos.	Eskesen et al. (2004) J.J. Reilly (2000) World Bank Group (2018) Al-Bahar & Crandall (1990)
4	Riesgo Social	Daños a terceras personas o a la propiedad. Consultas a la comunidad. Interferencia de terceras personas (protestas)	Eskesen et al. (2004) Ghosh & Jintanapakanont (2004) J.J. Reilly (2000)
5	Riesgo Ambiental	Contaminación al aire, agua o suelo. Requerimientos ambientales / Regulaciones.	Ghosh & Jintanapakanont (2004) J.J. Reilly (2000) Al-Bahar & Crandall (1990)
6	Riesgo Laboral	Accidentes en el proyecto. Daños a estructuras o equipos del proyecto. Robo de materiales y/o equipos.	Eskesen et al. (2004) Ghosh & Jintanapakanont (2004) Al-Bahar & Crandall (1990)

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

7	Riesgo de Diseño	Diseño y/o especificaciones inadecuadas. Contradicciones en la documentación técnica. Definición del alcance de trabajo. Cambios en el diseño.	Eskesen et al. (2004) Ghosh & Jintanapakanont (2004) Al-Bahar & Crandall (1990)
8	Riesgo del Entorno	Condiciones no previstas como: Condiciones geológicas / hidrogeológicas Interferencias con redes (agua, eléctricas, etc) Hallazgos arqueológicos	Eskesen et al. (2004) Ghosh & Jintanapakanont (2004) World Bank Group
9	Riesgo Operacional	Productividad de los equipos y mano de obra. Corte de los sistemas (ejemplo: eléctricos) Tratamiento de materiales retirados del sitio.	Eskesen et al. (2004) Ghosh & Jintanapakanont (2004)
10	Riesgo con Subcontratistas	Fallas del subcontratista. Coordinación con subcontratistas. Carencias de personal staff del subcontratista. Fracaso financiero del subcontratista.	Ghosh & Jintanapakanont (2004)
11	Riesgo de la Construcción	Disputas laborales (huelgas). Trabajos de baja calidad o fuera de tolerancias. Atrasos del contratista principal.	Eskesen et al. (2004) Ghosh & Jintanapakanont (2004) Al-Bahar & Crandall (1990)
12	Riesgo de la Gestión	Dificultad en la gestión y el control. Procesos de procura complejos.	J.J. Reilly (2000) World Bank Group (2018)
13	Riesgo de Fuerza Mayor	Guerras. Incendios / Tormentas / Sismos Inundaciones	Ghosh & Jintanapakanont (2004) Al-Bahar & Crandall (1990)

Elaboración propia

De la tabla anterior, se han planteado 4 grupos de factores de riesgo en función del nivel de responsabilidad del contratista. Véase la siguiente tabla.

Tabla 29: Factores de riesgo según el nivel de influencia con el contratista

Grupo	Factores	Característica
A	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Riesgo Financiero y Económico. ✓ Riesgo Contractual y Legal. ✓ Riesgo Político 	Están asociados principalmente a decisiones de las autoridades o de la política.
B	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Riesgo Social. ✓ Riesgo Ambiental ✓ Riesgo Laboral ✓ Riesgo de Diseño ✓ Riesgo del Entorno 	No dependen exclusivamente del contratista, sin embargo deben gestionarse y coordinarse con terceros (comunidad, entidades gubernamentales, proyectista, etc.)
C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Riesgo Operacional ✓ Riesgo con Subcontratista ✓ Riesgo de la Construcción ✓ Riesgo de la Gestión 	Dependen directamente del trabajo del contratista y su capacidad de gestión.
D	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Riesgo de Fuerza Mayor 	Son eventos o situaciones que no se pueden predecir, pero que tienen cierto nivel de probabilidad de ocurrencia.

Elaboración propia

La investigación se centró en el estudio de 5 factores de riesgo que se consideraron críticos para implementar un correcto sistema de gestión de riesgos en proyectos de Perú. De la literatura revisada y las características propias del país, los factores a evaluar fueron:

- ✓ Riesgo Financiero y Económico
- ✓ Riesgo Político
- ✓ Riesgo Social
- ✓ Riesgo Ambiental
- ✓ Riesgo del Entorno

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

Los resultados del cuestionario Delphi muestran que:

Los **Riesgos Financieros y Económicos** tienen un menor nivel de consenso entre los expertos. Además respecto a estos riesgos se puede interpretar que:

- Por un lado los *estudios de demanda y retorno de la inversión* (E4) que se realizan en la etapa de factibilidad (responsables cliente y entidades gubernamentales) no representarían un riesgo considerable para el contratista. Esto contradice el estudio planteado por Zou et al. (2008), donde muestra en los casos de estudio, que, es importante prestar atención a la vida útil de la infraestructura y el periodo en el que la necesidad de la infraestructura puede disminuir o aumentar. Los errores en el cálculo de volumen de tráfico y coste de los tickets, afectaron el plazo y el presupuesto de los proyectos, lo que por extensión, impactó negativamente en el desempeño de los contratista. En el E4, se observa que no se ha llegado a un consenso sobre este punto; sin embargo, según Banaitiene & Banaitis (2013) una adecuada gestión de riesgos sólo se podrá conseguir si las partes contratantes comprenden sus responsabilidades en los riesgos; esto incluye el hecho de informar oportunamente a los contratista sobre los estudios de demanda y retorno de inversión, en términos de posibles impactos durante la fase de construcción, principalmente para proyectos de túneles de metro donde los costes por modificación del diseño o de construcción son superiores a los costes por reevaluación de los estudios de demanda.
- Por otro lado, los expertos están de acuerdo en que *estos riesgos (financieros y económicos) son los más importantes a tener en cuenta por parte del contratista* (E2) en la etapa de evaluación. Son los más importantes dentro del Grupo A. Según Ghosh & Jintanapakanont (2004), la capacidad financiera del constructor juega un rol primordial en la contribución de los retrasos de un proyecto. El resultado de la encuesta sustenta esta hipótesis. Además, en Perú, para este tipo de proyectos la capacidad financiera de la mayor parte de la empresas contratistas es más limitada; de ahí la necesidad de asociarse con empresas extranjeras que cuenten con un mayor respaldo.
- Según Zou et al. (2007) es necesario contar con una visión global del proyecto en todas sus fases para una correcta evaluación de los riesgos en cada una de ellas. A pesar que el E2 tiene un alto consenso sobre la importancia de los riesgos financieros y económicos para el contratista en la ejecución de proyectos de túneles para metros; en el E4 se observa la falta de visión global para entender el impacto que tendría el involucrar los estudios de las etapas previas.

Los **Riesgos Políticos**, como muestra la literatura, deben ser tomados en consideración para el análisis del riesgo. Los resultados de las encuestas demuestran que:

- Estos riesgos, *afectan el cumplimiento del plazo de entrega y el presupuesto de obras de infraestructura* (E1).
- Según el World Bank Group (2018), el riesgo de una decisión política adversa aumenta con un cambio de gobierno. En el Perú los casos de la línea 1 del metro de Lima ya construida y la línea 2 que está en proceso de ejecución, presentaron desde sus inicios problemas tanto sociales-económicos como políticos. El primer caso, como se indicó en el Diagnóstico del Entorno, pasó por 4 periodos de gobierno y cerca de 30 años para su culminación. Por otro lado, la segunda línea de metro lleva 4 años de ejecución y cerca del 25% de avance (fuente: Diario El Peruano, Diciembre 2018), además se ha hecho una reprogramación del programa de trabajo con fecha de término 2024.

Los **Riesgos Sociales y Ambientales**, han mostrado lo siguiente:

- En primer lugar, que *los riesgos sociales y los ambientales son tan importantes como los económicos* (E3).
- Según la Defensoría del Pueblo del Perú (2018), hasta el mes de Octubre de 2018 se habían presentado 199 conflictos sociales, de los cuales 123 corresponden a problemas sociales y ambientales. En el Perú, si bien cerca del 50% de estos problemas se deben a proyectos mineros, es importante tener en consideración la opinión de la comunidad y su participación, del mismo modo que las regulaciones medioambientales que dispone el Ministerio del Ambiente del Perú para ejecución de proyectos subterráneos.

Estos datos sustentan la necesidad de darle la misma importancia a los factores sociales y ambientales como a los económicos para la construcción de túneles en zonas urbanas de Perú.

Los **Riesgos del Entorno**, como se indica en la tabla 28, pueden estar divididos en 3 grupos principales. De los cuales: las condiciones geológicas y de interferencias, a pesar de no ser previstas, tiene un menor grado de incertidumbre que el hallazgo de restos arqueológicos. Los resultados de las encuestas muestran que:

- Los proyectos de construcción de túneles en zonas urbanas de Perú, requieren un marco normativo distinto al que se utiliza en otro tipo de proyectos de infraestructura.

Constructo 2: Gestión de Riesgo según norma ISO 31000

El constructo está enfocado en la estructura propuesta por la norma ISO 31000 para la gestión de riesgos, la cual como se presentó en el apartado 3.2.5 se compone de: los principios, el marco de referencia y el proceso.

Este constructo responde al primer objetivo secundario, el cual busca establecer el marco de referencia y el proceso que se debería desarrollar para un proyecto de túneles para metros en zonas urbanas del Perú.

Consta de 12 enunciados y están estructuradas de la siguiente manera:

- Los enunciados 6, 7 y 8; corresponden a los principios más importantes para poder aplicar con éxito el modelo de gestión en este tipo de proyectos.
- Los enunciados 9 a 14, corresponden al marco de referencia que debería estructurar cualquier contratista que busca implementar el sistema de gestión en estas obras.
- Por último, los enunciados 15, 16 y 17 corresponden al proceso que plantea la norma para una correcta identificación y análisis de los riesgos para proyectos de túneles para metro.

Sobre Los Principios

Según la norma ISO 31000 (2018), los principios son el fundamento de la gestión de riesgos y se deberían considerar cuando se establece el marco de referencia.

En la siguiente tabla, se han ordenado los enunciados correspondientes a los principios de acuerdo al nivel de consenso que alcanzaron al final de la investigación.

Tabla 30: Constructo 2 - Principios de la Gestión de Riesgo

Nº	Enunciado	Principio	Desviación Absoluta	Mediana
1	E6	Fundamental de la ISO	0.45	5.00
2	E7	De Inclusión	0.82	3.00
3	E8	Del Factor humano y cultural	1.00	3.00

Elaboración propia



De los resultados de las encuestas realizadas, se ha conseguido lo siguiente:

- *Implementar un sistema de gestión de riesgos permite una mejora en la productividad durante la fase de construcción de túneles para metro (E6).* Sin embargo, esto no garantiza, necesariamente, que se alcance el objetivo principal de la gestión de riesgos, que es mejorar el desempeño, fomentar la innovación y contribuir al logro de objetivos de un proyecto (ISO 31000, 2018). Para asegurar estos objetivos, es necesario que cada organización defina cuáles son sus indicadores de desempeño (coste, tiempo, calidad, etc.) y en segundo lugar cuáles son los objetivos del proyecto. Según Eskesen et al. (2004), los objetivos deben ser vistos como los objetivos generales complementados con los objetivos específicos de cada tipo de riesgo. Por lo que, a partir de la tabla de factores de riesgo que se ha propuesto, la organización deberá evaluar sus objetivos para cada uno de ellos, y el cumplimiento de estos garantizarán el éxito del proyecto.
- No es posible asegurar que *la participación de los clientes internos es más importante que la de los externos, para mejorar la toma de decisiones (E7).* A pesar que no existe consenso sobre este punto, se puede observar que hay una tendencia a pensar que esta afirmación es cierta. Esta tendencia la componen principalmente los expertos con mayor experiencia, que indican estar muy de acuerdo en contraposición a los que tienen menos años en el sector. Según la norma ISO 31000 (2018), **la participación apropiada y oportuna de las partes interesadas permite que se consideren sus conocimientos, puntos de vista y percepciones. Esta visión moderna sobre la gestión de riesgo, ayuda a tener más información y mejorar la toma de decisiones.** Para el caso de Perú, es necesario que los involucrados en el proyecto y que tienen más años de experiencia adopten ideas modernas de gestión.
- No es posible asegurar que *las creencias culturales de las personas que participan en una obra influyan en la consecución de sus objetivos (E8).* Los resultados de la investigación demuestran que cerca de la mitad de los encuestados, están muy de acuerdo con la afirmación, y la otra mitad están en contra. Si bien no hay suficiente literatura sobre esto, la norma ISO 31000 (2018) señala que, **el comportamiento humano y de cultura influyen considerablemente en todos los aspectos de la gestión de riesgo en todos los niveles y etapas.**

Sobre El Marco de Referencia

Según la norma ISO 31000 (2018), el marco de referencia de la gestión de riesgo es asistir a la organización en integrar la gestión de riesgo en todas sus actividades y funciones significativas.

En la siguiente tabla, se han reordenado los enunciados correspondientes al marco de referencia, de acuerdo al nivel de consenso que alcanzó cada ítem al final del estudio.

Tabla 31: Constructo 2 - Marco de Referencia de la Gestión de Riesgo

Nº	Enunciado	Marco de Referencia	Desviación Absoluta	Mediana
1	E13	La Comunicación y consulta	0.36	4.00
2	E11	Asignación responsabilidades	0.36	4.00
3	E10	Integración	0.45	4.00
4	E12	Liderazgo y compromiso	0.45	4.00
5	E14	La Comunicación y consulta	0.45	4.00
6	E9	Liderazgo y compromiso	0.64	2.00

Elaboración propia

De los resultados del cuestionario Delphi se tiene que:

- En primer lugar, según la figura 18, se han propuesto los siguientes niveles de evaluación para el marco de referencia: **liderazgo y compromiso; integración; diseño; implementación; valoración y mejora.**
- Las encuestas Delphi, se han enfocado en los 3 primeros niveles, por considerarlos la base funcional del marco de referencia y además, porque el liderazgo y compromiso es el eje principal de este modelo.

Liderazgo y Compromiso

De los resultados que se observan en los ítems 4 y 6 de la tabla 31, se tiene que:

- *En los proyectos de construcción sí se cuenta con un plan de acción para la gestión de riesgos (E12).* Esto garantiza, en parte, el liderazgo de la alta dirección y los órganos de supervisión correspondientes para asegurar la integración de todas las actividades de la organización (ISO 31000, 2018). En proyectos de construcción de



túneles, la gestión de riesgos debe ser vista como una oportunidad de mejora; asimismo uno de los procedimientos que se debe establecer es la provisión de un marco de referencia auditable (Chapman, David; Metje, Nicole and Stark, 2010). Según Chapman, deben de plantearse por escrito las acciones que se tomarán ante eventuales riesgos.

- No se alcanzó un consenso para asegurar que *la gestión de riesgos es responsabilidad exclusiva de la alta dirección* (E9). Sin embargo, se observa que existe una tendencia a pensar que esta afirmación no es cierta. La tendencia está marcada por aquellos expertos que cuentan con más de 5 años de experiencia y, que además de contar con el conocimiento sobre gestión y construcción, han participado en proyectos de construcción de túneles y ocuparon puestos en la alta dirección de la organización.
- Según Reilly (2000), la clave del éxito de un proyecto, desde el punto de vista de la gestión, es el **liderazgo, y debe estar presente y ser efectivo en todos los niveles de la organización.**
- Para el caso de Perú, en los proyectos de túneles para metro la alta dirección debe asegurar y transmitir el liderazgo, a través de un plan de acción que sea reconocido por los involucrados en todos los procesos y, además garantizar que los involucrados de la organización asimilen que el éxito en la gestión de riesgos se logra con la participación de todos los involucrados.

Integración

El resultado del ítem 3 que se muestra en la tabla 31, indica que:

- *El logro de los objetivos de un proyecto, está directamente relacionado con la cultura organizativa de la empresa* (E10). Por otro lado según la norma ISO 31000 (2018), la integración de la gestión de riesgos dependerá de la comprensión de las estructuras y el contexto de la organización.

Diseño

De los resultados que se observan en los ítems 1, 2 y 5 de la tabla 31, se puede indicar que:

- *Los objetivos de un proyecto son conocidos por los responsables de cada área antes de iniciar los trabajos* (E11). Con este resultado, se asegura el punto 3 del componente de Diseño para el marco de referencia que se indicó en la tabla 10.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE RIESGOS BAJO EL ENFOQUE DE LA NORMA ISO 31000, EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA SISTEMAS DE METRO EN PERÚ

- Según Reilly (2000), parte del éxito de un proyecto está definido por una adecuada definición del alcance, los objetivos, entregables y elementos de trabajo.
- Las *reuniones semanales de obra* cumplen dos objetivos principales: *son la mejor herramienta de comunicación para identificar riesgos (E13) y permiten la participación de todas las áreas del proyecto (E14)*.
- Para el caso de Perú, en los proyectos de construcción de túneles para metro, las reuniones semanales de obra son el mejor medio de comunicación entre los involucrados para identificar los riesgos.

Sobre El Proceso

Según la norma ISO 31000 (2018), el proceso implica la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas de las actividades de comunicación y consulta, establecimiento del contexto y evaluación, tratamiento, seguimiento, revisión, registro e informe del riesgo.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del cuestionario Delphi para las consultas asociadas a la identificación y análisis de riesgo.

Tabla 32: Constructo 2 - Proceso de la Gestión de Riesgo

Nº	Enunciado	Proceso	Desviación Absoluta	Mediana
1	E16	Alcance, contexto, criterios	0.18	4.00
2	E15	Identificación del Riesgo	0.36	4.00
3	E17	Análisis del Riesgo	0.82	2.00

Elaboración propia

De los resultados de las encuestas realizadas se ha conseguido lo siguiente:

- Para proyectos de construcción de túneles de metro, *la mejor herramienta para identificar los riesgos es a través de un panel de expertos (E15)*.
- Las herramientas y técnicas de identificación de riesgo más utilizadas son:



Tabla 33: Métodos de Identificación del Riesgo

Nº	Métodos	Técnicas
1	Técnica de Recopilación de Información	Tormenta de Ideas. Técnica Delphi. Entrevistas. Análisis de Causa - Raíz
2	Técnicas de Diagramación	Diagramas de Causa y Efecto Diagramas de Flujos de Procesos Diagramas de Influencias
3	Análisis FODA	
4	Juicio de Expertos	Expertos con experiencia adecuada, adquirida en proyectos o áreas de negocio similares.

Elaboración propia

- La mejor forma para *definir el nivel de riesgo y sus consecuencias es recurrir a proyectos similares hechos en el pasado en otras regiones* (E16). Según la norma ISO 31000 (2018), **la organización deberá definir los criterios para valorar la importancia del riesgo, así como la cantidad y el tipo de riesgo que puede o no tomar**. Eskesen et al. (2004), indica que la clasificación de la frecuencia, consecuencias y los riesgos se deben establecer de acuerdo con los objetivos del riesgo y los criterios de aceptación del riesgo. Este resultado no necesariamente contradice las conclusiones de Al-Bahar & Crandall (1990), que indican que el éxito de los proyectos de construcción dependen fuertemente de la combinación entre experiencia e intuición del constructor para identificar los riesgos.
- No se alcanzó un consenso para asegurar que *el análisis de los riesgos conlleva complejos modelos estadísticos que complican su desarrollo en las obras* (E17). Sin embargo existe la tendencia que indica que esta afirmación no es cierta.
- Por otro lado, el análisis de riesgo se divide en dos tipos: cualitativo y cuantitativo. A partir de la literatura que se ha estudiado se presenta la tabla 34 con los métodos más utilizados para el análisis del riesgo:

Tabla 34: Métodos de Análisis del Riesgo

Nº	Métodos	Clasificación
1	Estructura de Descomposición del Riesgo (EDR)	Cualitativo
2	Matriz de Probabilidad e Impacto	
3	Análisis del árbol de falla	Cuantitativo
4	Análisis del árbol de eventos	
5	Análisis del árbol de decisión	
6	Análisis de Sensibilidad	
7	Análisis del Costo del Riesgo	
8	Simulación de Monte Carlo	

Elaboración propia

Constructo 3: Consideraciones para la gestión de riesgo en Obras

Este constructo busca estudiar algunas de las consideraciones más importantes para la gestión de riesgo en obra.

En la siguiente tabla se han ordenado los enunciados en función del nivel de consenso alcanzado en cada uno de ellos. Además se indican los cuatro criterios que se han tenido en cuenta para la encuesta.

Tabla 35: Constructo 3 - Consideraciones para la gestión de riesgo en Obras

Nº	Enunciado	Criterio de consideración	Desviación Absoluta	Mediana
1	E18	Entorno del proyecto	0.36	3.00
2	E19	Nivel de detalle para la gestión	0.45	4.00
3	E20	Causa y Efecto	0.55	4.00
4	E21	Requerimientos	0.55	4.00

Elaboración propia

De los resultados de las encuestas realizadas, se ha conseguido lo siguiente:

- *La evaluación del entorno interno es más importante que la del entorno externo (E18).* Según los resultados, esta afirmación no es cierta y más bien los expertos indican en un alto nivel de consenso que ambos entornos son igual de importantes en la evaluación. Este resultado también se confirma con los resultados obtenidos del constructo 1, donde los factores de riesgo asociados a entornos externos son evaluados con la misma importancia que los asociados al interior del proyecto.
- *Los proyectos de metro subterráneo requieren un mayor nivel de detalle en la gestión de riesgo con respecto a otros tipos de proyectos de infraestructura (E19).* De la literatura revisada, en ningún caso se hace una aclaración sobre las diferencias en la gestión de riesgos para diversos tipos de proyectos. Si bien la mayor parte de las referencias estudian el proceso de gestión del riesgo o las metodologías para su identificación y análisis; no se muestran comparativos en función de los resultados entre modelos de gestión de riesgos aplicados a diferentes tipos de proyectos de infraestructura.
- *El sobre-coste y el incumplimiento de plazos para la construcción de metros subterráneos está directamente asociado a errores en la etapa de diseño (E20).* Sin embargo, esto no implica que sea la única causa; según Zou et al. (2007) los errores de diseño son la tercera causa de riesgo en el coste o sobre-costes y la quinta causa de riesgo en el tiempo o retrasos. Factores de riesgo como cambios solicitados por el cliente, inflación en el precio de los materiales, problemas de financiamiento o inadecuados cronogramas de obra, son las principales causas de sobre costes y retrasos en la entrega de un proyecto de metros.
- *La experiencia del Jefe de Obra es más valorada que las normativas internacionales, para la implementación de un sistema de gestión de riesgos (E21).* Esta respuesta avala la hipótesis de Al-Bahar & Crandall (1990) que indica que el éxito de los proyectos de construcción dependen fuertemente de la combinación entre experiencia e intuición del constructor para identificar los riesgos. De este resultado se puede deducir que el E8 estaría con una tendencia a pensar que las creencias culturales sí influyen en el resultado de la obra. Si consideramos que una creencia cultural en las obras es la intuición del jefe de proyecto, y está generalizada en todas las sociedades; se asume como hecho que siempre.



CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. DISCUSION DE RESULTADOS

El objetivo principal de la investigación es identificar y evaluar los riesgos más importantes que afectan la fase de construcción de túneles para metro en zonas urbanas de Perú y establecer un marco de referencia y proceso para la gestión de riesgos según la ISO 31000. A partir del marco teórico, el estudio del arte y los cuestionarios del estudio Delphi con participación de 11 expertos, se discuten los resultados obtenido en el siguiente apartado:

5.1.1. RESPECTO AL MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1. Cerca del 75% de proyectos ferroviarios urbanos finalizan sus obras con un sobrecoste de al menos el 33% más respecto al presupuesto adjudicado y una cantidad inicial de usuarios, en promedio 51% menor a la estimada en el estudio de demanda (World Bank Group, 2018).
2. Para ello, la gestión del riesgo es una herramienta que gestiona eficazmente los proyectos a lo largo de todo su ciclo de vida. Proyectos de infraestructura de gran envergadura involucran varios factores de riesgo y la culminación exitosa de aquellos proyectos depende de una gestión eficaz de estos factores clave (Ghosh & Jintanapakanont, 2004).
3. La gestión de riesgos, en el contexto de la gestión de proyectos de construcción, consiste en identificar, analiza y tratar de una forma sistemática los riesgos asociados al proyecto, con la finalidad de alcanzar los objetivos de la obra (Zou et al., 2007).
4. El uso de la gestión de riesgos desde las etapas tempranas de un proyecto, en donde las decisiones importantes como puede ser: la elección del alineamiento y la elección del método constructivo para un túnel, influyen considerablemente (Eskesen et al., 2004).
5. Es importante darse cuenta que, la oportunidad de minimizar el riesgo es mayor durante la fase temprana de factibilidad de un proyecto y esta oportunidad decrece rápidamente una vez el proyecto entra en las fases de diseño y construcción (Chapman, David; Metje, Nicole and Stark, 2010)
6. En la fase de construcción, las posibilidades de transferir el riesgo son mínimas y la estrategia más conveniente tanto para el propietario como para el constructor es reducir



la severidad del riesgo tanto como sea posible, a través de la planificación e implementación de iniciativas de eliminación y/o reducción del riesgo (Eskesen et al., 2004).

7. La importancia de esforzarse en el continuo ciclo de vida de la identificación y asignación del riesgo no debe ser subestimada; la protección de los intereses públicos y permitir a los socios privados obtener un rendimiento razonable de sus inversiones son esenciales para lograr asegurar el valor del dinero en los proyectos APP, que sólo pueden ser viables a través de la asignación óptima del riesgo y el equilibrio de intereses entre los socios públicos y privados (Zou et al., 2008).
8. Según la literatura revisada, se han identificado 13 principales factores de riesgo que afectan la construcción de túneles para metro. Estos son: factores de riesgo financiero y económico; contractual y legal; político; social; ambiental; laboral; de diseño; del entorno; operacional; con el subcontratista; de la construcción; de la gestión y de fuerza mayor.
9. La incertidumbre de políticas gubernamentales locales y cambios en el gobierno posee un riesgo político. En China, las empresas de proyecto toman un gran riesgo de política debido a la incertidumbre, inestabilidad y discontinuidad de las políticas gubernamentales locales (Zou et al., 2008). En proyectos complejos, donde las negociaciones, aprobaciones y problemas del contrato son una parte integral del proceso de gestión de proyectos; los riesgos políticos pueden jugar un rol importante (Ghosh & Jintanapakanont, 2004)
10. Variaciones en el tipo de cambio de la moneda local, pueden afectar el proyecto en dos formas: (1) cambiando el coste final de los materiales o el precio de los equipamientos, o (2) cambiando la tasa de interés en términos reales, es decir el coste real de la financiación en la moneda local (World Bank Group, 2018)

5.1.2. RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DE LOS EXPERTOS

1. Respecto a la profesión, los 11 expertos seleccionados son ingenieros civiles (en España Ingenieros de Caminos). Aunque se buscó la participación de ingenieros de otras especialidades como mecánica o industrial, no accedieron a participar en la encuesta.
2. Respecto a los años de experiencia, los encuestados con mayor participación fueron los que cuentan con entre 5 a 10 años de experiencia y que representan el 37% de la muestra;



en segundo lugar se encuentran los que tienen más de 15 años de experiencia que son el 36% y en tercer lugar el grupo de expertos que tiene entre 10 a 15 años de experiencia y que representa el 18%. Finalmente el grupo más bajo de participación fueron los expertos que cuentan con menos de 5 años de experiencia y que representan el 9%.

3. Respecto a la edad de los encuestados, el mayor grupo de participación fue el rango de edades entre 30 a 40 años y que representa el 55% de la muestra, en segundo lugar están los profesionales que cuentan con 40 a 50 años que son el 27% del total. Y finalmente, el grupo de profesionales menores de 30 años que representan el 18% de la muestra.
4. Respecto al grado académico, los encuestados con mayor participación fueron los que cuentan con grado de maestría y que representan el 64% de la muestra; en segundo lugar están los titulados (en Perú son los profesionales que terminaron la carrera de ingeniería civil y están registrados y acreditados ante el Colegio de Ingenieros del Perú) que representan el 27%. Y finalmente, el último grupo lo integran profesionales con grado académico de Doctorado, que representan el 9%.
5. En las preguntas de caracterización no se consultó específicamente la nacionalidad de los expertos, sin embargo debido a que método Delphi utilizado plantea que el facilitador tienen contacto directo con los expertos para la retroalimentación y que además conoce a los panelistas, se obtuvieron los siguientes datos: el panel de expertos estuvo compuesto mayoritariamente por peruanos que representan el 46% del total; en segundo lugar estuvieron expertos de España que representan el 18% y en igual proporción expertos de Colombia, Ecuador, Chile y Noruega, cada uno representa un 9% del total.

5.1.3. RESPECTO A LOS FACTORES DE RIESGO

1. Como se indicó, de la literatura revisada, para la fase de construcción de túneles para metros se lograron identificar 13 principales factores de riesgos que afectan el cumplimiento de los objetivos del proyecto; y además, estos factores se clasificaron en 4 grupos, en función del nivel de responsabilidad de los contratistas. Véase la tabla 29.
2. En el Constructo 1 del cuestionario Delphi, se plantearon 5 cuestiones asociadas a los factores de riesgo más incidentes para la construcción de túneles de metro en el Perú. Los argumentos para seleccionar estos factores fueron los siguientes:



La capacidad financiera del constructor juega un rol importante en la contribución de retrasos en un proyecto; podría decirse que dificultades financieras con el constructor, sea o no que ellos conocen ciertos criterios financieros, pueden tener un impacto muy significativo en los proyectos (Ghosh & Jintanapakanont, 2004)

En proyectos complejos, donde las negociaciones, aprobaciones y problemas del contrato son una parte integral del proceso de gestión de proyectos; los riesgos políticos pueden jugar un rol importante (Ghosh & Jintanapakanont, 2004). Además, el riesgo de una decisión política adversa aumenta con un cambio de gobierno (World Bank Group, 2018).

Hasta el mes de Octubre 2018 se habían presentado 199 conflictos sociales en Perú, de los cuales 123 corresponden a problemas sociales y ambientales (Defensoria del Pueblo, 2018)

El riesgo de hallazgos de patrimonio cultural en ciudades densamente pobladas con una tradición y riqueza histórica o en áreas designadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura como Patrimonio de la Humanidad, es relativamente alto (World Bank Group, 2018).

3. De los dos enunciados referidos a los riesgos financieros y económicos que se plantearon, se observa que, desde el punto de vista del contratista, estos riesgos son los más importantes en la evaluación de la gestión del riesgo. Por otro lado, los resultados muestran que posibles errores en los estudios de demanda y retorno de la inversión no representarían un riesgo considerable para el contratista. De estos resultados, se puede deducir que la gestión de riesgos para proyectos de túneles de metro se centra sólo en la perspectiva del contratista, y no abarca las otras etapas del ciclo de vida de la infraestructura, incluyendo la etapa de factibilidad donde se desarrollan los estudios de demanda y retorno de inversión. Estos resultados estarían contradiciendo los siguientes argumentos:

Para gestionar efectiva y eficientemente el riesgo, el constructor debe entender sus responsabilidades, condiciones, preferencias y capacidad de gestionar el riesgo (Banaitiene & Banaitis, 2013)



Los clientes, diseñadores y agencias gubernamentales deben trabajar cooperativamente desde la etapa de factibilidad en adelante para gestionar riesgos potenciales de forma efectiva y a tiempo; los contratistas y subcontratistas con un conocimientos y habilidades solidas en construcción y gestión deben ser contratados tempranamente para minimizar los riesgos en la construcción (Zou et al., 2007)

Una gestión de riesgos más efectiva podría ser posible si los riesgos fueran identificados y considerados de una manera más completa y sistemática en el ciclo de vida del proyecto (Zou et al., 2007)

4. El resultado del cuestionario Delphi indica que los factores políticos, afectan el cumplimiento del plazo de entrega y el presupuesto en obras de infraestructura. Este resultado avala los argumentos para la selección de este factor en el estudio, debido a que presenta alta variabilidad, al jugar un rol importante en proyectos complejos y aumentan en periodos de cambio de gobierno. Aunque no fue parte de esta investigación, dos referencias indican que este factor afecta principalmente a proyectos vía asociaciones público privadas (APP):

A pesar que los eventos políticos también pueden afectar la implementación de proyectos de desarrollo bajo la procura pública, este tipo de riesgo es más relevante para proyectos de desarrollo vía APP's (World Bank Group, 2018)

La incertidumbre de políticas gubernamentales locales y cambios en el gobierno posee un riesgo político (Zou et al., 2008)

Por otro lado este resultado también avala, la siguiente interpretación:

Debemos reconocer la fuerte influencia de la política en proyectos de subterráneos y trabajar para influir mejor en dicha política para mejorar nuestra capacidad de gestionar con éxito proyectos subterráneos(Reilly, 2000)

5. El resultado del cuestionario Delphi muestran que, en proyectos de construcción de túneles para metros los riesgos sociales y ambientales deben tratarse con la misma importancia como se tratan los riesgos económicos. Este resultado sumado a los reportes de la Defensorio del Pueblo de Perú sobre conflictos sociales, avalan la necesidad de



darle primordial importancia al tratamiento de estos riesgos en el esquema de la gestión de riesgos.

6. El resultado del cuestionario Delphi respecto al riesgo al daño sobre el patrimonio cultural durante la construcción de túneles para metro en zonas urbanas indica que, debería cambiarse el marco normativo que regula los trabajos que se realizan en zonas cercanas a restos arqueológicos y que se utiliza en la actualidad para proyectos de infraestructura. Según este resultado, el tratamiento que debe darse a proyectos de este tipo tiene que estar enmarcado en una normativa legal especial. Además, la siguiente referencia valida la importancia de los riesgos sobre el patrimonio cultural:

El riesgo de hallazgos de patrimonio cultural en ciudades densamente pobladas con una tradición y riqueza histórica es relativamente alto (World Bank Group, 2018)

5.1.4. RESPECTO A LA ESTRUCTURA DE GESTIÓN DE RIESGOS SEGÚN ISO 31000

1. Respecto a los principios que indica la norma; en primer lugar, el resultado del cuestionario muestra que implementar un sistema de gestión de riesgos para proyectos de construcción de túneles para metro permite una mejora en la productividad. Este resultado confirma parte de las conclusiones siguientes:

Empresas de construcción que gestionan efectiva y eficientemente los riesgos gozan de menores gastos financieros, y grandes productividades, mejorando las tasas de éxito de nuevos proyectos y con toma de decisiones mejor pensadas (Banaitiene & Banaitis, 2013)

2. En segundo lugar, a la luz de los resultados del cuestionario no se puede asegurar con certeza que para mejorar la toma de decisiones la participación de los clientes internos es más importante que la de los externos; asimismo no se puede asegurar que las creencias culturales de las personas que participan en los proyectos influyen en la consecución de los objetivos de la obra.

En el primer caso, el resultado mostraría una tendencia hacia la siguiente hipótesis:



La participación apropiada y oportuna de las partes interesadas permite que se consideren sus conocimientos, puntos de vista y percepciones (International Organization for Standardization, 2009)

En el segundo caso, del resultado se puede deducir que no hay una coincidencia con la norma ISO 31000:

El comportamiento humano y la cultura influyen considerablemente en todos los aspectos de la gestión de riesgo en todos los niveles y etapas (International Organization for Standardization, 2009)

3. Respecto al marco de referencia que indica la norma, en primer lugar los resultados del cuestionario indican que para el factor de liderazgo y compromiso en proyectos de construcción sí deben existir planes de acción para la gestión de los riesgos; además existe una tendencia que indica que la gestión de riesgos no es responsabilidad exclusiva de la alta dirección.

El primer caso, avala la siguiente hipótesis:

En proyectos de construcción de túneles, la gestión de riesgos debe ser vista como una oportunidad de para hacer mejor las cosas; así uno de los procedimientos que se debe establecer es la provisión de un marco de referencia auditable (Chapman, David; Metje, Nicole and Stark, 2010)

En el segundo caso, el resultado contrasta con las siguientes afirmaciones directas:

La clave del éxito de un proyecto, desde el punto de vista de la gestión, es el liderazgo, y debe estar presente y ser efectivo en todos los niveles de la organización (Reilly, 2000)

4. En segundo lugar, el logro de los objetivos de un proyecto, está directamente relacionado con la cultura organizativa de la empresa.
5. En tercer lugar, para establecer el diseño del marco de referencia los resultados del cuestionario indicaron que, los objetivos de un proyecto son conocidos por los responsables de cada área antes de iniciar los trabajos. Este resultado avala que :



Parte del éxito de un proyecto está definido por una adecuada definición del alcance, los objetivos, entregables y elementos de trabajo (Reilly, 2000)

6. Además, se muestra de los resultados que las reuniones semanales de obras cumplen dos objetivos principales dentro del diseño del marco de referencia: por un lado se considera que es la mejor herramienta de comunicación para identificar riesgos y por otro lado permiten la participación de todos los involucrados en el proyecto.
7. Respecto al proceso que indica la norma, en cuanto a la identificación, los resultados del cuestionario muestran que la técnica del panel de expertos, es la mejor forma de identificar riesgos para proyectos de túneles para metro. Esta respuesta es respaldada por la tabla de métodos y técnicas que se mostró en el capítulo 4; además complementa lo siguiente:

La identificación y clasificación de los riesgos se lleva mejor a través de sesiones de lluvia de ideas, con equipos de detección de riesgos conformados por expertos de múltiples disciplinas, conocimientos técnicos y experiencia en la práctica guiados por analistas de riesgo con experiencia (Chapman, David; Metje, Nicole and Stark, 2010)

8. Además, se establece que para definir el nivel de riesgo y sus consecuencias es mejor recurrir a proyectos similares realizados en otras regiones.
9. Finalmente, en cuanto al análisis, del cuestionario Delphi se concluye que existe una tendencia que indica que los métodos de análisis de riesgo no son lo suficientemente complejos como para su ejecución en obra. De este resultado y considerando la literatura revisada, se han planteado los métodos de análisis de riesgo más utilizados en proyectos de construcción. Los 8 métodos se muestran en el capítulo 4, véase la tabla 34.

5.2. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACION

El objetivo principal de esta investigación es identificar y evaluar los riesgos más importantes que afectan la fase de construcción de túneles para metro en zonas urbanas de Perú y establecer un marco de referencia y el proceso para la gestión de riesgos según la ISO 31000. A partir del marco teórico, el estudio del arte y los cuestionarios se muestran las conclusiones:

1. Se encontró que, en proyectos de construcción de túneles para metros en zonas urbanas de Perú es posible adaptar el estándar ISO 31000 para establecer un sistema de gestión de riesgos, teniendo en consideración el estudio de los factores de riesgos que se identificaron y validaron en este trabajo y estableciendo un marco de referencia que esté alineado a la cultura organizativa de la empresa. Además, el 73% de los expertos encuestados está de acuerdo que se deben adoptar modelos de gestión basados en estándares internacionales para los proyectos en Perú.
2. La literatura revisada muestra la importancia que tiene para el sector de la construcción una correcta estructuración de la gestión de riesgos, tanto en la fase de construcción como a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Asimismo, estudios como el del World Bank Group (2008) muestran las consecuencias de la falta de planificación durante el desarrollo de la gestión de los riesgos en cuanto al coste y plazos en proyectos ferroviarios urbanos.
3. La construcción de túneles para sistemas de metro conlleva múltiples riesgos que deben ser identificados desde etapas tempranas; este trabajo identificó los 13 principales factores de riesgo a partir de la literatura revisada y, de los cuales, se han estudiado mediante los cuestionarios aquellos 5 que se consideran críticos para el caso del Perú.
4. El factor financiero y económico representa el riesgo más importante para la construcción de túneles para metros, desde la perspectiva del contratista; sin embargo, este factor debe ser estudiado en toda su dimensión, y el análisis y tratamiento que se realicen debe abarcar el riesgo en todas las etapas del ciclo de vida de la infraestructura. Como se ha observado, errores en los estudios de demanda o de retorno de la inversión generan un impacto negativo para el contratista en el cumplimiento de sus objetivos.



5. El 82% de los expertos indican que el factor político representa un riesgo importante y que es la causa principal de incumplimientos en el plazo de entrega y presupuestos en obras de infraestructura. Por otro lado, hasta finales de Octubre del 2018 en Perú, se había registrado 123 conflictos sociales relacionados a problemas sociales y ambientales. Esto demuestra que, debido a la inestabilidad política y los problemas sociales que se presentan en proyectos de inversión en el Perú, los riesgos políticos, sociales y ambientales deben ser evaluados por el contratista con la misma importancia con la que se analizan los riesgos económicos de la obra.

6. Para implementar el sistema de gestión de riesgos que propone la norma ISO31000 en proyectos de túneles para metros, es fundamental el liderazgo de la alta dirección y además, que este se puedan transmitir al resto de la organización; siendo la mejor herramienta un plan de acción de la gestión de riesgos, que debe estar por escrito. Por otro lado, la participación de los clientes externos es tan importante como la de los internos, y se deben tomar en cuenta pues mejoran la toma de decisiones.

7. Para desarrollar la gestión de riesgos de forma efectiva, se deben establecer como medio de comunicación y consulta oficial, las reuniones semanales de obra; que garantizan dos cosas: primero, permiten la participación de todas las áreas involucradas en el proyecto y segundo, es la mejor herramienta para identificar riesgos no previstos.

8. Las dos etapas más importantes para asegurar el éxito del proceso de gestión de riesgo son: la identificación y el análisis. En el primer caso, el método del panel de expertos es el más adecuado para proyectos de túneles para metro en Perú. Y por otro lado, los métodos de análisis no son los suficientemente complejos y permiten su aplicación en obra, además existen hasta 8 métodos, entre cualitativos y cuantitativos, que se pueden utilizar para esta etapa de la gestión de riesgos. Cada método se utilizará en función de la disponibilidad de datos y recursos con los que se cuente en el proyecto.

9. Los jefe de obra en proyectos de construcción de túneles de metro, deben tener en cuenta para la planificación de la gestión del riesgo que las variables del entorno interno son igual de importantes que las del entorno externo. Además este tipo de proyectos requieren un

tratamiento especial y el nivel de detalle en su gestión debe ser más profundo, incluyendo el uso de normativas internacionales referidas con la gestión de riesgos. Si bien la experiencia de los jefes de obras es muy importante en la gestión, esta debe complementarse con investigaciones, estudios o normativas ya existentes, como por ejemplo la norma ISO 31000.

5.3. RECOMENDACIONES

Para las Entidades Gubernamentales:

1. Establecer un marco normativo especial sobre la protección del patrimonio que regule los trabajos de construcción de metros en zonas urbanas; pues en base a los resultados de esta investigación, el panel de expertos considera que la normativa vigente, y que es aplicable a todo tipo de proyectos de infraestructura, no es viable en su aplicación para proyectos de metro.

Para las Empresas Contratistas:

2. En proyectos de construcción de túneles, es preferible que la alta dirección tome en consideración las creencias culturales de las personas que se involucran en los proyectos (tanto los clientes internos como los externos). Si bien del estudio, no se alcanzó un consenso sobre este aspecto, la norma ISO 31000 indica que los aspectos humanos y culturales sí influyen en los aspectos de la gestión de riesgo.
3. Los contratistas que desarrollen proyectos de túneles para sistemas de metro deberían emplear en el estudio de la gestión de riesgos el modelo propuesto por la norma ISO 31000 (2018), debido a que establece un criterio y estructura que permiten adecuarse de forma práctica a proyectos en donde el tiempo es un recurso escaso. También se recomienda trabajar los procesos de identificación y análisis de riesgos con los métodos propuestos en este trabajo. Finalmente, el empleo de los factores de riesgos que se presentan en este trabajo, puede ser de mucha utilidad en la fase inicial de la planificación de túneles, en donde no se cuenta con suficiente información.



5.4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Analizar cómo influyen en los factores de riesgo para la construcción de túneles los modelos de contratación.
- Realizar método de encuestas a una población mayor para mejorar el índice de confiabilidad de los datos, en aquellos constructos con mayor dispersión en los resultados.
- Estudiar en un caso real los resultados que se podrían obtener de la aplicación del sistema de gestión de riesgos planteado por la ISO 31000.
- Cuantificar en términos de coste, el impacto de cada uno de los factores de riesgo que se han identificado en este trabajo.



CAPÍTULO 6

REFERENCIAS



6. REFERENCIAS

- Al-Bahar, J. F., & Crandall, K. C. (1990). Systematic Risk Management Approach for Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 116(3), 533–546.
- Alarcón, L. F., Ashley, D. B., de Hanily, A. S., Molenaar, K. R., & Ungo, R. (2011). Risk Planning and Management for the Panama Canal Expansion Program. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(10), 762–771.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000317](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000317)
- Alshubbak, A. M. M. (2010). *Modelo de Identificación de las necesidades del promotor en el proceso Proyecto-Construcción:INPro*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao. (2018). ¿QUÉ ES EL METRO DE LIMA Y CALLAO? » AATE | Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao | Metro de Lima. Retrieved December 12, 2018, from <https://www.aate.gob.pe/que-es-el-metro-de-lima-y-callao/>
- Banaitiene, N., & Banaitis, A. (2013). Risk Management in Construction Projects. *Web of Science*, 429–448. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/46845>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). *Evolución de los Sistemas de Transporte Público Urbano en América Latina*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18235/0000828#sthash.yADhMxVk.dpuf>
- Banco Mundial. (2018). Perú | Data. Retrieved December 11, 2018, from <https://datos.bancomundial.org/pais/peru>
- Cámara Peruana de la Construcción - CAPECO. (2018). *Informe Económico de la Construcción*. Lima. Perú.
- Chapman, David; Metje, Nicole and Stark, A. (2010). *Introduction to Tunnel Construction*.
- Defensoría del Pueblo. (2018). Reporte de Conflictos Sociales N°176 - Octubre 2018, 1–106.
- Diario El Comercio. (2016). Gráfico del Día: ¿Cuánto pesa cada sector en el PBI del Perú? | Economía | Perú | El Comercio Perú. Retrieved December 11, 2018, from <https://elcomercio.pe/economia/peru/grafico-dia-pesa-sector-pbi-peru-194520>
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2016). *Manual de Carreteras: Túneles, Muros y Obras Complementarias*.



- Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico. (2015). *Un Plan para Salir de la Pobreza: Plan Nacional de Infraestructura 2016 - 2025* (Vol. 1). Retrieved from http://www.afin.org.pe/images/publicaciones/estudios/plan_nacional_infraestructura_2016_2025_2.pdf
- Eskesen, S. D., Tengborg, P., Kampmann, J., & Holst Veicherts, T. (2004). Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association, Working Group No. 2. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 19(3), 217–237. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2004.01.001>
- Extremiana Vázquez, I. (2012). *Gestión de riesgos en proyectos de túneles*. Universidad de la Rioja. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.92.175503>
- Flanagan, R., & Norman, G. (1993). *Risk Management and Construction* (First).
- Ghosh, S., & Jintanapakanont, J. (2004). Identifying and assessing the critical risk factors in an underground rail project in Thailand: A factor analysis approach. *International Journal of Project Management*, 22(8), 633–643. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.05.004>
- Gliem, R. R., & Gliem, J. A. (2003). Calculating, Interpreting, and Reporting Cronbach's Alpha Reliability Coefficient for Likert-type Scales. *Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education*, (1992), 82–88. <https://doi.org/10.1109/PROC.1975.9792>
- Hallowell, M. R. (2008). *A Formal Model for Construction Safety and Health Risk Management*. Oregon State University.
- Hallowell, M. R., & Gambatese, J. A. (2010). Qualitative Research: Application of the Delphi Method to CEM Research. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(1), 99–107. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000137](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000137)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Panorama de la Economía Peruana 1950-2016: Año Base 2007*. Retrieved from https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1424/libro.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018a). *Peru: Crecimiento y distribución de la población, 2017*. Retrieved from https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1530/libro.pdf



- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018b). *Perú: Producto Bruto Interno por Departamentos 2007-2017*.
- International Organization for Standardization. (2009). *International Standard ISO 31000: Risk Management - Principles and guidelines*. [https://doi.org/ISBN 978-1-86975-127-2](https://doi.org/ISBN%20978-1-86975-127-2)
- ISOTools. (2018). Norma ISO 31000, El valor de la gestión de riesgos en las organizaciones, p. 24.
- Jannadi, O. A., & Almishari, S. (2003). Risk Assessment in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(5), 492–500. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2003\)129:5\(492\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:5(492))
- Joint Technical Committe. (2004). *Risk Management Standard AS/NZS 4360:2004*. <https://doi.org/10.1016/B978-075067555-0/50157-2>
- Lozano, A. (2018). Apuntes de Asignatura Gestión de Proyectos. Valencia: Máster Universitario en Planificación y Gestión en la Ingeniería Civil.
- Machado, R., & Toma, H. (2017). Crecimiento económico e infraestructura de transportes y comunicaciones en el Perú. *Economía*, 40(2304–4306), 9–46. Retrieved from <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/economia/article/view/19271/19416>
- Martí, J.; Yepes, V.; González, F.; Alcalá, J. (2012). *Técnicas de voladuras y excavación en túneles*. (Universitat Politècnica de Valencia, Ed.). Valencia.
- Priego de los Santos, E. (2013). *Túneles y Tuneladoras. Ingeniería Civil y Geomática*.
- Project Management Institute. (2013). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). 2013 (Vol. 87)*.
- Reilly, J. J. (2000). The Management Process for Complex Underground and Tunneling Projects. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15(1), 31–44. <https://doi.org/10.1108/S0742-332220170000037004>
- Wikipedia. (2011). Gestión. Retrieved November 11, 2018, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Gesti3n>
- World Bank Group. (2018). *The Urban Rail Development Handbook*.
- Yepes Piqueras, V. (2013). Método belga de construcción de túneles – El blog de Víctor Yepes. Retrieved February 15, 2019, from <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/12/21/metodo-belga-de-construccion-de-tuneles/>



Yepes Piqueras, V. (2016a). Método alemán de construcción de túneles – El blog de Víctor Yepes. Retrieved February 15, 2019, from <https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/11/21/metodo-aleman-de-construccion-de-tuneles/>

Yepes Piqueras, V. (2016b). Método Inglés – El blog de Víctor Yepes. Retrieved February 15, 2019, from <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/metodo-ingles/>

Zou, P. X. W., Wang, S., & Fang, D. (2008). A life-cycle risk management framework for PPP infrastructure projects. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 13(2), 123–142. <https://doi.org/10.1108/13664380810898131>

Zou, P. X. W., Zhang, G., & Wang, J. (2007). Understanding the key risks in construction projects in China. *International Journal of Project Management*, 25(6), 601–614. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.03.001>

Zuferri Arqué, D. (2010). *Experiencia en la Construcción de Túneles en Líneas de Alta Velocidad*. Universitat Politècnica de Catalunya.