

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**MODELO DE GESTIÓN DE RIESGOS USANDO  
LINEAMIENTOS DEL PMI PARA MEJORAR EL PLAZO DE  
EJECUCIÓN DE UNA ESTACIÓN SUBTERRÁNEA**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERIA CIVIL**

**ELABORADO POR  
BETSY JULIANA DEL CARMEN SANCHEZ TAFUR**

**ASESOR**

**Dr. CÉSAR ALFREDO FUENTES ORTIZ**

**Perú**

**2020**

© 2020, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en parte,  
con fines estrictamente académicos.”**

Sanchez Tafur, Betsy Juliana del Carmen

bsanchezt@uni.pe

999889500

Esta tesis se la dedico a Dios y a la Virgen del Carmen por ser mi guía a lo largo de mi etapa universitaria y brindarme la fuerza necesaria para afrontar los retos.

A mi madre Jesús Marcela Tafur Ocampo por su apoyo incondicional y a mi hermana Clara Alcira Sanchez Tafur por inspirarme a ser mejor cada día.

A mi asesor Dr. César Alfredo Fuentes Ortiz y a mi co-asesor Mag. Omar Renzo Padilla Laguna por su constante apoyo y seguimiento durante la investigación.

## RESUMEN

Lima es una de las capitales de con mayor flujo de tránsito en Latinoamérica que refleja la necesidad de un sistema interurbano como de Líneas de metro intercomunicadas. En respuesta a dicha necesidad se presenta el Plan Maestro de Transporte Urbano de Lima y Callao, en el que se plantea un sistema de mediana capacidad conformado por seis (06) líneas de metro, donde la Línea 2 presenta como una de sus particularidades, ser una línea subterránea.

La incertidumbre en el estudio definitivo de ingeniería y la ejecución de una línea de metro subterránea en Lima es mayor por la falta de antecedentes regionales, donde se pueden presentar notorias variaciones en costos, tiempo y alcance. A fin de cumplir con el plazo de ejecución de una estación subterránea de pasajeros se presenta un modelo de gestión de riesgos basado principalmente en los lineamientos del PMBOK "A Guide to the Project Management Body Of Knowledge" 6ta. Edición que es respaldado por el Project Management Institute (PMI).

En el desarrollo del presente trabajo, se encuentra las generalidades del sistema de transporte, de la gestión de riesgos, y un detalle y análisis de los posibles riesgos propios a presentarse antes y durante la ejecución de una estación subterránea de metro; ambos para enriquecer y dar significado a un modelo de gestión de riesgos. Además, en el desarrollo del trabajo de investigación se presenta una gama de herramientas y técnicas sustentadas en el PMBOK, para responder ante los posibles riesgos en una estación subterránea de pasajeros. Cabe resaltar que, el área del trabajo de investigación es el departamento de construcción; sin embargo, para el análisis transversal se incluyen conceptos de análisis estructural, análisis geotécnico y análisis hidráulico, junto a las particularidades propias del área de transportes por tratarse de una línea de Metro.

El modelo de gestión de riesgos propuestos permite identificar los peligros y los riesgos asociados a través de una valoración de riesgo en función a la probabilidad y el impacto del riesgo identificado. Es posible calificarlo de manera cualitativa con el uso de una clasificación en base a colores que guardan relación con los del semáforo; también es posible realizar un análisis cuantitativo de los riesgos. Para el análisis en el plazo de ejecución se realiza, principalmente, una simulación de Montecarlo y un análisis PERT con un cronograma simplificado de las principales

partidas de una de las estaciones de la Línea 2 del metro de Lima, la estación Insurgentes. La simulación de Monte Carlo realiza una iteración de diferentes escenarios a fin de obtener la probabilidad de ocurrencia de los eventos resultantes con lo que se logra estimar el tiempo de ejecución del proyecto.

El modelo de gestión de riesgos termina en un plan de respuestas donde se identifican las acciones para eliminar y/o mitigar los riesgos, y un proceso continuo de monitoreo y control de ciertos riesgos en función al tipo de riesgo y la naturaleza del proyecto.

Cabe resaltar que, para validar el presente trabajo de investigación, no es suficiente realizar el modelo de gestión de riesgos, sino que es de vital importancia ponerlo en práctica con el apoyo y compromiso de la organización y los stakeholders en general.

## ABSTRACT

Lima is one of the Latin American capitals with high traffic flow, reflecting the need for an interurban system such as interconnected metro lines. Due to this need, the Lima and Callao Urban Transport Master Plan is presented, in which a medium-capacity system consisting of six (06) metro lines is proposed, where Line 2 presents, as one of its peculiarities, be underground.

The uncertainty in the final engineering study and the execution of a subway line in Lima is greater due to the lack of a regional background, where there may be notable variations in costs, time and scope. To meet the deadline for the execution of an underground passenger station, a risk management model is presented, based mainly on the guidelines of the PMBOK "A Guide to the Project Management Body of Knowledge" 6th. This edition is endorsed by the Project Management Institute (PMI).

In the development of this work, you will find the generalities of the transportation system, risk management, and detail and analysis of the possible risks inherent in an underground metro station; both to enrich and give meaning to a risk management model. Besides, the development of the research work presents a range of tools and techniques supported by the PMBOK, to respond to possible risks in an underground passenger station. It should be noted that the area of the research work is the construction department; however, for the cross-sectional analysis, concepts of structural analysis, geotechnical analysis, and hydraulic analysis are included, together with the specific characteristics of the transport area, since it is a Metro line.

The proposed risk management model allows to identify the hazards and associated risks, that will be identified through a risk assessment based on the probability and impact of the identified risk. It is possible to qualify it qualitatively with the use of a classification based on colors that are related to those of the traffic light; It is also possible to carry out a quantitative risk analysis. For the analysis in the execution period, a Montecarlo simulation and a PERT analysis are mainly carried out with a simplified schedule of the main items of one of the stations of Line 2 of the Lima's Metro, the Insurgentes station. The Monte Carlo simulation performs an iteration of different scenarios to obtain the probability of occurrence of the resulting events, thereby estimating the project execution time.

The risk management model ends in a response plan where actions to eliminate and / or mitigate risks are identified, and a continuous process of monitoring and controlling certain risks depending on the type of risk and the nature of the project.

It should be noted that, for the validate of this research work, it is not enough to carry out the risk management model, is vitally important to put it into practice with the support and commitment of the organization and stakeholders in general.

## PRÓLOGO

La presente Tesis elaborada por el Bachiller en Ingeniería Civil; Betsy Sanchez Tafur, pretende mostrar como una correcta gestión de los riesgos en un proyecto de construcción, permite que se cumplan los objetivos del plan de ejecución, en este caso específico la tesis estudia como se ve afectado el plazo para la construcción de una estación subterránea de pasajeros.

El modelo de gestión de riesgos planteado por la tesista, permite que se pueda identificar los riesgos, así como también valorar su probabilidad de ocurrencia y su impacto en los principales objetivos del proyecto.

La tesis incluye un diagnóstico situacional de una estación de pasajeros del Metro de Lima y Callao, se observa un análisis de los principales riesgos y como afectan a los objetivos principales del proyecto. Finalmente propone la metodología para la gestión de los riesgos usando los lineamientos del PMBOK-PMI; y la tesis desarrolla los procesos principales de identificación de riesgos, análisis cualitativo, análisis cuantitativo, monitoreo y control de los riesgos, y el plan de respuesta a los riesgos.

La presente tesis también hace uso del software @risk, con la cual se realiza una simulación Montecarlo para obtener la probabilidad y posible fecha de finalización del proyecto teniendo en cuenta las duraciones optimista, pesimista y más probable de las actividades críticas del proyecto. Con lo cual se observa que existen altas probabilidades de no cumplir con los plazos. También se muestra en la tesis un análisis de tornado donde se determina cuáles son las actividades más críticas del proyecto y sobre las cuales se deben prestar más atención y esfuerzo.

Finalmente, quiero expresar que tengo la seguridad de que el presente tema de tesis será de gran apoyo para las futuras generaciones de ingenieros civiles en formación en nuestra casa de estudios.

*César Fuentes Ortíz*



## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>PRÓLOGO</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>12</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	<b>13</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS</b> .....	<b>14</b>
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>16</b>
1.1    GENERALIDADES .....	16
1.2    REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	17
1.2.1    Problema General.....	20
1.2.2    Problemas Secundarios .....	21
1.3    OBJETIVOS .....	21
1.3.1    Objetivo General .....	21
1.3.2    Objetivos Específicos.....	21
1.4    HIPÓTESIS .....	22
1.4.1    Hipótesis General.....	22
1.4.2    Hipótesis Específicas.....	22
<b>CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>23</b>
2.1    ANTECEDENTES.....	23
2.2    PRINCIPALES NORMAS.....	24
2.3    ESTADO DEL ARTE.....	26
2.3.1    Planificación del sistema de transporte.....	26
2.3.2    Vías subterráneas para el transporte.....	27
2.3.3    La gestión de riesgos .....	28
2.4    MARCO TEÓRICO .....	30
2.4.1    Riesgo en los proyectos .....	30
2.4.2    Gestión de riesgos .....	31
2.4.3    Asientos y Desplazamientos en excavaciones.....	55
2.4.4    El nivel freático.....	59
2.5    MARCO CONCEPTUAL .....	61
2.5.1.    Impacto.....	61
2.5.2.    Peligro .....	62
2.5.3.    Probabilidad.....	62
2.5.4.    Proyecto.....	63
2.5.5.    Riesgo .....	63

<b>CAPITULO III: DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA ESTACIÓN INSURGENTES DE LA LINEA 2 DEL METRO DE LIMA.....</b>	<b>64</b>
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN.....	66
3.2. CARACTERISTICAS DE LA ZONA:.....	66
3.3. DISEÑO TÉCNICO DE LAS ESTACIONES .....	67
3.4. DISEÑO FUNCIONAL Y ARQUITECTÓNICO .....	70
3.5. DEMANDA Y NIVELES DE SERVICIO PREVISTOS.....	75
3.5.1. Demanda prevista .....	75
3.5.2. Niveles de servicio previstos para la estación .....	76
3.6. ESTUDIO DE ARQUEOLOGIA .....	76
3.7. PLAN DE REUBICACIÓN DE SISTEMAS VIALES.....	78
3.8. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS .....	78
3.9. MEDIO AMBIENTE .....	80
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA ESTACIÓN INSURGENTES DE LA LINEA 2 DEL METRO DE LIMA .....</b>	<b>81</b>
4.1. ESTIMACIÓN DE SUBSIDENCIAS MEDIANTE MODELOS SEMI-EMPÍRICOS O ANALÍTICOS .....	81
4.2. ANÁLISIS DE SUBSIDENCIAS MEDIANTE MODELOS NUMÉRICOS .....	81
4.2.1. Modelo geométrico de la excavación entre pantallas .....	82
4.2.2. Perfil geotécnico tipo en la estación Insurgentes.....	82
4.2.3. Descripción del Modelo Numérico de cálculo.....	82
4.3. ESTIMACIÓN DE SUBSIDENCIAS POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO .....	84
4.4. ESTIMACIÓN DE LOS ASIENTOS TOTALES .....	84
4.5. AUSCULTACIÓN DEL ENTORNO.....	85
4.5.1. Movimientos en el terreno .....	86
4.6. EVALUACIÓN DE AFECCIONES SOBRE EDIFICACIONES .....	86
4.7. ABATIMIENTO DE NIVEL FREÁTICO. ALTERNATIVA Y CAUDALES A EXTRAER .....	89
4.7.1. Ley de variación: Gradiente hidráulico vs Longitud de empotramiento ....	90
4.7.2. Ley de variación: Gradiente y Caudal de extracción vs Longitud de empotramiento .....	91
4.8. ALTERNATIVAS PARA LA EVACUACIÓN DEL AGUA BOMBEADA .....	95
4.8.1. Reinyección en el terreno del caudal de bombeo.....	96
4.8.2. Características y ejecución de pozos de recarga .....	96
<b>CAPITULO V: DISEÑO DE MODELO DE GESTIÓN PARA RIESGOS TÉCNICOS .....</b>	<b>98</b>
5.1. GESTIÓN DE RIESGOS PARA LA ESTACIÓN INSURGENTES .....	98
5.2. MODELO PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS .....	99
5.2.1. Identificación de peligros y riesgos asociados.....	100
5.2.2. Análisis cualitativo de los riesgos.....	102

5.2.3. Análisis cuantitativo de los riesgos .....	104
5.2.4. Monitoreo y control de los riesgos .....	157
5.2.5. Plan de respuestas.....	166
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>170</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>173</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>174</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>177</b>
ANEXO 1: INVENTARIO BASE DE LAS ESTRUCTURAS Y ELEMENTOS CONSTRUIDOS DENTRO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA (AID) DE LAS OBRAS DE LA ESTACIÓN DE INSURGENTES.....	177
ANEXO 2: FORMULARIO BASE PARA EL INVENTARIO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA (AID) DE LAS OBRAS DE LA ESTACIÓN DE INSURGENTES. ....	181
ANEXO 3: DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO PROPUESTO .....	184
ANEXO 4: RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE MONTE CARLO.....	185
4.1. Ingresos .....	185
4.2. Salidas .....	187
ANEXO 5: Reinyección en el terreno del caudal de bombeo .....	189
5.1. Inyección en el trasdós de la pantalla (5 m desde el trasdós) .....	189
5.2. Inyección a 50 m de la excavación.....	190
5.3. Inyección a 100 m de la excavación .....	190
5.4. Inyección a 250 m de la excavación .....	191

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Extracto de una Estructura de Desglose de los Riesgos (RBS) .....	36
Tabla N° 2: Ejemplo de Definiciones para Probabilidad e Impacto .....	37
Tabla N° 3: Valores de K' .....	58
Tabla N° 4: Valores del parámetro $\lambda$ .....	59
Tabla N° 5: Niveles de impacto.....	61
Tabla N° 6: Niveles de probabilidad.....	62
Tabla N° 7: Niveles de riesgo .....	63
Tabla N° 8: Matriz de Probabilidad/Impacto .....	63
Tabla N° 9: Localización de la estación Insurgentes .....	65
Tabla N° 10: Comparativa de las áreas de uso de viajeros PT-DM .....	69
Tabla N° 11: Capacidad de paso y velocidad.....	72
Tabla N° 12: Monumentos Históricos Identificados en la zona del proyecto .....	77
Tabla N° 13: Secuencia de fases de la construcción.....	79
Tabla N° 14: Rasantes estación de Insurgentes .....	80
Tabla N° 15: Propiedades de los materiales .....	83
Tabla N° 16: Clasificación de afecciones visibles. Escala de Burland J. B. (1977).....	86
Tabla N° 17: Datos para cálculo .....	90
Tabla N° 18: Longitudes de pantalla y caudales de bombeo según gradiente hidráulico	91
Tabla N° 19: Caudal total de infiltración (bombeo desde el fondo de excavación) .....	92
Tabla N° 20: Instalación de pozos de bombeo.....	93
Tabla N° 21: Caudal total de infiltración (bombeo con pozo profundo) .....	93
Tabla N° 22: Caudales de bombeo en excavación compartimentada.....	95
Tabla N° 23: Resumen .....	97
Tabla N° 24: Riesgos en el desarrollo de EDI .....	101
Tabla N° 25: Riesgos en la ejecución .....	101
Tabla N° 26: Valoración de riesgos en EDI's .....	102
Tabla N° 27: Valoración de riesgos en ejecución .....	103
Tabla N° 28: Actividades fuera del cronograma. Actividades previas .....	104
Tabla N° 29: Cronograma detallado con los tiempos estimados.....	105
Tabla N° 30: Diagrama Gantt. Fragmento.....	106
Tabla N° 31: Actividad "A" .....	108
Tabla N° 32: Coeficientes actividad "A" .....	108
Tabla N° 33: Salida actividad "A" .....	108
Tabla N° 34: Actividad "B" .....	109
Tabla N° 35: Coeficientes actividad "B" .....	110
Tabla N° 36: Salida actividad "B".....	110
Tabla N° 37: Actividad "C".....	111
Tabla N° 38: Coeficientes actividad "C" .....	112

Tabla N° 39: Salida actividad "C" .....	112
Tabla N° 40: Actividad "D" .....	113
Tabla N° 41: Coeficientes actividad "D" .....	114
Tabla N° 42: Salida actividad "D" .....	114
Tabla N° 43: Actividad "E" .....	115
Tabla N° 44: Coeficientes actividad "E" .....	116
Tabla N° 45: Salida actividad "E" .....	116
Tabla N° 46: Actividad "F" .....	117
Tabla N° 47: Coeficientes actividad "F" .....	118
Tabla N° 48: Salida actividad "F" .....	118
Tabla N° 49: Actividad "G" .....	119
Tabla N° 50: Coeficientes de actividad "G" .....	120
Tabla N° 51: Salida actividad "G" .....	120
Tabla N° 52: Actividad "H" .....	121
Tabla N° 53: Correlación actividad "H" .....	122
Tabla N° 54: Salida actividad "H" .....	122
Tabla N° 55: Actividad "I" .....	124
Tabla N° 56: Coeficientes actividad "I" .....	124
Tabla N° 57: Salida actividad "I" .....	125
Tabla N° 58: Actividad "J" .....	126
Tabla N° 59: Coeficientes actividad "J" .....	126
Tabla N° 60: Salida actividad "J" .....	127
Tabla N° 61: Actividad "K" .....	128
Tabla N° 62: Coeficientes actividad "K" .....	129
Tabla N° 63: Salida actividad "K" .....	129
Tabla N° 64: Actividad "L" .....	131
Tabla N° 65: Coeficiente actividad "L" .....	131
Tabla N° 66: Salida actividad "L" .....	132
Tabla N° 67: Actividad "M" .....	133
Tabla N° 68: Salida actividad "M" .....	134
Tabla N° 69: Actividad "N" .....	135
Tabla N° 70: Coeficientes actividad "N" .....	135
Tabla N° 71: Salida actividad "N" .....	136
Tabla N° 72: Actividad "O" .....	137
Tabla N° 73: Coeficientes actividad "O" .....	138
Tabla N° 74: Salida actividad "O" .....	139
Tabla N° 75: Actividad "P" .....	140
Tabla N° 76: Coeficientes actividad "P" .....	140
Tabla N° 77: Salida actividad "P" .....	141
Tabla N° 78: Actividad "Q" .....	142

Tabla N° 79: Coeficientes actividad "Q" .....	143
Tabla N° 80: Salida actividad "Q" .....	143
Tabla N° 81: Actividad "R" .....	145
Tabla N° 82: Coeficientes actividad "R" .....	145
Tabla N° 83: Salida de la actividad "R" .....	146
Tabla N° 84: Actividad "S" .....	147
Tabla N° 85: Coeficientes actividad "S" .....	148
Tabla N° 86: Salida actividad "S" .....	148
Tabla N° 87: Actividad "T" .....	150
Tabla N° 88: Coeficientes actividad "T" .....	150
Tabla N° 89: Salida actividad "T" .....	151
Tabla N° 90: Actividad "U" .....	152
Tabla N° 91: Coeficientes actividad "U" .....	153
Tabla N° 92: Salida actividad "U" .....	154
Tabla N° 93: Actividad "V" .....	155
Tabla N° 94: Coeficientes actividad "V" .....	156
Tabla N° 95: Salida actividad "V" .....	156
Tabla N° 96: Umbrales de control propuestos.....	159
Tabla N° 97: Zonificación de la obra .....	161
Tabla N° 98: Movimientos esperados. ....	162
Tabla N° 99: Niveles de alerta establecidos.....	165
Tabla N° 100: Medidas de respuesta a riesgos en EDI's.....	166
Tabla N° 101: Medidas de respuesta a riesgos en ejecución .....	168
Tabla N° 102: Edificaciones e infraestructuras interferidas.....	177

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: PBI global y PBI del sector construcción 2017 - 2018 (evaluación mensual porcentual).....	19
Figura N° 2: Diagrama adimensional de asientos con relación a la profundidad de excavación.....	56
Figura N° 3: Cubeta de asientos para pantalla con arriostamiento en cabeza .....	57
Figura N° 4: Modelo numérico con Phase2.....	60
Figura N° 5: Salida de resultados con el modelo numérico Phase2: Carga hidráulica ....	60
Figura N° 6: Situación en planta de la estación Insurgentes.....	65
Figura N° 7: Comparativa. Posición de la Estación Insurgentes. Propuesta Técnica .....	68
Figura N° 8: Comparativa. Posición de la Estación Insurgentes. Nueva Posición .....	68
Figura N° 9: Sección transversal de la estación Insurgentes .....	73
Figura N° 10: Ubicación de la estación de Insurgentes (Línea 2) y del Monumento Histórico: Iglesia Nuestra Señora del Carmen de la Legua .....	77
Figura N° 11: Geometría del modelo de cálculo.....	83
Figura N° 12: Probabilidad de la fecha de finalización.....	107
Figura N° 13: Probabilidad de la duración en días .....	107
Figura N° 14: Sección de instrumentación .....	165
Figura N° 15: Reinyección de caudal en el trasdós (5 m desde el trasdós) .....	189
Figura N° 16: Reinyección de caudal a 50 m de la excavación .....	190
Figura N° 17: Reinyección de caudal en el trasdós (100 m desde la excavación).....	191
Figura N° 18: Reinyección de caudal en el trasdós (250 m desde la excavación).....	192

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Proceso de Gestión de Riesgos.....	31
Gráfico N° 2: Descripción General de la Gestión de los Riesgos del Proyecto .....	32
Gráfico N° 3: Planificar la Gestión de los Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas.....	34
Gráfico N° 4: Ejemplo de Matriz de Probabilidad-Impacto con esquema de puntuación .	38
Gráfico N° 5: Identificar Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas.....	38
Gráfico N° 6: Análisis Cualitativo de Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas .....	40
Gráfico N° 7: Ejemplo de Gráfica de Burbujas. Detectabilidad, Proximidad y Valor de Impacto.....	42
Gráfico N° 8: Análisis Cuantitativo de Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas.....	43
Gráfico N° 9: Ejemplo de Curva S de Análisis Cuantitativo de Riesgos de Costos .....	45
Gráfico N° 10: Ejemplo de Diagrama de Tornado .....	46
Gráfico N° 11: Ejemplo de árbol de decisiones .....	47
Gráfico N° 12: Planificar la Respuesta a los Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas .....	49
Gráfico N° 13: Implementar la Respuesta a los Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas .....	53
Gráfico N° 14: Monitorear los Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas...54	
Gráfico N° 15: Asientos estimados por modelos semi-empíricos. Modelo de Hsieh y Ou (1998) .....	81
Gráfico N° 16: Curva de subsidencias por excavación en la estación Insurgentes .....	84
Gráfico N° 17: Curva de subsidencias totales y desplazamientos horizontales.....	87
Gráfico N° 18: Curva de distorsión angular y deformación horizontal de tracción .....	88
Gráfico N° 19: Niveles de afección de la estación Insurgentes. Gráfico de Boscardin y Cording 1989. ....	88
Gráfico N° 20: Estación Insurgentes. Gradiente vs Longitud empotramiento.....	90
Gráfico N° 21: Estación Insurgentes. Caudal vs Longitud empotramiento .....	91
Gráfico N° 22: Desplazamientos horizontales en muros pantalla de la caja de la Estación Insurgentes .....	163
Gráfico N° 23: Diagrama de flujo de la gestión de riesgos.....	184



## LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

A	: Nivel Alto.
AID	: Área de influencia directa.
AP	: Altamente Probable.
APM-SIG	: Association for Project Management.
B	: Nivel Bajo.
BRE	: Building Research Establishment.
C	: Impacto Crítico.
CIRA	: Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos.
EDI	: Estudio Definitivo de Ingeniería.
EDT/WBS	: Estructura de Desglose del Trabajo / Work Breakdown Structure
FODA	: Fortaleza, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.
FS	: Factor de Seguridad.
GP	: Grava mal gradada.
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
IP	: Improbable.
ITA	: International Tunneling Association.
ITIG	: International Tunneling Insurance Group.
M	: Nivel Medio.
MA	: Nivel Muy Alto.
Me	: Impacto Menor
Mo	: Impacto Moderado.
MP	: Medianamente Probable.
NF	: Nivel Freático.
NFPA	: National Fire Protection Association.
P	: Probable.
PBI	: Producto Bruto Interno.
PERT	: Program Evaluation and Review Technique.
PMBOK	: Project Management Body of Knowledge (Compendio del saber de la gestión de proyectos).
PMI	: Project Management Institute.
PMIS	: Sistemas de Información para la dirección de proyectos.
PMR	: Persona con movilidad reducida.
PP	: Poco Probable.

PSD	: Platform Screen Doors.
RBS	: Risk Breakdown Structure (Estructura de desglose de los riesgos).
S	: Impacto Serio.
Sv	: Impacto Severo.
TBM	: Tunnel Boring Machine.

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

En diciembre del año 2010 se aprobó la expansión de la Red Básica del Metro de Lima y Callao, donde se proyectó la construcción de seis (06) líneas estimándose un recorrido total de 165 km.

A la fecha, se cuenta con la línea uno (01) en funcionamiento, cumpliendo con un recorrido de 35km y se encuentra en construcción la línea dos (02) de 27 km y un ramal de 8 km correspondiente a la línea cuatro (04), las cuales tienen como particularidad ser líneas subterráneas.

Para la aprobación de la expansión de la Red Básica del Metro de Lima y Callao se realizaron un sinnúmero de evaluaciones a las propuestas, logrando así, tener un alcance del trabajo con costos y plazos que eventualmente han ido cambiando, principalmente por la falta de inversión económica, la complejidad del proyecto y la falta de experiencia en la construcción de líneas de metro en el país. Las líneas de metro son sin duda un gran reto como proyecto de construcción.

Según el PMI un proyecto se define como un esfuerzo temporal realizado para crear un servicio único, en el que se centra la mayor parte del tiempo y planificación en las restricciones: alcance, costo, cronograma, calidad, riesgos, y recursos.

Los riesgos como parte de las restricciones en un proyecto como las líneas de metro, que deben ser analizados antes, durante y después de la construcción.

En los últimos veinte años los países latinoamericanos como Colombia, Chile, México han entendido la importancia de desarrollar sistemas de transporte público urbano de gran capacidad en sus principales ciudades; Perú, no es ajeno a esta iniciativa de transporte y en ciudades como Lima y Arequipa cuenta con una estrategia para el desarrollo del transporte, como son:

- EL Plan Maestro de Transporte Urbano de Lima y Callao, en el cual establece un sistema de mediana capacidad y seis (06) líneas de metros.

- El Sistema Integrado de Transporte de Arequipa, que nace en el 2009 con la idea de un sistema de buses de tránsito rápido, y que en el año 2013 el Ministerio de Transportes lo propone como un sistema integrado con buses de tránsito rápido y un monorriel con vía elevada.

En vista a lo mencionado y comprendiendo la importancia de cumplir con el plazo de ejecución de proyectos y la gestión de riesgos en las actuales estrategias para el desarrollo del transporte en el Perú, se propone un modelo de gestión de riesgos para las estaciones de pasajeros para la Línea 2 del Metro de Lima. De donde surge las siguientes interrogantes, ¿Cuáles son los beneficios de un modelo de gestión de riesgos en proyectos de transportes como una estación de pasajeros en una Línea de metro en la ciudad de Lima?, ¿Cuáles son los riesgos potenciales en la construcción de una estación de pasajeros en una Línea de metro en la ciudad de Lima? Interrogantes que serán respondidas en el desarrollo de esta tesis.

## 1.2 REALIDAD PROBLEMÁTICA

Saloma (2018) afirma que el crecimiento del parque automotor en las ciudades ha generado problemas en el transporte, uno de ellos el saturar el flujo vehicular; cuya solución a mediano y largo plazo es una reorganización completa presidida desde el Estado, a fin de que sea este quien planifique, administre y lleve a cabo acciones en pro de la cultura y consciencia del transporte y las vías de comunicación. Se requiere también de una planificación urbana y de obras de infraestructura donde se adopten nuevas construcciones como intercambios viales, sistemas ferroviarios, líneas de metro entre otros.

En Perú la mayor concentración poblacional y vehicular se encuentra en la ciudad de Lima, la que no cuenta con una planificación urbana que permita el desplazamiento dinámico de los vehículos y genera por el contrario grandes acumulaciones de flujo vehicular y viajes más extensos.

El crecimiento del parque automotor no solo genera el problema de la congestión vehicular sino también una mayor contaminación ambiental principalmente del aire que respiramos que deja de ser una mezcla de oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono para adicionarse sustancias extrañas nocivas para las personas, animales y vegetación.

En Lima Metropolitana la contaminación del aire por la combustión del parque automotor es una problemática latente que se ha incrementado notablemente los últimos años. El mayor porcentaje de vehículos de transporte utiliza combustible de tipo diésel el cual tiene un alto de azufre perjudicial para la atmosfera. A fin de encontrar soluciones económicas y rápidas en contra de la congestión vehicular y la contaminación ambiental, se proponen nuevas obras de infraestructura vial tales como los metros y trenes urbanos.

La propuesta es un medio masivo para la movilización de la población debido al número de habitantes de la ciudad de Lima y la ineficiencia del transporte público de la ciudad.

Los metros permiten tener viajes más rápidos y de un mayor grupo de personas que otras alternativas viales, lo que contribuye a reducir la congestión vehicular. Así mismo, una línea de metro consume menos combustible que los buses, lo que se traduce a una disminución de la contaminación. Las ciudades con líneas de tren registran menores tasas de contaminación que las ciudades que se rigen por autobuses o automóviles en el transporte público.

Los metros subterráneos y las estaciones de pasajeros son obras novedosas en el Perú, de los cuales no se tienen antecedentes regionales y que en conjunto a la incertidumbre son causas potenciales de riesgos. A pesar de su importancia, la gestión de riesgos por lo general no es una práctica frecuente de las empresas constructoras (Saloma, 2018).

Los riesgos se presentan cuando se concibe la idea de un proyecto de construcción, e incluso forma parte del proyecto, afectando el alcance, costo y tiempo previsto (Narváez, 2014).

De los Ríos (2009) recalca la importancia de la gestión de riesgos, puesto que "Generar un análisis de riesgo es beneficioso para un proyecto, sin embargo, este pierde toda validez si únicamente es analizado en documentos y no se lleva a la práctica "(p.113).

Aparicio y Durán (2012) mencionan que la gestión de riesgos brinda mecanismos para reducir retrasos en la ejecución del proyecto y una adecuada gestión del presupuesto, lo que contribuye con el cumplimiento del plazo de ejecución de la

obra; además, la Directiva N.º 012-2017-OSCE/CD: “Gestión de riesgos en la Planificación de la Ejecución de Obras” resalta la importancia de implementar la gestión de riesgos en la planificación de la ejecución de obras, ya que incrementa la eficiencia de las inversiones en las obras públicas.

Para analizar la situación del Perú con base en sus proyectos y la repercusión de este en la economía, se tiene el informe económico de la construcción IEC N.º 19 de julio del 2018, en el cual se refiere al informe Doing Business difundido por el Banco Mundial, en el que se evalúa la situación del Perú en comparación con otros 18 países de América Latina, respecto a los cuatro indicadores que tienen una relación directa con el mercado inmobiliario: manejo de permisos de construcción, obtención de electricidad, registro de propiedades y acceso al crédito. El sector construcción es sin duda uno de los pilares fundamentales del PBI del Perú, tal como lo señala gráficamente el informe económico con datos recaudados del INEI.

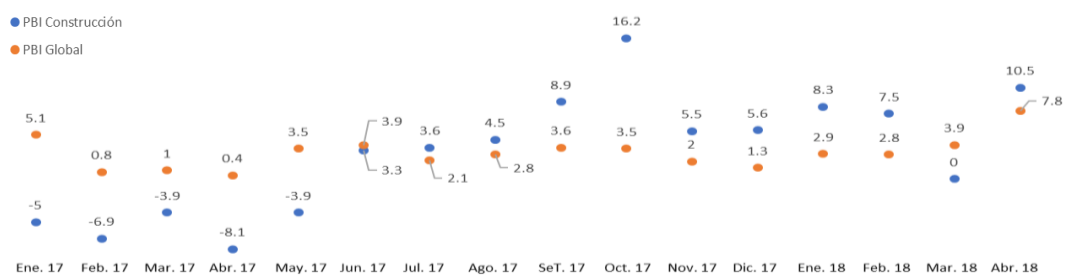


Figura N° 1: PBI global y PBI del sector construcción 2017 - 2018 (evaluación mensual porcentual)

Fuente: INEI

Una de las arterias a trabajar dentro del sector construcción para potencializar los sectores económicos y encaminarlos hacia un crecimiento sostenible ambientalmente es el transporte. En la ciudad de Lima en el año 2014 se otorgó la buena pro para la construcción de líneas de metro, las mismas que buscan encaminar el sector económico y de transporte, además de contribuir a la reducción de la congestión vehicular, la reducción de gases nocivos para el medio ambiente y mejorar las condiciones de transporte en tiempo y calidad para la población.

En las investigaciones antes mencionadas se puede concluir que existe una gran desventaja en tecnología y desarrollo de proyectos constructivos de líneas de metro en el Perú, por lo que sería recurrente encontrar diversos problemas en el alcance, costo, cronograma, y calidad; problemas que se suscitarían por la

inadecuada gestión de los riesgos (amenazas y oportunidades) que se pueden presentar en el proyecto.

Existe carencia en investigaciones de temas englobados en este tipo de proyectos como la liberación de terrenos, expropiaciones, agilidad en permisos municipales, diseño, construcción, operación y la adaptación de la población.

La construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima se caracteriza por ser una construcción de gran envergadura que está asociada a efectos de gran magnitud e impacto.

No basta con realizar un modelo de gestión de riesgos técnicos en papel, este perderá todo su valor si no es llevado a la práctica; es en la práctica donde el modelo de gestión de riesgos ayudará a terminar un proyecto con éxito, entendiéndose como éxito: llegar a cumplir con el plazo de ejecución todo el alcance previsto con el costo planificado, así mismo un modelo llevado a la práctica se materializa como un antecedente regional para proyectos similares.

Debido a que la estación Insurgentes de la línea 2 del metro de Lima es la primera de la etapa 2 en la que el nivel freático alcanza la losa de fondo, y con el fin de aprovechar al máximo las características de la TBM1 que realiza excavación en seco y la TBM2 de excavación bajo nivel freático, el pozo de ataque de la propuesta técnica es reubicado de la tercera vía de Oscar Benavides a la Estación Insurgentes; por lo que la estación pasa a ser camino crítico.

### 1.2.1 Problema General

El Perú presenta una gran desventaja en tecnología y desarrollo de proyectos constructivos de líneas de metro, lo que se refleja en diversos problemas en el alcance, costo, cronograma, y calidad; problemas que se suscitan por la falta de un modelo de gestión de riesgos técnicos en proyectos de construcción como estaciones subterráneas para pasajeros en una Línea de Metro, Lima la capital del Perú en el año 2010 tuvo la aprobación de la construcción de la Red Básica del Metro de Lima y Callao, que contempla la construcción de seis (06) líneas dentro de las cuales la línea 2 es subterránea y donde se planearon 27 estaciones de pasajeros.

La formulación del problema general es ¿Cuál es el modelo de gestión de riesgos técnicos en un proyecto de construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima?

### 1.2.2 Problemas Secundarios

Las formulaciones de los problemas secundarios son:

- ¿Cuál es la situación de la gestión de riesgos técnicos en la ejecución de proyectos de construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima?
- ¿Cómo influyen los tipos de riesgos en la construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima, en qué medida se deben considerar para el modelo de gestión de riesgos?
- ¿Cuál es el modelo de gestión de riesgos técnicos aplicables para un proyecto de construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima?

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de gestión de riesgos técnicos en proyectos de construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el diagnóstico situacional de la gestión de riesgos técnicos en la ejecución de proyectos de construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima.
- Analizar los tipos de riesgos, que impactan durante la gestión de la construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima.
- Diseñar el modelo de gestión propuesto para riesgos técnicos.



## 1.4 HIPÓTESIS

### 1.4.1 Hipótesis General

Aplicando el modelo de gestión de riesgos técnicos usando los lineamientos del PMI se mejorará el plazo de ejecución de las estaciones subterráneas para pasajeros de Líneas de Metro en la ciudad de Lima.

### 1.4.2 Hipótesis Específicas

- El diagnóstico situacional de la gestión de riesgos en la ejecución de proyectos de construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima permitirá conocer los riesgos en potencias a los que se pueden afrontar.
- Los tipos de riesgos que impactan durante la gestión de la construcción de una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima permiten predisponer de acciones para mitigar los riesgos negativos y potencializar los riesgos positivos.
- El modelo de gestión propuesto para riesgos técnicos es aplicable para una estación subterránea para pasajeros de una Línea de Metro en la ciudad de Lima.

## CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES

En diciembre del año 2010 se aprobó la expansión de la Red Básica del Metro de Lima y Callao, donde se proyectó la construcción de seis (06) líneas estimándose un recorrido total de 165 km.

En marzo del 2014 se entregó la Buena Pro de la concesión de la Línea 2, donde el consorcio ganador tiene a cargo la ingeniería y la ejecución de la obra, siendo esta, la primera vez que se construyen estaciones subterráneas para pasajeros en la ciudad de Lima, así como túneles para metros. (Ccucho, 2017).

La concepción, proyección y ejecución de grandes obras públicas de edificación e ingeniería lleva consigo la gestión sistemática de todos los riesgos inherentes a los mismos y para lo que es imprescindible adoptar modelos de gestión (Martínez, Moreno, Ordoñez, Alegre y Jadraque, 2010).

Narváez (2014) sostiene que “en el caso de Proyectos de Infraestructura, siempre se requiere una gran inversión, por lo tanto, es importante realizar una Gestión de Riesgos en todas sus fases” (p.15).

Para que la ejecución de un proyecto sea exitosa se usan las herramientas y buenas prácticas en la gestión de proyectos, como es la gestión de riesgos (Aparicio y Durán, 2012).

Las estaciones de pasajeros para una Línea de Metro en la ciudad de Lima, son sin duda una novedad en el sector construcción en el Perú y un gran reto como proyecto de construcción, es pues un esfuerzo temporal realizado para crear un servicio único, en el que se centra la mayor parte del tiempo y planificación en las principales restricciones: alcance, costo, cronograma, calidad, riesgos, y recursos. El tema de riesgos es importante considerarlo en un proyecto de este tipo, antes, durante y después de la construcción. (Project Management Institute [PMI], 2017).

Tal como señalan Martínez, Moreno, Ordoñez, Alegre y Jadraque (2010): “La magnitud y complejidad de los grandes proyectos de ingeniería conllevan riesgos

que deben ser gestionados de forma adecuada para conseguir alcanzar los objetivos de los mismos” con el plazo de ejecución previsto.

Se puede afirmar entonces que tener una metodología desarrollada y establecida para la evaluación de los riesgos en cualquier proyecto es indispensable. (Álvarez, Enamorado, Sierra y Alvarado, 2012)

En proyectos de gran envergadura como líneas de Metro, se requiere del compromiso entre las diversas entidades del Estado involucradas y la empresa privada, a fin de cumplir con los objetivos trazados en el plano de ejecución, logrando innovar y desarrollar métodos constructivos que generen menos impactos negativos en el proyecto” (Ccucho, 2017).

Según la Guía del PMBOK 6ta edición, entre las funciones que desarrolla el gerente de proyecto esta anticiparse a las posibles amenazas y oportunidades que pueden surgir en el proyecto, por medio de la gestión de riesgos del proyecto para lograr los objetivos, logrando balancear las restricciones del proyecto, tales como el tiempo, el presupuesto y objetivos de los interesados, empleando los recursos disponibles.

En el repositorio de tesis de la Universidad Nacional de Ingeniería, se encuentran investigaciones de modelos de gestión de riesgos para proyectos de construcción orientados y aplicados a edificaciones y/o viviendas, hay una carencia en investigaciones que realice modelos de gestión de riesgos para proyectos especiales (viales, mineros, entre otros). No es posible que un solo modelo de riesgos se use para tratar todos los proyectos constructivos con sus particularidades.

En base a los estudios antes mencionados se concluye que el aporte de la tesis es un modelo de gestión de riesgos usando los lineamientos del PMI mejorará el plazo de ejecución de la construcción subterránea de una estación de pasajeros en líneas de metro en la ciudad de Lima.

## 2.2 PRINCIPALES NORMAS

Entre las principales normas relacionada a la investigación se encuentran:

- Ley N<sup>a</sup> 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- D.S. N<sup>o</sup> 005-2012-TR; Reglamento de la Ley N<sup>o</sup> 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- D.S. N<sup>o</sup> 055-2010-EM, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería.
- D.S. N<sup>o</sup>011-2006-VIVIENDA; Reglamento Nacional de Edificaciones.
- D.S. N<sup>o</sup> 010-2009-VIVIENDA; Norma G.050 Seguridad durante la Construcción.
- R.S. N<sup>o</sup> 021-83-TR, Normas Básicas de Seguridad e Higiene en obras de Edificación.
- Código Nacional de Electricidad – Utilización.
- R.M. N<sup>o</sup>318-2010-MEM/DM; Modifican Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo de las actividades Eléctricas.
- Ley No. 26842; Ley General de Salud.
- D.S. N<sup>o</sup> 009-97 S.A. Reglamento de la ley 26790.
- D.S. 003-98, Normas Técnicas del Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo.
- Resolución de Gerencia General No. 1041-GG-ESSALUD-99.
- DL. N<sup>o</sup> 910; Ley General de Inspección del Trabajo y Defensa del Trabajador.
- Reglamento de Ley General de Residuos Sólidos 27314; Decreto Supremo 057-2004-PCM. 22 de julio de 2004.
- D.S. 033-2001-MTC. Reglamento Nacional de Tránsito.
- D.S. 058-2003-MTC y enmiendas, Reglamento Nacional Vehicular.
- D.S. 017-2008-MTC y enmiendas, Reglamento nacional de la administración de transportes.
- D.S. 025-2008-MTC / 2009-MTC15 y enmiendas, Acta que regula la inspección técnica vehicular.
- NTP 350.21 Clasificación de los fuegos y su representación gráfica.
- NTP 350.043-1 Extintores portátiles. Selección, distribución, inspección, mantenimiento, recarga y prueba hidrostática.
- NTP 399.011 Símbolos, medidas y disposición de las señales de seguridad.

## 2.3 ESTADO DEL ARTE

### 2.3.1 Planificación del sistema de transporte

La planificación es la fase fundamental del proceso de desarrollo y organización del transporte, gracias al cual se identifican problemas y oportunidades a presentarse en el desarrollo del proyecto desde el diseño, construcción hasta la puesta en marcha y mantenimiento.

Machuca, E. (2018) menciona que “en la planificación del transporte no hay objetivo único, sino que en general hay varios, cuya finalidad es la obtención de un sistema de transporte eficiente, en base a la circulación tanto de vehículos como de peatones”; afirmación que es rescatada de otros autores juntamente con la que la planificación de transporte es parte importante del proceso continuo de planificación urbana general.

Machuca señala las principales líneas de trabajo del planificador:

- Conocimiento de los diferentes medios de transporte y sus características
- Analizar la demanda existente de cada modo de transporte.
- Planificar las redes y su relación con el entorno (paradas, rutas y frecuencia)
- Diseñar sistemas de prioridad para el transporte público
- Analizar las necesidades de las estaciones (servicios, accesos, localización, etc.)
- Estudio de impacto vial
- Estrategias y planificación de transporte público

Los riesgos que se enfrentan en la planificación del sistema de transporte varían con el sistema propio y las necesidades a satisfacer, entre ellos se tiene la ubicación de una ruta, la planificación del sistema público, la integración de los sistemas de transporte en el área urbana, la actividad social o comercial a la que responda el sistema de transporte, entre otros.

Para iniciar la planificación del sistema de transporte se requiere tener un plan de ejecución, que parte de la identificación del problema y sus causas a partir del diagnóstico de la situación actual; así mismo un factor importante es identificar los involucrados y el área de influencia del sistema en estudio; en el área de influencia

y estudio se deben analizar las características que pueden ser aprovechadas y que constituyen oportunidades para el proyecto así como peligros o amenazas que afectan la zona en la que se ubicara la infraestructura del nuevo sistema de transporte. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2018).

### 2.3.2 Vías subterráneas para el transporte

Saloma (2018) sostiene que el crecimiento del parque automotor ha conllevado a saturar el flujo vehicular en las vías urbanas, en vista de ello la ingeniería propone nuevas soluciones, a fin de responder ante el crecimiento de vehículos y de las posibles congestiones urbanas. Una de estas soluciones son las construcciones de túneles y obras subterráneas.

Uno de los aspectos claves en las construcciones subterráneas son la metodología de diseño a emplearse y los procesos constructivos como tales.

En el anejo n°24 Plan de auscultaciones y control del metro de Madrid presentan brevemente tres principales sistemas diseñados para construcciones subterráneas, para la actividad de excavaciones que es la excavación mecanizada mediante tuneladora TBM en modo abierto, la excavación manual mediante el método secuencial o método austriaco y finalmente la excavación en falso túnel o Cut and Cover.

A nivel de Perú la implementación del procedimiento Cut and Cover o falso túnel es la que tiene mayor peso y mayor aceptación como tecnología de construcción adicionado a ello el uso de tuneladoras, trabajado en similitud a los antecedentes de obras españolas como el Metro de Madrid.

El método de falso túnel es amparado por pantallas continuas o pilotes y existen dos formas de realizarlo:

- Método 'bottom up': se excava la totalidad del túnel y se construye en el interior de abajo para arriba.
- Método 'top down': Requiere poca maquinaria especializada, bastará con la utilizada en la construcción convencional de sótanos. Se inicia con los muros pantalla o una hilera de pilotes que servirá como las paredes para ejecutar la losa superior que se apoya sobre dichas paredes, la excavación es de arriba hacia abajo tomando la losa y las paredes como elementos de contención.

La tierra del interior del túnel se extrae cuando los elementos portantes del túnel están ya construidos, se puede excavar con retroexcavadoras. Cuando se ha excavado hasta el nivel adecuado se ejecuta la contrabóveda, losa generalmente de concreto que hace de suelo del túnel. Se pueden crear losas intermedias para realizar túneles de varias plantas. (Martí, J.V.; Yepes, V.; González, F.; Alcalá, J., 2012). Este es el método a usar en la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima.

### 2.3.3 La gestión de riesgos

Lledó (2017) menciona que:” No deberíamos comenzar con la ejecución del proyecto sin un análisis de riesgo. La gestión de los riesgos es un área integradora del resto de las áreas del conocimiento” (p.384)

Se puede definir el riesgo de un proyecto como un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto negativo o positivo sobre al menos uno de los objetivos del proyecto, como tiempo, costo o alcance (Project Management Institute, 2017).

Espejo (2013) señala que la gestión de riesgos debe ser incluida de manera integrada en la planificación y construcción de obras subterráneas en general; precisamente la línea 2 del Metro de Lima contempla tener estaciones subterráneas en las que para cumplir con los objetivos y los tiempos de ejecución se puede aplicar las estadísticas y las herramientas de análisis de riesgos especialmente para tratar las incertidumbres a las que están propensas las obras subterráneas y de gran envergadura como las de una línea de metro y propiamente una estación de pasajeros.

Para realizar la gestión de riesgos se cuenta con herramientas como el árbol de decisión, arboles de fallo, arboles de eventos y simulaciones como la de Monte Carlo. Así como las herramientas se debe plantear la gestión planificada de los riesgos siguiendo los lineamientos del Project Management Institute, 2017.

El primer paso para realizar una gestión planificada de riesgos es conocer el significado de riesgos que según el Project Management Institute, 2017 se define como un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto negativo

o positivo sobre al menos uno de los objetivos del proyecto, como tiempo, costo y/o alcance.

Saloma, D. (2018) nos menciona que: “En el ámbito de los proyectos de obras civiles, la gestión de los riesgos no es una práctica frecuente de las empresas constructoras, y la gestión es muy mecánica; los aspectos más importantes, tales como el tiempo, el costo y la calidad se gestionan para evitar sanciones o multas y como cumplimiento a las especificaciones, previendo el no pago de las actividades por parte del cliente” (p. 17)

Saloma, D. (2018) menciona que: “Con el listado, ordenado por grado de afectación, se planifican acciones preventivas y correctivas para los riesgos que se considera que afectaran el cumplimiento de los objetivos, teniendo en cuenta que los más importantes son los que afectan el tiempo, el costo y la calidad”.

La administración de riesgos proporciona mejores resultados a los proyectos, permite prevenir o evitar los riesgos a presentarse en un futuro.

La gestión de riesgos permite tener un plan de acción para los posibles riesgos a presentarse, permite también realizar una mejor asignación de recursos y una correcta administración del presupuesto en un proyecto.

Los riesgos identificados no pueden ser eliminados en su totalidad, pero se puede reducir la probabilidad de ocurrencia, y sobre todo reducir el impacto sobre el proyecto gracias a los planes de contingencia previamente establecidos. (Martínez, 2012)

Algunos problemas en obra que significan riesgos en potencia son las incompatibilidades en los planos, la falta de procesos constructivos, el uso de tecnologías nuevas, la falta de seguridad en obra y la falta de comunicación y coordinación, en obras civiles y específicamente subterráneas los riesgos en potencia se encuentran en los procesos críticos como son las perforaciones, voladuras y desatado de rocas; donde se tiene en riesgo la vida de las personas y accidentes que paralicen la obra.



## 2.4 MARCO TEÓRICO

### 2.4.1 Riesgo en los proyectos

Todos los proyectos son riesgosos; como lo define el PMBOK un proyecto es un esfuerzo único y temporal y con diferentes grados de complejidad.

Un proyecto presenta riesgos individuales que se definen como eventos o condiciones inciertas que de producirse puede ser una oportunidad o una amenaza para los objetivos del proyecto. La combinación de los riesgos individuales y otras fuentes de incertidumbre, reflejan el grado de riesgo de la totalidad del proyecto.

Las amenazas no gestionadas pueden ocasionar retrasos, sobrecostos, déficit en el desempeño y/o pérdida en la reputación. Por otro lado, las oportunidades aprovechadas pueden conducir a múltiples beneficios como la reducción de tiempo y costo.

No deberíamos comenzar con la ejecución del proyecto sin un análisis de riesgo. Lledó, 2017 nos menciona que la gestión de los riesgos es un área integradora del resto de las áreas del conocimiento. Por ejemplo, no podemos afirmar que tenemos un cronograma y presupuesto realista si todavía no hemos finalizado el análisis de riesgo. Con el análisis de riesgo se determinarán las reservas para contingencia de plazos y costos que deben incluirse en el plan para la dirección del proyecto. (p.384).

Los riesgos en un proyecto son identificados y cuantificados, a fin de estimar una reserva para contingencias la misma que forma parte de la línea base de costos del proyecto. Pero en el proyecto también se puede tener riesgos desconocidos para los cuales se asigna una reserva de gestión general al proyecto que está incluida en el presupuesto, pero no en la línea base de costos.

La respuesta de una organización o individuo frente a un riesgo potencial, depende de varios factores que conforman su actitud frente al riesgo como:

- **Apetito:** el grado de incertidumbre aceptable a cambio de obtener una posible recompensa a futuro.
- **Tolerancia:** cantidad de riesgo dispuesto a enfrentar.

- Respaldo financiero: organizaciones con gran respaldo financiero están en la capacidad de tolerar más riesgo frente a otras organizaciones de bajos recursos.
- Diversificación: que es la variedad o mixtura de eventualidades las que permiten aceptar un mayor riesgo.

## 2.4.2 Gestión de riesgos

La gestión de riesgos de un proyecto, describe los procesos relacionados con el desarrollo de la gestión de riesgos de un proyecto. Se compone de siete procesos de dirección de proyectos: planificar la gestión de riesgos, identificarlos, analizar cualitativamente, analizar cuantitativamente, planificar la respuesta, implementar la respuesta y monitorear

Una estructura detallada del proceso de Gestión de Riesgos la desarrolla un grupo de la Association for Project Management (APM-SIG) y la presenta Chapman desde 1997, la que guarda relación con la estructura que presenta el Project Management Institute [PMI], 2017.

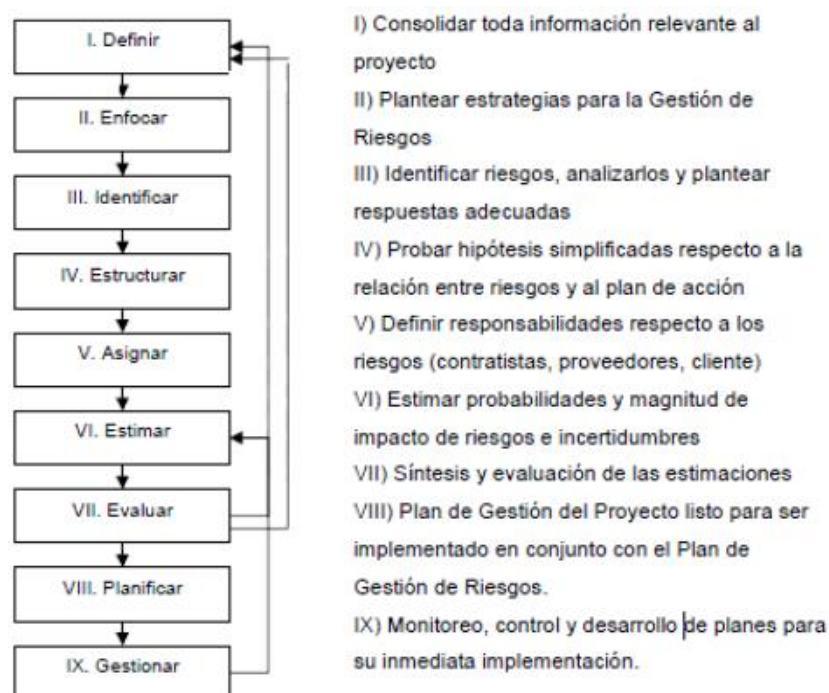


Gráfico N° 1: Proceso de Gestión de Riesgos

Fuente: *Project Risk Management Processes Techniques and Insights (Chapman, 1997)*

La estructura que presenta el Project Management Institute sexta edición se presenta en el gráfico N° 2.

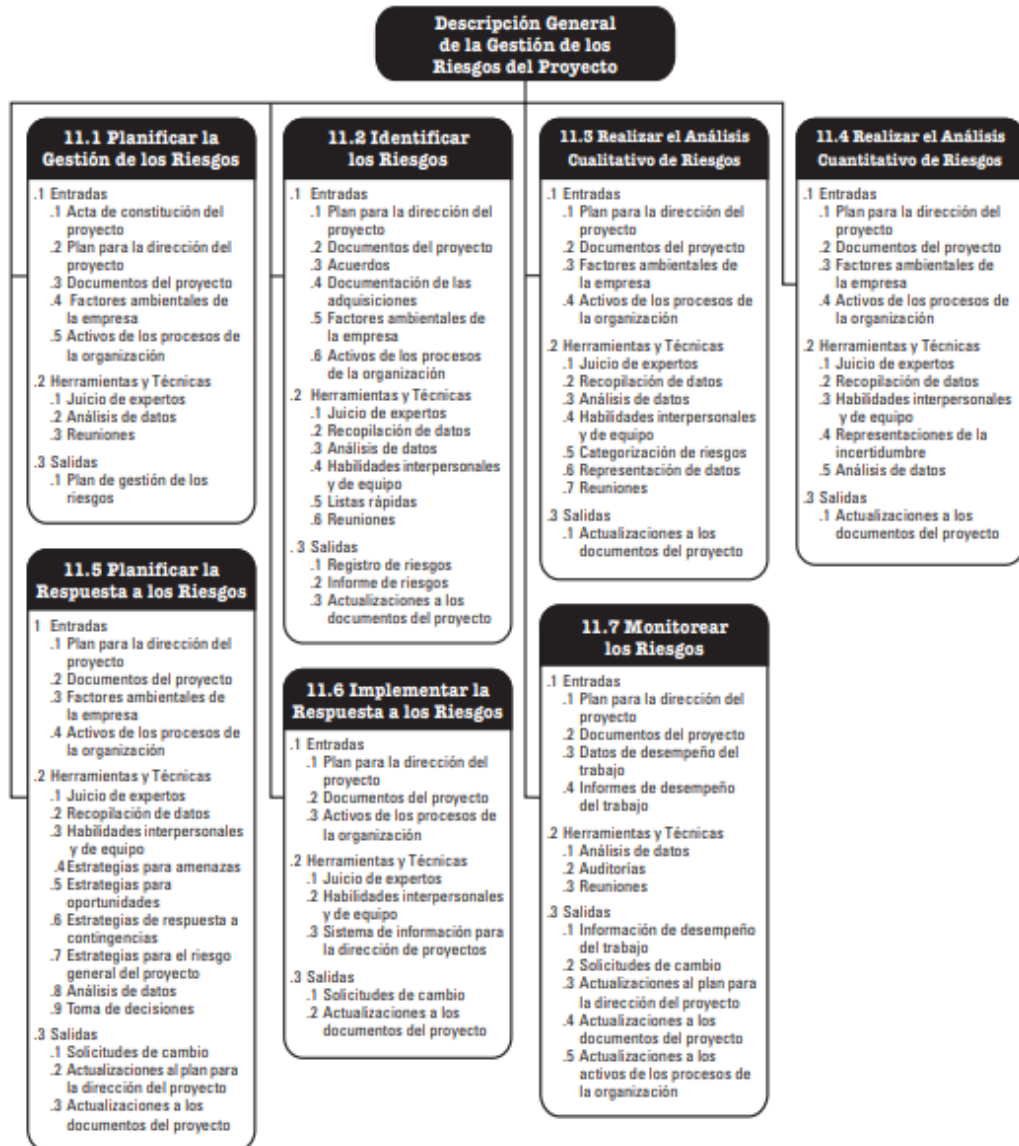


Gráfico N° 2: Descripción General de la Gestión de los Riesgos del Proyecto

Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos

El gráfico anterior presenta una descripción general de los procesos de Gestión de Riesgos del Proyecto; en la práctica no se encuentran los procesos diferenciados como muestra el gráfico, sino que interactúan constantemente y son adaptativos al ciclo de vida de los proyectos.

El riesgo deber ser controlado y gestionado a medida que avanza el proyecto a fin de asegurar que el proyecto cumpla con sus objetivos en el plazo previsto con los recursos asignados y el costo estimado.

Con el fin de gestionar el riesgo, el equipo del proyecto debe saber la exposición al riesgo aceptable para lograr los objetivos del proyecto; definido mediante umbrales de riesgo que reflejan el apetito al riesgo de la organización y de los interesados en el proyecto.

Los riesgos pueden ser ocasionados por eventos inciertos tal es el caso de los errores de proceso, falta de energía eléctrica, vencimiento de licencia de software, cambio de requisitos del proyecto. Los riesgos mencionados pueden ser cuantificados con herramientas como la simulación de Monte Carlo.

Los riesgos también pueden originarse a causa de la variabilidad; así como también por la ambigüedad que va ligado a las diferentes formas de interpretación según contexto, experiencia, importancia y complejidad que tenga el proyecto (materiales, herramientas, equipos, personal). La forma de gestionar estos riesgos es con estudios comparativos (benchmarking), análisis de escenarios, metodologías ágiles a través de prototipos, etc.

La gestión de riesgos se realiza en base al impacto y a la probabilidad de ocurrencia.

El impacto de un riesgo se comprende como la magnitud de los daños u oportunidades que el riesgo significa sobre el alcance, tiempo, costo y/o calidad del proyecto; y la probabilidad se define como un porcentaje de ocurrencia, donde un hecho improbable tiene una probabilidad cercana a cero y un hecho del que se está seguro que ocurra es 100%.

Los objetivos claves del proceso de gestión de riesgos son:

1. Minimizar la probabilidad de ocurrencia e impacto de los eventos adversos
2. Maximizar la probabilidad de ocurrencia e impacto de los eventos positivos

A continuación, se desarrollan los siete procesos de la gestión de riesgos considerando lo descrito en la “Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos” del Project Management Institute. (2017) y en el libro “Director de proyectos: Cómo aprobar el examen PMP® sin morir en el intento” 6ta de Lledó, P. (2017).

### 2.4.2.1 Planificar la Gestión de los Riesgos

La planificación de la gestión de riesgos es el proceso de definir cómo realizar las actividades de gestión de los riesgos que puedan suscitarse en un proyecto. El gráfico muestra las entradas, herramientas y técnicas, y salidas del proceso de planificar la gestión de los riesgos.

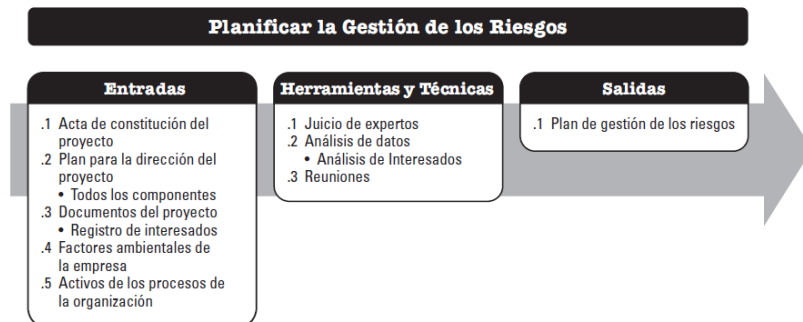


Gráfico N° 3: Planificar la Gestión de los Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas  
Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos

El proceso de planificar la gestión de riesgos inicia cuando se concibe el proyecto y aunque debe completarse casi de inmediato durante el nacimiento del proyecto y durante el ciclo de vida del proyecto se somete a cambios que no son significativos a menos que cambie el alcance del proyecto.

Para dar inicio a la planificación de la gestión de riesgos se requiere contar con el acta de constitución que es el documento que formaliza el inicio del proyecto; así mismo se requiere de todos los planes secundarios de gestión previamente aprobados y los documentos del proyecto como es el registro de interesados. Otras entradas son los factores ambientales de la empresa y los activos de los procesos de la organización.

Según la guía PMBOK 6ta edición, los activos de los procesos de la organización que pueden influir en el proceso de planificar la gestión de los riesgos, incluye, entre otros:

- Política de riesgos de la organización;
- Categorías de riesgo, posiblemente organizadas en una estructura de desglose de riesgos;
- Las definiciones comunes de conceptos y términos del riesgo;
- Los formatos de declaración de riesgos;

- Las plantillas para el plan de gestión de los riesgos, registro de riesgos e informe de riesgos;
- Roles y responsabilidades:
- Niveles de autoridad para la toma de decisiones; y
- Repositorio de lecciones aprendidas procedentes de proyectos anteriores y similares.

Como herramientas y técnicas del proceso de planificar la gestión de los riesgos se tiene el juicio de expertos donde se toma en cuenta la experiencia de los individuos o grupos que tengan conocimientos especializados o capacitación en los temas relacionados a manejo de riesgos, tipo de riesgos a encontrarse en los proyectos, y otros relacionados a la gestión de riesgos que necesita el proyecto. También como herramienta se tiene el análisis de datos que incluye el análisis de los interesados (con lo que se logra determinar el apetito de riesgos de los interesados), y las reuniones.

El resultado de la planificación de gestión de riesgos es el plan de gestión de riesgos, que es un componente del plan para la dirección del proyecto, donde se describe el modo en que se estructuran y se llevaran a cabo las actividades de gestión de riesgos.

El plan de gestión de riesgos incluye: la estrategia de riesgos que es el enfoque general para la gestión de riesgos en el proyecto en estudio; la metodología, es decir los enfoques, las herramientas y las fuentes de datos específicos que se utilizarán para llevar a cabo la gestión de riesgos en el proyecto. También incluye los roles y responsabilidades; desde definir el líder, el apoyo y los miembros del equipo con sus responsabilidades, así mismo el financiamiento o fondo necesario para lo que es muy importante establecer protocolos para las reservas de contingencia y de gestión. Incluye además un calendario donde se define cuándo y con qué frecuencia se llevará a cabo los procesos de Gestión de los Riesgos del Proyecto a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Estructurar las categorías de riesgo es por medio de una estructura de desglose de los riesgos (RBS), que es una representación jerárquica de las posibles fuentes de riesgos. Cuando no se utiliza una RBS, una organización puede utilizar un marco personalizado de categorización de riesgos, que puede adoptar la forma de

una simple lista de categorías o de una estructura basada en los objetivos del proyecto.

Una RBS ayuda al equipo del proyecto a tener en cuenta toda la gama de fuentes a partir de las cuales pueden derivarse los riesgos individuales del proyecto. Es útil en la identificación de riesgos y en categorizarlos. La organización puede tener una RBS genérica que se utilice para todos los proyectos, o puede haber varios marcos de RBS para diferentes tipos de proyectos, o el proyecto puede desarrollar una RBS a la medida.

Tabla N° 1: Extracto de una Estructura de Desglose de los Riesgos (RBS).

Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos

NIVEL 0 de RBS	NIVEL 1 de RBS	NIVEL 2 de RBS
0. TODAS TODAS LAS FUENTES DE RIESGO DEL PROYECTO	1. RIESGO TÉCNICO	1.1 Definición del alcance
		1.2 Definición de los requisitos
		1.3 Estimaciones, supuestos y restricciones
		1.4 Procesos técnicos
		1.5 Tecnología
		1.6 Interfaces técnicas
		Etc.
	2. RIESGO DE GESTIÓN	2.1 Dirección de proyectos
		2.2 Dirección del programa/portafolio
		2.3 Gestión de las operaciones
		2.4 Organización
		2.5 Dotación de recursos
		2.6 Comunicación
		Etc.
	3. RIESGO COMERCIAL	3.1 Términos y condiciones contractuales
		3.2 Contratación interna
		3.3 Proveedores y vendedores
		3.4 Subcontratos
		3.5 Estabilidad de los clientes
		3.6 Asociaciones y empresas conjuntas
		Etc.
	4. RIESGO EXTERNO	4.1 Legislación
		4.2 Tasas de cambio
		4.3 Sitios/Instalaciones
4.4 Ambiental/clima		
4.5 Competencia		
4.6 Normativo		
Etc.		

Los apetitos al riesgo de los interesados clave en el proyecto se registran en el plan de gestión de los riesgos, ya que informan los detalles del proceso Planificar la Gestión de los Riesgos.

En particular, el apetito al riesgo de los interesados debería ser expresado como umbrales de riesgo medibles en el entorno de cada objetivo del proyecto. Estos umbrales determinarán el nivel aceptable de exposición al riesgo general del proyecto.

La tabla N°2 proporciona un ejemplo del Project Management Institute. (2017). “Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos” de las definiciones de probabilidad e impactos contra tres objetivos del proyecto (tiempo, costo y calidad). Que guardan relación con el apetito de riesgo.

Un valor negativo representaría amenazas como retardo, costo adicional y déficit de desempeño, y positivo para las oportunidades como mejoras del tiempo, costo o desempeño.

*Tabla N° 2: Ejemplo de Definiciones para Probabilidad e Impacto*

*Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos*

ESCALA	PROBABILIDAD	+/- IMPACTO SOBRE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO		
		TIEMPO	COSTO	CALIDAD
Muy alto	>70%	>6 meses	>\$5M	Impacto muy significativo sobre la funcionalidad general
Alto	51-70%	3-6 meses	\$1M-\$5M	Impacto significativo sobre la funcionalidad general
Mediano	31-50%	1-3 meses	\$501K-\$1M	Algún impacto sobre áreas funcionales clave
Bajo	11-30%	1-4 semanas	\$100K-\$500K	Impacto menor sobre la funcionalidad general
Muy bajo	1-10%	1 semana	<\$100K	Impacto menor sobre las funciones secundarias
Nulo	<1%	Sin cambio	Sin cambio	Ningún cambio en la funcionalidad

La probabilidad y el impacto tienen términos descriptivos como muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo o valores numéricos. Cuando se utilizan valores numéricos, estos pueden ser multiplicados para dar una puntuación de probabilidad de impacto para cada riesgo.

Un ejemplo del Project Management Institute. (2017).” Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos” de matriz de probabilidad e impacto se presenta en el gráfico que muestra un posible esquema de puntuación numérica del riesgo.



		Amenazas					Oportunidades						
Probabilidad	Muy alta 0,90	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05	Muy alta 0,90	
	Alta 0,70	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04	Alta 0,70	
	Mediana 0,50	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40	0,40	0,20	0,10	0,05	0,03	Mediana 0,50	
	Baja 0,30	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02	Baja 0,30	
	Muy baja 0,10	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01	Muy baja 0,10	
		Muy bajo 0,05	Bajo 0,10	Moderado 0,20	Alto 0,40	Muy alto 0,80	Muy alto 0,80	Alto 0,40	Moderado 0,20	Bajo 0,10	Muy bajo 0,05		
		Impacto negativo					Impacto positivo						

Gráfico N° 4: Ejemplo de Matriz de Probabilidad-Impacto con esquema de puntuación  
Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos

El plan de gestión de los riesgos describe el contenido, el formato y el informe de riesgos, así como las salidas de los procesos de Gestión de los Riesgos.

#### 2.4.2.2 Identificar los Riesgos

Según el Project Management Institute (2017): “Identificar los Riesgos es un proceso iterativo, ya que pueden surgir nuevos riesgos individuales del proyecto a medida que el proyecto avanza a través de su ciclo de vida, y el nivel de riesgo general del proyecto también cambiará”. El gráfico a continuación muestra las entradas, herramientas y técnicas, y salidas del proceso de identificar los riesgos.

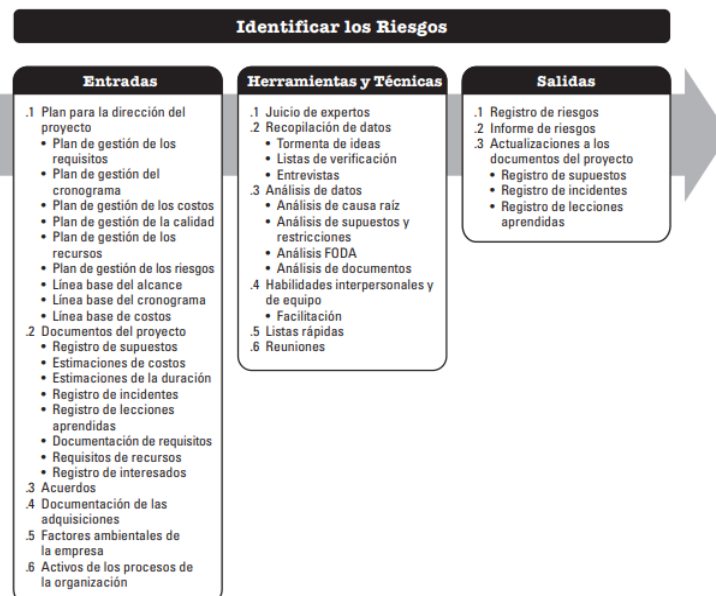


Gráfico N° 5: Identificar Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas.  
Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos

Los participantes en la identificación, son el director del proyecto, los miembros del equipo del proyecto, los especialistas en gestión de riesgos del proyecto, clientes, expertos en la materia externos al equipo del proyecto, usuarios finales, otros directores de proyecto, gerentes de operaciones, interesados y expertos en gestión de riesgos dentro de la organización.

Como entrada para el proceso de identificar los riesgos se tiene el plan para la dirección del proyecto que comprende planes subsidiarios(requisitos, cronograma, costos, calidad, recursos, riesgos), líneas base (alcance, cronograma y costos); también los documentos del proyecto (registro de supuestos, estimaciones de costos y duración, registro de incidentes, registro de lecciones aprendidas), documentación de requisitos (registro de recursos e interesados); adicionalmente los acuerdos, la documentación de las adquisiciones, los factores ambientales de la empresa.

Las herramientas y técnicas en el proceso de identificar los riesgos son el juicio de expertos, la recopilación de datos que se realiza con técnicas como la tormenta de ideas, la lista de verificación y entrevistas.

Posteriormente los datos recopilados pasan por un análisis donde las técnicas que pueden utilizarse para este proceso incluyen, entre otras: el análisis de causa raíz para descubrir las causas subyacentes que ocasionan un problema y para desarrollar acciones preventivas, el análisis de supuestos y restricciones, el análisis FODA donde examina el proyecto desde cada una de las perspectivas de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenaza; y el análisis de documentos.

Otras herramientas y técnicas son las habilidades interpersonales y de equipo, la lista de ideas rápidas y las reuniones.

Entre las salidas del proceso de identificar los riesgos se tiene el registro de riesgos donde captura los detalles de los riesgos individuales. El registro de riesgos puede contener información sobre riesgos limitada o detallada en función de las variables del proyecto, tales como el tamaño y la complejidad.

El contenido del registro de riesgos puede incluir la lista de riesgos identificados, los dueños de riesgos potencial y la lista de respuestas potenciales a los riesgos. Puede incluir así mismo un título breve del riesgo, categoría de riesgo, estado

actual del riesgo, una o más causas, uno o más efectos sobre los objetivos, factores desencadenantes de riesgo (eventos o condiciones que indiquen que el riesgo está a punto de ocurrir), referencia de la EDT/WBS de las actividades afectadas y la información de tiempo (cuando se identificó el riesgo, cuando podría ocurrir el riesgo, cuando podría ya no ser relevante y cuál es la fecha límite para la adopción de medidas).

El informe de riesgos es desarrollado en forma progresiva a lo largo del proceso Gestión de los Riesgos del Proyecto.

### 2.4.2.3 Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos

El análisis cualitativo consiste en evaluar cuál es el impacto y la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los riesgos identificados. En este proceso, los riesgos se ordenan de acuerdo a su importancia relativa sobre los objetivos del proyecto y se asigna un dueño a cada riesgo. El gráfico N°6 muestra las entradas, herramientas y técnicas, y salidas del proceso de realizar el análisis cualitativo de riesgos.

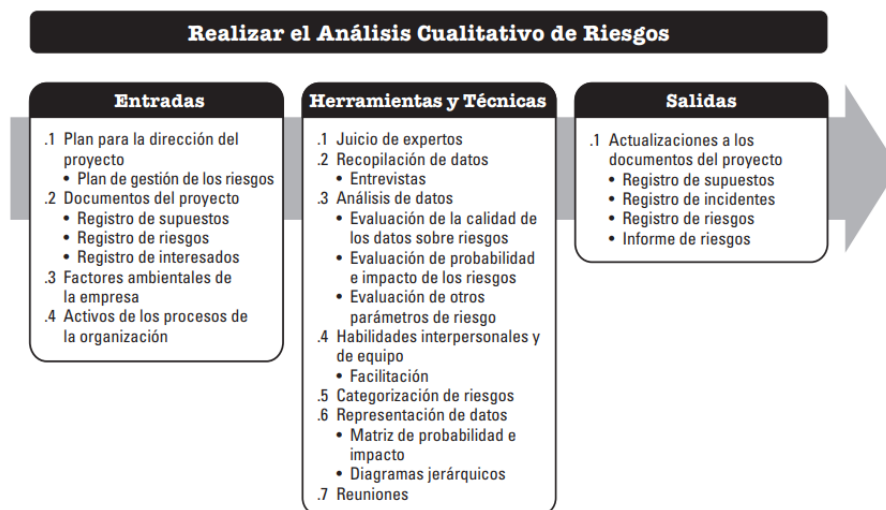


Gráfico N° 6: Análisis Cualitativo de Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas  
Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos

Se evalúa la prioridad de los riesgos usando su probabilidad de ocurrencia y el impacto en los objetivos del proyecto; evaluaciones subjetivas que se basan en la percepción del riesgo por parte del equipo del proyecto y otros interesados. Por lo tanto, una evaluación eficaz requiere la identificación explícita y la gestión de las

actitudes frente al riesgo por parte de los participantes clave en el marco del proceso Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos.

La percepción del riesgo introduce sesgos en la evaluación de los riesgos identificados, de modo que debe prestarse atención en la identificación de dichos sesgos y en su corrección. Cuando se utiliza un facilitador para apoyar el proceso Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos, abordar el sesgo es una parte clave de la función del facilitador.

El proceso Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos se lleva a cabo de manera regular a lo largo del ciclo de vida del proyecto, tal como se define en el plan de gestión de los riesgos. A menudo, en un entorno de desarrollo ágil el proceso Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos se lleva a cabo antes del comienzo de cada iteración

Las entradas para realizar el análisis cualitativo de riesgos son el plan para la dirección del proyecto, los documentos del proyecto (registro de supuestos, de riesgos y de interesados), los factores ambientales de la empresa y también los activos de los procesos de organización.

Las herramientas y técnicas para el proceso Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgo son el juicio de expertos, la recopilación de datos y el análisis de los mismos a través de técnicas como: evaluación de la calidad de los datos sobre riesgos, evaluación de probabilidad e impacto de los riesgos, evaluación de otros parámetros de riesgo donde se incluye según la guía del PMBOK características como:

- **Urgencia.** El período dentro del cual debe ser implementada una respuesta al riesgo con el fin de ser efectiva. Un período breve indica una elevada urgencia.
- **Proximidad.** El período antes de que el riesgo pudiera tener un impacto en uno o más objetivos del proyecto. Un breve período indica una elevada proximidad.
- **Inactividad.** El período que puede transcurrir después de ocurrido el riesgo, antes de que se descubra su impacto. Un breve período indica una baja inactividad.
- **Manejabilidad.** La facilidad con la que el dueño de un riesgo puede gestionar la aparición o el impacto de un riesgo.

- **Controlabilidad.** El grado en el que el dueño del riesgo es capaz de controlar el resultado del riesgo.
- **Detectabilidad.** La facilidad con que pueden ser detectados y reconocidos los resultados de que el riesgo ocurra, o esté a punto de ocurrir.
- **Conectividad.** La medida en que el riesgo está relacionado con otros riesgos individuales del proyecto.
- **Impacto estratégico.** La posibilidad de que el riesgo tenga un efecto positivo o negativo sobre los objetivos estratégicos de la organización.
- **Propincuidad.** El grado en que se percibe que un riesgo importa por parte de uno o más interesados.

También son herramientas las habilidades interpersonales y de equipo, la categorización de riesgos, reuniones, la representación de datos donde se tienen técnicas como: matriz de probabilidad e impacto, diagramas jerárquicos; como ejemplo se muestra la gráfica de Burbujas que muestra detectabilidad, proximidad y el valor del impacto.

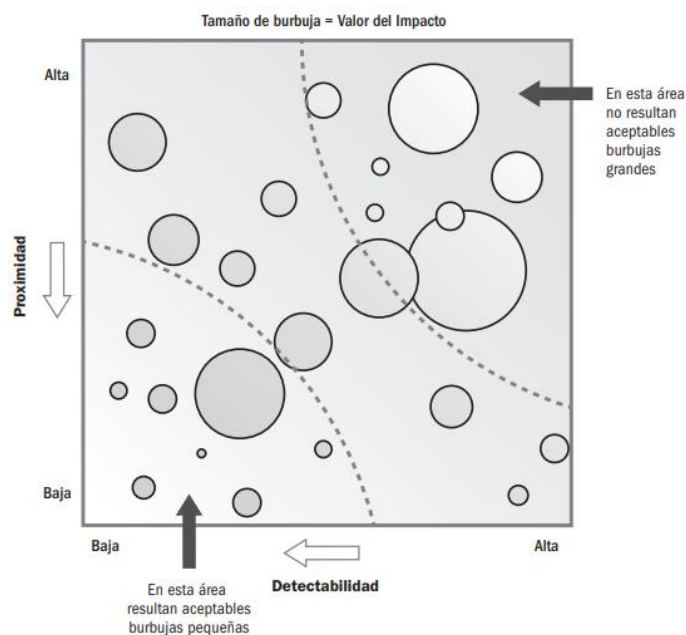


Gráfico N° 7: Ejemplo de Gráfica de Burbujas. Detectabilidad, Proximidad y Valor de Impacto

Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos

Las salidas del proceso Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos son las actualizaciones a los documentos del proyecto como el registro de supuestos, registro de incidentes, registro de riesgos e informe de riesgos.

#### 2.4.2.4 Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos

El análisis cuantitativo de Riesgos es el proceso de analizar numéricamente el efecto combinado de los riesgos individuales del proyecto identificados y otras fuentes de incertidumbre sobre los objetivos generales del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que cuantifica la exposición al riesgo del proyecto en general, y también puede proporcionar información cuantitativa adicional sobre los riesgos para apoyar la planificación de la respuesta a los riesgos.

El gráfico a continuación muestra las entradas, herramientas y técnicas, y salidas del proceso de realizar el análisis cuantitativo de riesgos.



Gráfico N° 8: Análisis Cuantitativo de Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas.  
Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos

El análisis cuantitativo de riesgos por lo general requiere un software de riesgo especializado y pericia en el desarrollo y la interpretación de los modelos de riesgo. Además, consume tiempo y costos adicionales. El uso de análisis cuantitativo de riesgos para un proyecto será especificado en el plan de gestión de los riesgos del proyecto.

Las entradas para el proceso Análisis Cuantitativo de Riesgos es el plan para la dirección del proyecto que incluye entre otros el plan de gestión de los riesgos, línea base del alcance, del cronograma y de costos.

Las herramientas y técnicas para el proceso Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos son el juicio de expertos, donde se debe tomar en cuenta la pericia de los individuos o grupos que tengan conocimientos especializados o capacitación en los siguientes temas:

- La traducción de la información sobre los riesgos individuales del proyecto y otras fuentes de incertidumbre en entradas numéricas para el modelo de análisis cuantitativo de riesgos,
- La selección de la representación más apropiada de la incertidumbre a fin de modelar los riesgos particulares u otras fuentes de incertidumbre,
- Las técnicas de modelado que resulten apropiadas en el contexto del proyecto,
- La identificación de qué herramientas serían las más adecuadas para las técnicas de modelado seleccionados, y
- La interpretación de los resultados del análisis cuantitativo de riesgos.

También es una herramienta del proceso la recopilación de datos por medio de entrevistas, las habilidades interpersonales y de equipo, las representaciones de la incertidumbre y el análisis de datos para lo cual puede utilizarse algunas técnicas como son:

**Simulación:** El análisis cuantitativo de riesgos utiliza un modelo que simula los efectos combinados de los riesgos individuales del proyecto y otras fuentes de incertidumbre a fin de evaluar su impacto potencial en la consecución de los objetivos del proyecto.

Las simulaciones se realizan habitualmente mediante un análisis de Monte Carlo, donde los valores de entrada (por ejemplo, estimaciones de costos, estimaciones de duración o aparición de ramas probabilísticos) son elegidos al azar para cada iteración.

- Un análisis de Monte Carlo para el riesgo de costo, utiliza en la simulación las estimaciones de costos del proyecto.
- Un análisis de Monte Carlo para el riesgo de cronograma, utilizan el diagrama de red del cronograma y las estimaciones de duración.

- Un análisis cuantitativo integral del riesgo de costos-cronograma utiliza ambas entradas.

Se utilizan aplicaciones informáticas para iterar el modelo de análisis cuantitativo de riesgos varios miles de veces, tales como el @Risk, Primavera Risk Analysis, Crystal Ball, entre otros. Para la presente investigación se usará el programa @Risk de Palisade que es un software que permite realizar el análisis de riesgos mediante una simulación y tener como entradas y salidas hojas de Excel de fácil entendimiento y manejo, además de ser útil en cualquier sistema operativo.

La salida es un modelo de análisis cuantitativo de riesgos, que representan el rango de posibles resultados para el proyecto (por ejemplo, fecha de finalización del proyecto, costo del proyecto a la terminación); además las salidas típicas incluyen un histograma que presenta el número de iteraciones donde se produjo un resultado de la simulación en particular, o una distribución de probabilidad acumulada (curva S) que representa la probabilidad de lograr cualquier resultado en particular o menos. Un ejemplo de la curva S de un análisis de Monte Carlo sobre riesgos de costos se muestra en el gráfico N°9.

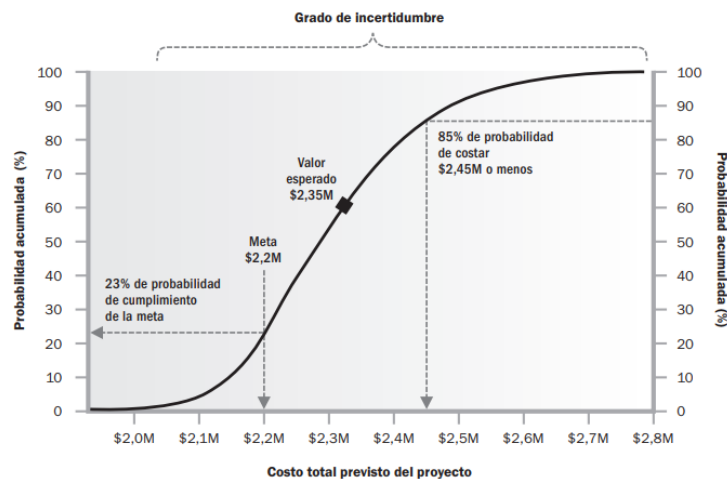


Gráfico N° 9: Ejemplo de Curva S de Análisis Cuantitativo de Riesgos de Costos

Fuente: Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos*

Vílchez W. (2006) sostiene que “La simulación de Monte Carlo permitirá encontrar la probabilidad de ocurrencia de los eventos resultantes de la interacción de los distintos escenarios y las distintas alternativas y de esta manera cuantificar el riesgo” (p. 6)



**Análisis de sensibilidad:** El análisis de sensibilidad ayuda a determinar qué riesgo individual del proyecto u otra fuente de incertidumbre tiene el impacto con mayor potencial sobre los resultados del proyecto. Correlaciona las variaciones en los resultados del proyecto con las variaciones en los elementos del modelo de análisis cuantitativo de riesgos.

Una visualización típica de los análisis de sensibilidad es el diagrama de tornado, que presenta el coeficiente de correlación calculado para cada elemento del modelo de análisis cuantitativo de riesgos que pueda influir en el resultado del proyecto. Los elementos están clasificados por fortaleza de correlación descendente, dando la apariencia típica de un tornado. El gráfico N°10 se muestra un ejemplo de diagrama de tornado.

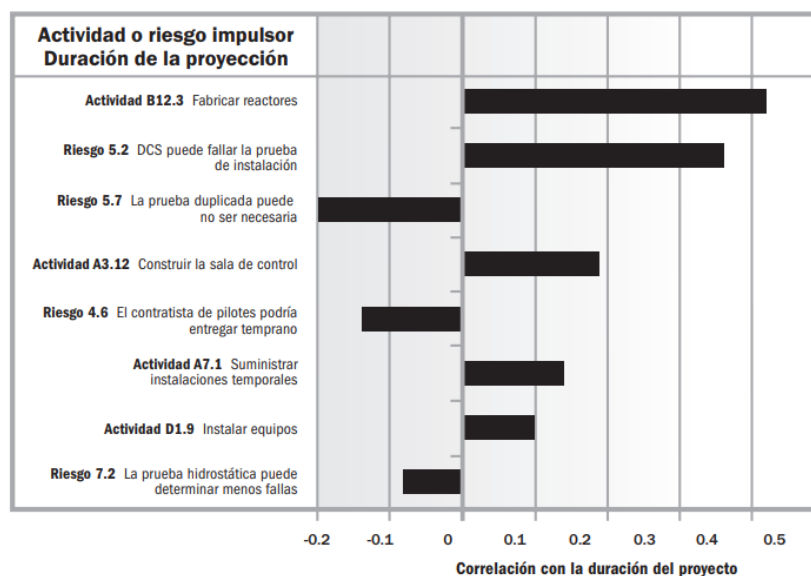


Gráfico N° 10: Ejemplo de Diagrama de Tornado

Fuente: Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos*

**Análisis mediante árbol de decisiones:** Los árboles de decisiones se utilizan para apoyar la selección del mejor curso de acción entre varios alternativos. Las trayectorias alternativas a través del proyecto se muestran en el árbol de decisiones utilizando ramas que representan diferentes decisiones o eventos, cada uno de los cuales puede tener costos asociados y riesgos individuales del proyecto relacionados (incluyendo tanto las amenazas como las oportunidades).

Los puntos finales de las ramas en el árbol de decisiones representan el resultado de seguir esa trayectoria en particular, que puede ser negativo o positivo. El árbol

de decisiones se evalúa calculando el valor monetario esperado de cada rama (probabilidad por impacto), lo que permite seleccionar la trayectoria óptima. El gráfico N°11 muestra un ejemplo de árbol de decisiones.

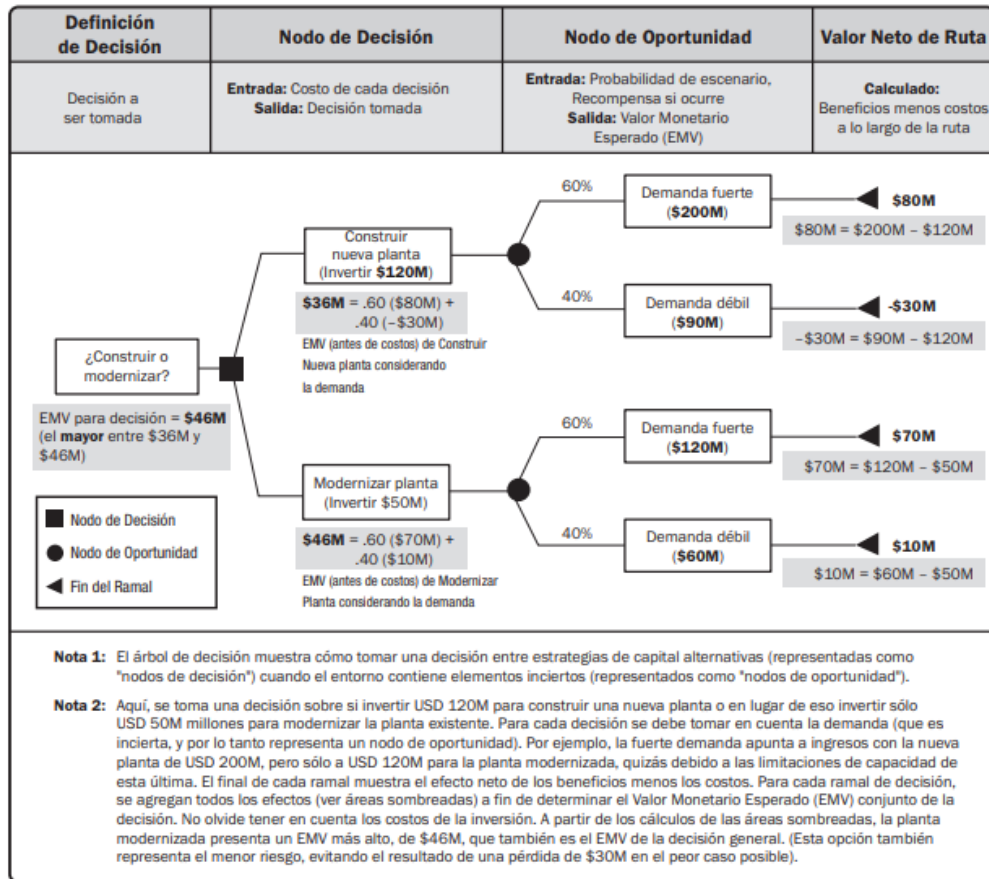


Gráfico N° 11: Ejemplo de árbol de decisiones

Fuente: Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos*

**Diagramas de influencias:** Los diagramas de influencias son ayudas gráficas para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre. Un diagrama de influencias representa un proyecto o situación dentro del proyecto como un conjunto de entidades, resultados e influencias, junto con las relaciones y efectos entre ellos.

Cuando un elemento en el diagrama de influencias es incierto, como consecuencia de la existencia de riesgos individuales del proyecto o de otras fuentes de incertidumbre, este puede ser representado en el diagrama de influencias utilizando rangos o distribuciones de probabilidad. Las salidas de un diagrama de influencias son similares a las de otros métodos de análisis cuantitativo de riesgos.

Las salidas del proceso de Realizar en Análisis Cuantitativo de Riesgos son las actualizaciones a los documentos del proyecto, donde se suele incluir:

- Evaluación de la exposición general a los riesgos del proyecto. El riesgo general del proyecto está reflejado en dos mediciones claves:
  - Las posibilidades de éxito del proyecto, indicadas por la probabilidad de que el proyecto logre sus objetivos clave (por ejemplo, fecha de finalización requerida o hitos intermedios, objetivo de costos requerido, etc.).
  - El grado de variabilidad inherente restante dentro del proyecto en el momento en que se realizó el análisis, indicado por la gama de posibles resultados del proyecto.
- Análisis probabilístico detallado del proyecto. Se presentan las salidas clave como curvas S, diagramas de tornado y análisis de criticidad (ver la actividad o actividades críticas), junto con una interpretación narrativa de los resultados.
- Lista priorizada de riesgos individuales del proyecto. Esta lista incluye aquellos riesgos individuales que representan la mayor amenaza o suponen la mayor oportunidad para el proyecto, como lo indica el análisis de sensibilidad.
- Respuestas recomendadas a los riesgos.

Las salidas descritas, se utilizan como entradas para el proceso Planificar la Respuesta a los Riesgos.

#### *2.4.2.5 Planificar la Respuesta a los Riesgos*

Planificar la Respuesta a los Riesgos es el proceso de desarrollar opciones, seleccionar estrategias y acordar acciones para abordar la exposición general al riesgo del proyecto, así como para tratar los riesgos individuales del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que identifica las formas adecuadas de abordar el riesgo general del proyecto y los riesgos individuales del proyecto. Este proceso también asigna recursos e incorpora actividades en los documentos del proyecto y el plan para la dirección del proyecto, según sea necesario. Este proceso se lleva a cabo a lo largo de todo el proyecto.

El gráfico a continuación muestra las entradas, herramientas y técnicas, y salidas del proceso de planificar la Respuesta a los riesgos.

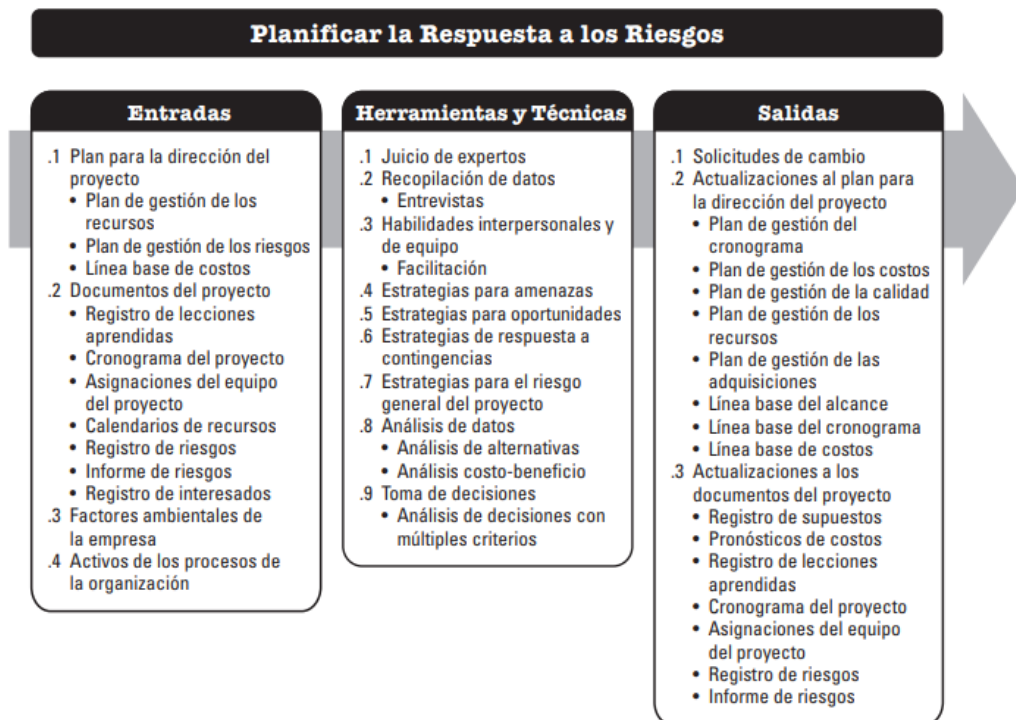


Gráfico N° 12: Planificar la Respuesta a los Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas  
Fuente: Project Management Institute. (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos

Las respuestas efectivas y adecuadas a los riesgos pueden reducir al mínimo las amenazas individuales, maximizar las oportunidades individuales y reducir la exposición global al riesgo del proyecto. Las respuestas inadecuadas a los riesgos pueden tener el efecto inverso.

Una vez que los riesgos hayan sido identificados, analizados y priorizados, el dueño del riesgo debe desarrollar planes para hacer frente. Las respuestas a los riesgos deben adecuarse a la importancia del riesgo, ser rentables con relación al desafío a cumplir, realistas dentro del contexto del proyecto, acordadas por todas las partes involucradas y deben estar a cargo de una persona responsable.

Para los proyectos grandes o complejos puede ser apropiado utilizar un modelo de optimización matemática o un análisis de opciones reales como base para un análisis económico de las estrategias alternativas de respuesta a los riesgos.

Se desarrollan acciones específicas para implementar la estrategia acordada para respuesta a los riesgos, incluidas estrategias principales y de refuerzo, según sea necesario. Puede desarrollarse un plan de contingencia (o plan de reserva) que

se implementará si la estrategia seleccionada no resulta totalmente efectiva o si se produce un riesgo aceptado.

También deben identificarse los riesgos secundarios. Los riesgos secundarios son riesgos que surgen como resultado directo de la implementación de una respuesta a los riesgos. A menudo se asigna una reserva para contingencias de tiempo o costo. En los casos en que ésta se establece, el plan puede incluir la identificación de las condiciones que suscitan su utilización.

Planificar la Respuesta a los Riesgos tiene como entradas al plan para la dirección del proyecto que incluye, entre otros, al plan de gestión de los recursos, de los riesgos, la línea base de costos, así como también los documentos del proyecto (registro de lecciones aprendidas, cronograma del proyecto, asignaciones del equipo del proyecto, calendarios de recursos, registro de riesgos, informe de riesgos y registro de interesados). También son entradas los factores ambientales de la empresa.

Las herramientas y técnicas para el proceso de Planificar la Respuesta a los Riesgos incluyen el juicio de expertos donde se tomar en cuenta la pericia de los individuos o grupos que tengan conocimientos especializados estrategias de respuesta a amenazas, a oportunidades, a contingencias, y estrategias de respuesta al riesgo general del proyecto.

También se usa como herramienta la recopilación de datos a través de técnicas como las entrevistas estructuradas o semiestructuradas con los dueños de los riesgos. Otros interesados también pueden ser entrevistados, si es necesario. El entrevistador debería promover un ambiente de confianza y confidencialidad en el marco de la entrevista a fin de fomentar aportes honestos e imparciales. Las habilidades interpersonales y de equipo también son herramientas del proceso.

Las herramientas que más se desarrollan son las herramientas de estrategias, primero las estrategias para amenazas donde se pueden considerar cinco estrategias alternativas para hacer frente a las amenazas, de la siguiente manera:

**Escalar.** Aplicable cuando la amenaza está fuera del alcance del proyecto y se maneja a nivel de programa o portafolio.

**Evitar.** El fin es eliminar la amenaza o proteger al proyecto de su impacto, las acciones evasivas pueden incluir la eliminación de la causa de una amenaza, la extensión del cronograma, el cambio de la estrategia del proyecto o la reducción del alcance.

**Transferir.** La transferencia implica el cambio de titularidad de una amenaza a un tercero a fin de hacer uso de seguros, garantías de cumplimiento, fianzas, certificados de garantía, etc.

**Mitigar.** Se busca reducir la probabilidad de ocurrencia y/o el impacto de una amenaza, es recomendable a edades tempranas

**Aceptar.** La aceptación de riesgos es una formalidad que no trae obligatoriamente consigo la toman medidas proactivas. La aceptación puede ser activa o pasiva.

En las estrategias para oportunidades se pueden considerar cinco estrategias alternativas para hacer frente a las oportunidades, de la siguiente manera:

**Escalar.** Cuando las oportunidades están relacionadas al objetivo del proyecto y son manejadas a nivel de programa o portafolio.

**Explotar.** Para asegurar la realización de la oportunidad.

**Compartir.** Compartir implica la transferencia de la propiedad de una oportunidad a un tercero que exige el pago de una prima de riesgo a la parte que asume la oportunidad.

**Mejorar.** La estrategia de mejorar se utiliza para aumentar la probabilidad y/o el impacto de una oportunidad. Para una mayor efectividad se recomienda las acciones tempranas.

**Aceptar.** La aceptación de una oportunidad reconoce su existencia, pero no se toman medidas proactivas.

Las estrategias de respuesta a contingencia que se diseña para ser usadas únicamente si se produce determinados eventos, las estrategias para el riesgo general del proyecto implican:

**Evitar.** Es recomendable cuando el nivel de riesgo es negativo y fuera de los umbrales de riesgo.

**Explotar.** Frente a un riesgo es positivo y su realización logre los objetivos del proyecto.

**Transferir/compartir.** Si el nivel de riesgo general del proyecto es alto, pero la organización es incapaz de hacerle frente de manera efectiva se puede buscar un tercero a fin de repotenciar el riesgo y sus consecuencias.

**Mitigar/mejorar.** La mitigación se utiliza cuando el riesgo global del proyecto es negativo, y cuando es positivo se aplica la de mejora.

**Aceptar.** Si es activa incluye tareas para fomentar el desarrollo, y de ser pasiva solo es una aceptación formal que no involucra medidas proactivas.

Como técnicas para la herramienta de análisis de datos se tiene el análisis de alternativas y el análisis costo-beneficio que a su vez contribuyen con la herramienta toma de decisiones.

Las salidas del proceso Planificar la Respuesta a los riesgos son las solicitudes de cambio, las actualizaciones del plan para la dirección del proyecto, los planes subsidiarios y las líneas base También es salida las actualizaciones a los documentos del proyecto que incluyen, entre otros el registro de riesgos e informe de riesgos.

Las actualizaciones al registro de riesgos pueden incluir, entre otras:

- Estrategias de respuesta acordadas;
- Acciones específicas para implementar la estrategia de respuesta seleccionada;
- Condiciones desencadenantes, síntomas y señales de advertencia relativos a la ocurrencia de un riesgo;
- Presupuesto y actividades del cronograma necesarios para implementar las respuestas seleccionadas;
- Planes de contingencia y desencadenantes de riesgos que requieren su ejecución;
- Planes de reserva a ser utilizados cuando ha ocurrido un riesgo y la respuesta inicial no ha sido la adecuada;
- Riesgos residuales que se espera que permanezcan después de la ejecución de las respuestas planificadas, así como los riesgos que han sido aceptados deliberadamente; y
- Riesgos secundarios que surgen como resultado directo de la implementación de una respuesta a los riesgos.

### 2.4.2.6 Implementar la Respuesta a los Riesgos

Implementar la Respuesta a los Riesgos es el proceso de implementar planes acordados de respuesta a los riesgos. El beneficio clave de este proceso es que asegura que las respuestas a los riesgos acordadas se ejecuten tal como se planificaron, a fin de abordar la exposición al riesgo del proyecto en general, minimizar las amenazas individuales del proyecto y maximizar las oportunidades individuales del proyecto. Este proceso se lleva a cabo a lo largo de todo el proyecto.

El gráfico a continuación muestra las entradas, herramientas y técnicas, y salidas del proceso de Implementar la Respuesta a los riesgos.

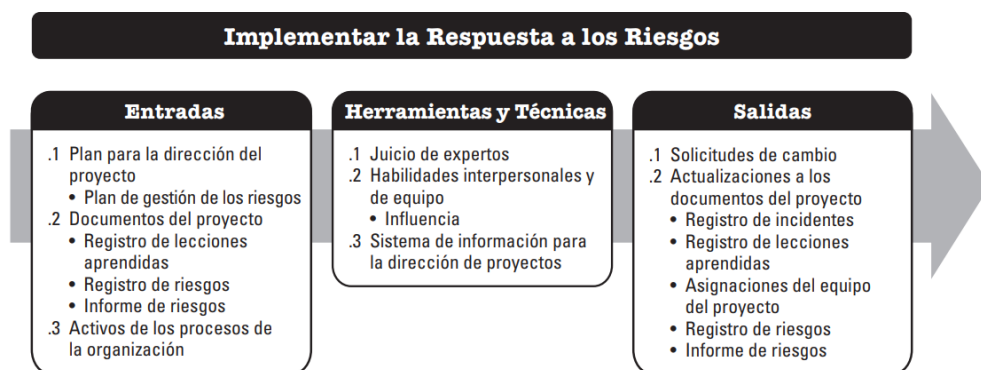


Gráfico N° 13: Implementar la Respuesta a los Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas

Fuente: Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos*

Las entradas del proceso Implementar la Respuesta a los Riesgos son el plan para la dirección del proyecto, los documentos del proyecto (registro de lecciones aprendidas, registro de riesgos e informe de riesgos) y los activos de los procesos de la organización.

Las herramientas y técnicas son el juicio de expertos, las habilidades interpersonales y de equipo y el sistema de información para la dirección de proyectos (PMIS).

Como salidas del proceso se encuentra las solicitudes de cambio, la actualización a los documentos del proyecto (registro de incidentes, registro de lecciones aprendidas, asignaciones del equipo del proyecto, registro de riesgos e informe de riesgos).



### 2.4.2.7 Monitorear los Riesgos

Monitorear los Riesgos es el proceso de monitorear la implementación de los planes acordados de respuesta a los riesgos, hacer seguimiento a los riesgos identificados, identificar y analizar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a lo largo del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que permite que las decisiones del proyecto se basen en la información actual sobre la exposición al riesgo del proyecto en general y los riesgos individuales del proyecto. Este proceso se lleva a cabo a lo largo de todo el proyecto.

El gráfico N°14 muestra las entradas, herramientas y técnicas, y salidas del proceso de Implementar la Respuesta a los riesgos.

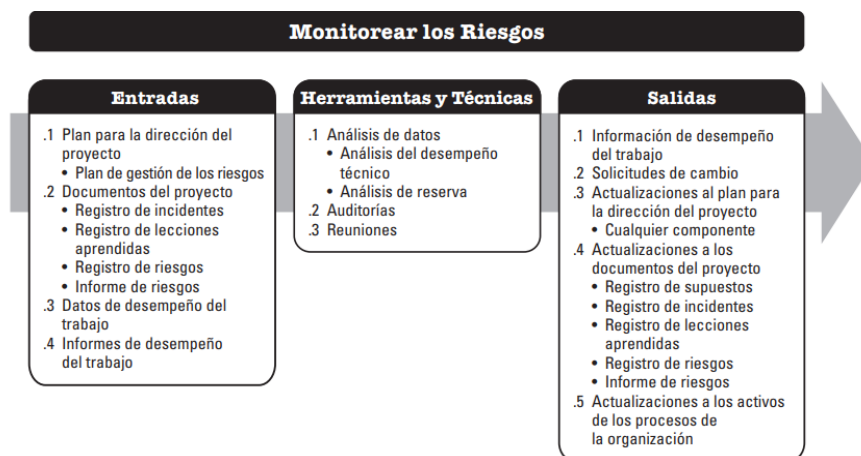


Gráfico N° 14: Monitorear los Riesgos: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas.

Fuente: Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos*

Para garantizar que el equipo del proyecto y los principales interesados estén conscientes del actual nivel de exposición al riesgo, el trabajo del proyecto debería ser monitoreado continuamente en busca de riesgos individuales nuevos, cambiantes y obsoletos y de cambios en el nivel de riesgo general del proyecto mediante la aplicación del proceso Monitorear los Riesgos.

El proceso Monitorear los Riesgos utiliza la información de desempeño generada durante la ejecución del proyecto para determinar si:

- Las respuestas a los riesgos implementadas son efectivas,
- El nivel de riesgo general del proyecto ha cambiado,
- El estado de los riesgos individuales del proyecto ha cambiado,

- Han aparecido nuevos riesgos individuales del proyecto,
- El enfoque de gestión del riesgo sigue siendo adecuado,
- Los supuestos del proyecto siguen siendo válidos,
- Se respetan las políticas y procedimientos de gestión de riesgos,
- Las reservas para contingencias de costos o cronograma requieren modificación, y
- La estrategia del proyecto sigue siendo válida

Las entradas del proceso Monitorear los Riesgos son el plan para la dirección del proyecto, los documentos del proyecto (registro de incidentes, registro de lecciones aprendidas, registro de riesgos e informe de riesgos, entre otros), datos de desempeño del trabajo e informes de desempeño del trabajo.

Como herramientas y técnicas, el análisis de datos donde se emplea el análisis del desempeño técnico y análisis de reserva; así mismo las auditorias y las reuniones.

Las salidas del proceso Monitorear los Riesgos son el informe de desempeño del trabajo, las solicitudes de cambio, las actualizaciones del plan para la dirección del proyecto, las actualizaciones a los documentos del proyecto y las actualizaciones a los activos de los procesos de la organización donde incluyen, entre otros: Plantillas para el plan de gestión de los riesgos, registro de riesgos e informe de riesgos; y estructura de desglose de riesgos.

#### 2.4.3 Asientos y Desplazamientos en excavaciones

En excavaciones de gran envergadura como es la que demanda la construcción de una estación subterránea de pasajeros, los riesgos en potencia asociados a este son en el factor movimiento de tierra los asentamientos y desplazamientos.

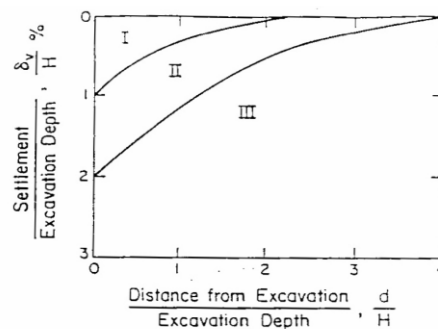
Los desplazamientos verticales como expresan muchos autores dependerán en sí de como sea el proceso constructivo y la funcionalidad estructural de las pantallas. Y son regidos por la ley de asientos y la ley de movimientos horizontales diferenciales o leyes de distorsiones, que son las que realmente suponen mayores riesgos a los edificios. A manera simplificada se muestra un esquema de las deformaciones en las pantallas y movimientos inducidos en el trasdós que es una de las más usadas por los diferentes especialistas en la rama y temas afines.

El máximo desplazamiento horizontal en las pantallas (limitación de la deflexión máxima horizontal recomendada)

- 10 mm para las pantallas con edificaciones o estructuras a menos de 10 m del trasdós.
- 20 mm para las pantallas con edificaciones o estructuras entre 10 y 20 m del trasdós.
- 30 mm para las pantallas con edificaciones o estructuras a más de 20 m del trasdós.

#### 2.4.3.1 Análisis de subsidencias mediante modelos semi-empíricos o analíticos

Si analizamos los asientos y desplazamientos horizontales, la variable que los rige es la profundidad H de la excavación. Peck realizó diversas observaciones y mediciones para el análisis de subsidencias y en base a ello propuso un diagrama adicional que se muestra a continuación:



I - Sand and Soft to Hard Clay, Average Workmanship

II - Very Soft to Soft Clay

1. Limited Depth of Clay Below Excavation Bottom
2. Significant Depth of Clay Below Excavation Bottom  
But  $N_b < N_{cb}^*$

III - Very Soft to Soft Clay to a Significant Depth Below Excavation Bottom and  $N_b > N_{cb}$

$$^* N_b = \text{Stability No. Using } S_{ub} \text{ Below Base Level} = \frac{\gamma H}{S_{ub}}$$

$$N_{cb} = \text{Critical Stab No. for Basal Heave}$$

Figura N° 2: Diagrama adimensional de asientos con relación a la profundidad de excavación.

Fuente: Peck, (1969)

Del diagrama se puede deducir que el valor máximo de los asientos es proporcional al volumen de huecos generados por el movimiento de las pantallas e inversamente proporcional a la distancia de influencia.

En este sentido y por los antecedentes registrados en el Metro de Madrid, el Metro de Quito; para una estación de pasajeros subterránea con muros pantalla se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La zona de máximo movimiento a partir de la excavación está comprendida entre 0 y H, siendo H la altura de excavación.
- La zona de influencia tanto de asientos como de desplazamientos horizontales está comprendida entre distancias a la excavación de 2 a 3 veces H.
- El límite máximo del asiento en la superficie del terreno en el trasdós de la pantalla varía entre 0,4 y 1 de la máxima deflexión lateral.
- El valor del asiento máximo para un buen comportamiento del elemento de contención varía entre 0,05% y 0,2% de H.

#### 2.4.3.2 Método semi-empírico de Hsieh y Ou (1998)

Hsieh y Ou (1998) proponen un procedimiento para estimar el asiento máximo:

1. Se obtiene la deformada de la pantalla y su máximo desplazamiento horizontal,  $\delta_{hm}$ .
2. Se clasifica el tipo de deformada, en ménsula ( $A_s \leq 1,6 A_c$ ) o cóncava ( $A_s > 1,6 A_c$ ).
3. Si la deformada es en ménsula, el asiento en superficie tendrá una forma curva, dada por las siguientes expresiones:

$$\delta_v \leq \left( -0,636 \cdot \sqrt{\frac{d}{H_e}} + 1 \right) \cdot \delta_{vm} \quad \text{si } d/H_e \leq 2$$

$$\delta_v \leq \left( -0,171 \cdot \sqrt{\frac{d}{H_e}} + 0,342 \right) \cdot \delta_{vm} \quad \text{si } d/H_e > 2$$

4. Si la deformada es de tipo cóncavo por la presencia de arriostramiento en cabeza, la cubeta de asientos tiene la forma indicada en la figura siguiente:

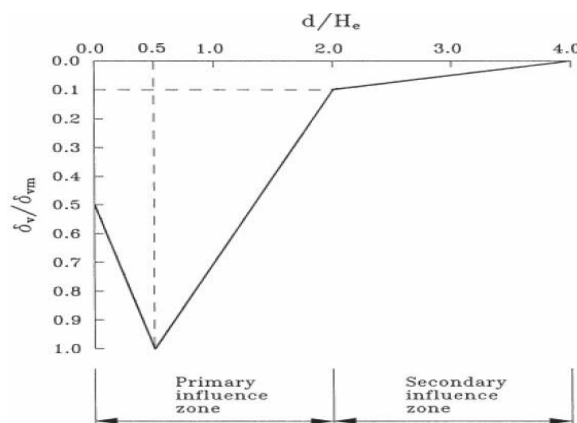


Figura N° 3: Cubeta de asientos para pantalla con arriostramiento en cabeza

Fuente: Anejo 24: Plan de auscultaciones y control

$H_e$  representa la profundidad de la excavación,  $d$  la distancia horizontal a la pantalla y  $\delta_{vm}$  es el asiento superficial máximo. Para evaluar este último puede suponerse  $\delta_{vm} = 0,8 \delta_{hm}$ .

El procedimiento antes descrito fue usado en proyectos similares a la línea dos del metro de Lima, como es el metro de Madrid, el fragmento antes mencionado se encuentra en el Plan de Auscultaciones de dicho metro.

#### 2.4.3.3 Modelo empírico

En el simposio de Habilitación Profesional se presenta el estudio numérico preliminar de los asentamientos en superficie causada por la excavación de un túnel para el metro de Concepción, (2017) donde hablan del desarrollo de Oteo, de una ley empírica de asentamientos superficiales, obtenida a partir de la observación de diversos casos de obras reales, y que proporciona un orden de magnitud de las subsidencias generadas en superficie debido a excavaciones al abrigo de pantallas.

$$S_{V,MAX} = S_{H,MAX} \cdot \lambda$$

$$S_{H,MAX} = K' \cdot H'$$

Siendo:

$S_{V,MAX}$ : Asiento vertical máximo

$S_{H,MAX}$ : Asiento horizontal máximo

$H'$ : altura entre niveles de apuntalamiento

$K'$ : parámetro dependiente de la geometría de la excavación, del sistema de arriostramiento y del terreno. Se toman a partir de los valores de la figura anterior que se representan en la siguiente tabla:

Tabla N° 3: Valores de  $K'$

Fuente: Estudio numérico preliminar de los asentamientos en superficie causada por la excavación de un túnel para el metro de Concepción, (2017)

$\lambda / H (K')$	Terreno y construcción
2%	Arcilla blanda y entibación muy poco rígida ( $X_{MAX} = 2,5H - 3H$ )
0,5 – 1 %	Arena floja y gravas, y entibación flexible ( $X_{MAX} = 1,5H - 2H$ )
0,1 – 0,2 %	Arcillas rígidas y entibación rígida, tipo pantalla continua de hormigón (en voladizo y terrenos flojos este valor puede duplicarse) ( $X_{MAX} = H - 1,5H$ )

$\lambda$ : Parámetro dependiente de la distancia del punto de medida al borde de excavación. Se toman los siguientes valores:

Tabla N° 4: Valores del parámetro  $\lambda$

Fuente: Estudio numérico preliminar de los asentamientos en superficie causada por la excavación de un túnel para el metro de Concepción, (2017)

Tipología de pantalla	X (distancia a la excavación)	$\lambda$
Caso de puntal o losa en cabeza y ningún soporte intermedio	1,5H	0,50
	H	0,60
	0,5H	0,75
Caso de pantalla en voladizo	1,5H	0,25
	H	0,30
	0,5H	0,375

#### 2.4.4 El nivel freático

Las filtraciones constituyen uno de los principales problemas ocasionados por el nivel freático, el cual va de la mano con la naturaleza del suelo. Para el ámbito de estudio de la ciudad de Lima, donde el terreno predominante es granular con elevada permeabilidad, no es necesario un análisis de consolidación ni cálculos tenso-deformacionales

Las ecuaciones utilizadas por el software Phase2, para el flujo de fluidos se toman a partir de las fórmulas desarrolladas por Fredlund y Rahardjo, del tipo:

$$k_{wx} \frac{\partial^2 h_w}{\partial x^2} + k_{wy} \frac{\partial^2 h_w}{\partial y^2} + \frac{\partial k_{wx}}{\partial x} \frac{\partial h_w}{\partial x} + \frac{\partial k_{wy}}{\partial y} \frac{\partial h_w}{\partial y} = 0$$

Siendo:

$h_w$ : carga hidráulica

K: permeabilidad (para diferentes direcciones)

El valor de caudal se determina igualmente utilizando la ley de Darcy, el valor de permeabilidad establecido y el gradiente hidráulico existente.

Las dos principales entradas de interés son:

1. Nivel freático: para el caso de bombeo desde fondo de excavación se sitúa el NF en el interior de la excavación a la misma cota que la cota de excavación, lo que supone la situación crítica de cálculo. Para la situación de bombeo con pozo profundo se fija el nivel freático a una determinada

profundidad dentro del pozo para así asegurar a excavación en seco  
Exteriormente a la excavación el NF se sitúa para cada estación según los  
datos de niveles disponibles.

2. Permeabilidad: se establece una permeabilidad de  $K=1 \cdot 10^{-4}$  m/s para la unidad de gravas y  $K=6 \cdot 10^{-5}$  m/s para la unidad de arenas. En el caso de la estación de Insurgentes la unidad predominante presente es la unidad de gravas con matriz arenosa, tomándose por lo tanto  $K=1 \cdot 10^{-4}$  m/s para el cálculo.

En las siguientes figuras se presenta un ejemplo de la malla de cálculo y salida de resultados del modelo numérico.

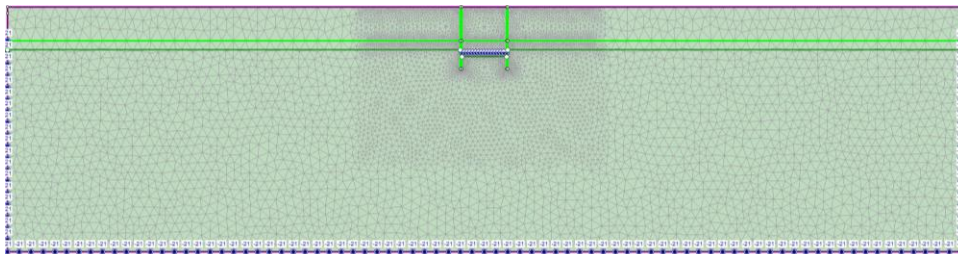


Figura N° 4: Modelo numérico con Phase2

Fuente: Elaboración propia

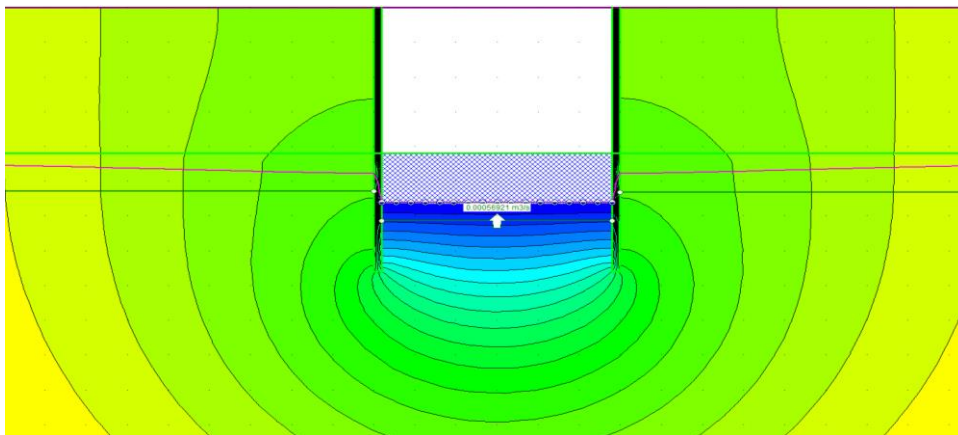


Figura N° 5: Salida de resultados con el modelo numérico Phase2: Carga hidráulica

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.4.2 Metodología del cálculo

El criterio que se toma para definir las bases del cálculo es el de gradiente hidráulico. El gradiente hidráulico crítico es aquel que anula las tensiones efectivas en el suelo, asumiendo que el flujo es vertical en todo el medio.

Su valor es: 
$$i = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

Siendo:

$\gamma'$ : Densidad sumergida del suelo

$\gamma_w$ : Densidad del agua

Para la estación de Insurgentes, el material es gravosos con peso específico de 21 KN/m<sup>3</sup>, considerando el peso específico del agua de 10 KN/m<sup>3</sup>; se obtiene un peso específico sumergido de 11 KN/m<sup>3</sup>. Y el gradiente crítico se expresa como:

$$i = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{11 \text{ kN/m}^3}{10 \text{ kN/m}^3} = 1,1$$

Para el modelo de gestión de riesgos para la estación Insurgentes, se toma como factor de seguridad para los cálculos y principalmente las excavaciones son entre 1,4 y 1,5 (i=0,8 a i=0,75)

El cálculo para la estación se centra en la estimación de una ley de variación de gradientes hidráulicos en función de la longitud de empotramiento de las pantallas, considerando el bombeo desde el fondo de excavación.

## 2.5 MARCO CONCEPTUAL

### 2.5.1. Impacto

El impacto se define como la forma cualitativa de medir la importancia de los posibles efectos sobre los objetivos del proyecto en caso de ocurrencia. Una forma sencilla de asignar los rangos de impacto en términos de porcentaje es con base en el porcentaje del monto del presupuesto de la obra correspondiente. Sin embargo, para la presente investigación que estudia el plazo de ejecución, el porcentaje será con base en la duración de las actividades de las obras.

En la Tabla N°5 se muestra la clasificación asociada a cada impacto y la definición que representa cada categoría.

Tabla N° 5: Niveles de impacto

Fuente: Elaboración propia

Impacto	Valor económico	Definición
C	Impacto mayor a 0.75%.	<b>Impacto Crítico:</b> Fallas en el proyecto e incumplimientos de los requerimientos mínimos



Sv	Impacto menor a 0.75%.	<b>Impacto Severo:</b> Incremento severo en costos y el tiempo, incumplimientos de requerimientos principales
S	Impacto menor a 0.5%.	<b>Impacto Serio:</b> Incremento serio en costos y el tiempo, incumplimientos de requerimientos secundarios
Mo	Impacto menor a 0.2%.	<b>Impacto Moderado:</b> Incremento moderado en costos y tiempos.
Me	Impacto menor a 0.1%.	<b>Impacto Menor:</b> Genera incrementos bajos en tiempo y costos

### 2.5.2. Peligro

Un “peligro” se define como un evento que tiene el potencial de afectar a materias relacionadas con un proyecto y que podría dar lugar a consecuencias asociadas con: seguridad, salud, diseño (planificación y costo), construcción (cronograma, costo), terceras personas y servicios existentes incluyendo edificios, puentes, túneles, carreteras, vías férreas en superficie y subterráneas, pavimentos, canales, trabajos de protección contra inundaciones, y cualquier otra estructura/infraestructura que se verá afectada mientras se llevan a cabo los trabajos.

### 2.5.3. Probabilidad

Se investiga la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo específico identificado, es válido utilizar criterios de probabilidad, asignando un valor numérico porcentual. Bajo este criterio, la probabilidad de ocurrencia se divide en 5 categorías, mostradas en la Tabla N°6 y que van desde una probabilidad de 100% (Altamente Probables, AP) hasta 0% (Improbables, IP).

Tabla N° 6: Niveles de probabilidad

Fuente: Elaboración propia

Probabilidad	Definición	%
AP	Altamente Probable	71-100%
MP	Medianamente Probable	51-70%
P	Probable	31-50%
PP	Poco Probable	11-30%
IP	Improbable	0-10%

#### 2.5.4. Proyecto

Según el PMBOK un “proyecto” es un esfuerzo temporal pues tiene un inicio y un fin conocido, donde el resultado es único.

#### 2.5.5. Riesgo

Para el propósito de esta investigación, se define el riesgo en función o consecuencia de la severidad de un peligro (impacto) y la probabilidad de ocurrencia del mismo. Se clasifica el riesgo según la prioridad que debe dársele a su análisis y posterior atención. En la Tabla N°7 se listan los 5 niveles de clasificación del riesgo.

Tabla N° 7: Niveles de riesgo

Fuente: Elaboración propia

NIVEL	SIGLA
Muy Alto	MA
Alto	A
Medio	M
Bajo	B

La clasificación de riesgo se obtiene de una combinación entre la probabilidad y el impacto evaluado para cada riesgo, utilizando la matriz de probabilidad/impacto que se presenta en la Tabla N°8.

Tabla N° 8: Matriz de Probabilidad/Impacto

Fuente: Elaboración propia

Probabilidad/impacto	IP	PP	P	MP	AP
Crítico (C)	M	A	A	MA	MA
Severo (Sv)	M	M	A	A	MA
Serio (S)	B	M	M	A	A
Moderado (Mo)	B	B	M	M	A
Menor (Me)	B	B	B	M	M

## CAPITULO III: DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA ESTACIÓN INSURGENTES DE LA LINEA 2 DEL METRO DE LIMA

La línea 2 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao conecta los distritos del este de Lima (Ate, Santa Anita) con los del centro de Lima y Callao (eje Este-Oeste), sirve de complemento y se integra a la Línea 1 del Metro de Lima (Villa El Salvador-San Juan de Lurigancho) y Línea 1 del Metropolitano (Chorrillos-Independencia) que tiene recorridos Sur-Norte.

Las características principales de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao son las siguientes:

- Longitud total de la línea : 26.87 Km
- Longitud de túnel : 21 Km
- Número de estaciones : 27
- Terceras Vías : 3
- Patios-Taller : 1 (Santa Anita)
- Pozos de ventilación y emergencia: 27
- Superestructura : Vía en placa en línea y balastada en talleres

En la etapa 2 que es el tramo comprendido entre los distritos de Bellavista y El Callao de la Provincia Constitucional del Callao, incluye las estaciones Oscar Benavides, Carmen de la Legua, Insurgentes, Juan Pablo II, Buenos Aires y Puerto de El Callao además de la construcción del tramo de la Línea 4 del Metro que discurre desde la Av. Elmer Faucett hasta la Av. Néstor Gambetta conectando la zona de los barrios adyacentes al Aeropuerto Internacional Jorge Chávez con el sistema masivo de transporte de la ciudad, por la Av. Elmer Faucett desde la Av. Néstor Gambetta hasta el distrito de Bella Vista en la Provincia de Callao.

La estación Insurgentes es la cuarta estación de la Línea 2 del Metro de Lima partiendo desde el Callao. Desde el origen del proyecto fue diseñada como subterránea y se estima la inauguración para el 2024.

Tabla N° 9: Localización de la estación Insurgentes

Fuente: Elaboración propia

Estación Insurgentes					
Progresivas Estación		Progresivas Andén		Cota carril	Metodología de construcción
4+075.033	4+218.633	4+078.335	4+202.835	20.90	CUT & COVER

La estación Insurgentes se ubica en la progresiva 4+140,585 del tramo de la segunda etapa de la línea 2 entre los pozos PV-3 y PV-4, bajo la avenida Oscar R. Benavides.



Figura N° 6: Situación en planta de la estación Insurgentes

Fuente: Google Earth

El trazo desarrollado se inicia en la progresiva 3+940, y termina en la progresiva 4+340 y discurre en su totalidad en alineación recta.

El trazado completo de la etapa 2 de la línea 2 se inicia en la progresiva 0+000, y termina en la progresiva 6+100,000. La selección de estas progresivas de referencia se ha realizado para facilitar la coordinación de este trazado con el de los tramos adyacentes.

Las principales características de este tramo son las siguientes:

- Longitud del tramo : 6,100.000 m
- Estaciones :6  
(Puerto del Callao, Buenos Aires, Juan Pablo II, Insurgentes, Carmen de la Legua y Oscar Benavides)
- Pozos de ventilación y emergencia :6  
(PV 1bis, PV 01, PV 02, PV 03, PV 04 y PV 05)
- Patio taller : 0

- Ramales a taller : 0
- Terceras vías :1

### 3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Se recogen los lineamientos necesarios para la inserción urbana de la estación Insurgentes:

**Ubicación:** Av. Oscar Benavides muy próxima al cruce con la Avda. Insurgentes.

**Accesos:** la estación cuenta con 2 accesos enfrentados, uno en cada lado de la avenida.

**Salidas de emergencia:** Cuenta con una salida de emergencia con salida a calle estratégicamente ubicada que desembarca en una berma de la avenida.

**Rejillas, accesos de servicio y ductos:** Cuenta con dos rejillas de ventilación, una de las cuales se utilizará también como ducto de paso de materiales; y una tercera rejilla para toma de aire.

**Zona de Bicicletas:** Contará con un área de parqueo de bicicletas cerca a uno de los accesos, con capacidad para al menos 30 unidades.

**Tránsito peatonal:** Contará con señalización horizontal y vertical adecuada para garantizar el tránsito peatonal seguro.

### 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA:

El ámbito de actuación es el área metropolitana de la ciudad de Lima, donde los aspectos importantes para el diseño son la estimación de los movimientos del terreno ligados a las actividades de construcción, los asentamientos y especialmente las repercusiones sobre las edificaciones e infraestructuras próximas existentes.

Las metodologías para el diseño de la estación Insurgentes.

1. Métodos numéricos mediante el uso de elementos finitos: Para el cálculo y evaluación detallada de los movimientos del terreno.
2. Métodos analíticos o semi-empíricos: Para la aproximación del orden de magnitud de los movimientos previstos.

La estación Insurgentes tiene muros pantalla, donde los resultados son diversos por los múltiples factores (rigidez del sistema, elementos de arriostramiento,

temporal y definitivo) que influyen en el equilibrio de la interacción entre la pantalla y el terreno.

La presencia de la capa freática por encima del nivel de excavación requiere que se planteen sistemas de abatimiento del nivel freático los cuales se llevan a cabo conjuntamente durante las excavaciones.

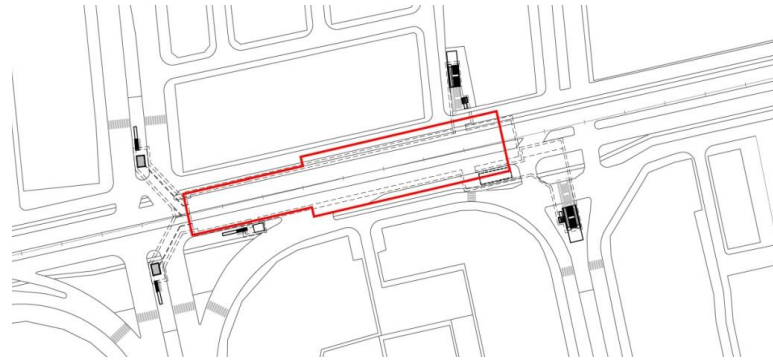
### 3.3. DISEÑO TÉCNICO DE LAS ESTACIONES

El diseño técnico de la estación de la Línea 2 enfoca desarrollar su funcionalidad tomando ciertas necesidades como:

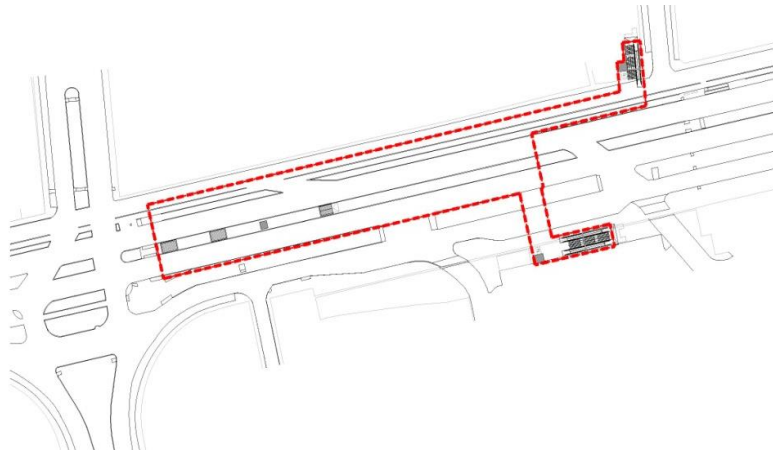
- Disminución de las afecciones en superficie ya sean predios o espacio urbano.
- Funcionalidad del diseño con el material rodante a suministrarse, adaptando al sistema la rasante horizontal para los andenes.
- Adaptación funcional en espacio y demanda de las salas técnicas de operación.

La estación Insurgentes, se ha visto modificada con respecto a lo planteado en la Propuesta Técnica, se ha acercado la caja hacia el lado este de la avenida Insurgentes y los accesos se han acercado hacia el centro comercial Mall Aventura Plaza Bellavista; además se ha optimizado la posición de las rejillas de ventilación, situándolas en la berma central de la Avenida Oscar Benavides e incorporándolas al cuerpo de la estación. De la misma manera, el acceso de emergencia se ha incorporado a la caja de la estación, lo que ha supuesto una optimización tanto de los recorridos de evacuación de las salidas de emergencia como de los recorridos de los conductos de ventilación.

Para visualizar mejor las modificaciones se presentan a continuación las imágenes con la estación considerada en la Propuesta Técnica y con la nueva posición:



*Figura N° 7: Comparativa. Posición de la Estación Insurgentes. Propuesta Técnica*  
Fuente: Proyecto "Línea 2 y ramal Av. Faucett-Av. Gabetta" [www.proyectosapp.pe](http://www.proyectosapp.pe)



*Figura N° 8: Comparativa. Posición de la Estación Insurgentes. Nueva Posición*  
Fuente: Proyecto "Línea 2 y ramal Av. Faucett-Av. Gabetta" [www.proyectosapp.pe](http://www.proyectosapp.pe)

Con la nueva propuesta se tiene la creación de un nivel intermedio entre la cota de calle y la cota de vestíbulo en la zona de accesos a la estación.

Asociada a la modificación descrita, se produce una disminución de los recorridos peatonales desde el nivel de calle hasta el nivel de andén que se traduce en una reducción del tiempo de recorrido de los usuarios y, por tanto, en un beneficio social.

Como agregado de todo lo anterior se produce además un aumento de las superficies destinadas al uso de los usuarios de la estación que a modo de resumen se exponen a continuación como una comparativa de áreas por sector de estación destinado al pasajero:

Tabla N° 10: Comparativa de las áreas de uso de viajeros PT-DM

Fuente: Elaboración propia

<b>SECTOR</b>	<b>Diseño mejorado (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Propuesta Técnica (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Incremento de área (m<sup>2</sup>)</b>
Andén 1 (área de espera)	710,24	633,44	76,80
Andén 2 (área de espera)	710,24	633,44	76,80
Área paga (área de circulación)	952,89	850,71	102,18
Área no paga (área de circulación)	669,09	405,81	263,28

Se puede detallar que:

- Se tiene un incremento del área de cada andén de 76,80 m<sup>2</sup>, lo que supone un aumento del 12,12% respecto a lo definido en la Propuesta Técnica.
- Se tiene un incremento del área paga de 102,18 m<sup>2</sup>, lo que supone un aumento del 12,01% respecto a lo definido en la Propuesta Técnica.
- Se tiene un incremento del área no paga de 263,28 m<sup>2</sup>, lo que supone un aumento del 64,88 % respecto a lo definido en la Propuesta Técnica.

Como se puede observar, se obtiene un incremento de las áreas destinadas al pasajero, que es lo que marca la bondad y la garantía de la funcionalidad de la estación.

Por otro lado, en caso de comparar las áreas de implantación de la estación se tiene que:

- Diseño de la Propuesta Técnica: 10.194,29 m<sup>2</sup>
- Diseño Mejorado: 8969,31 m<sup>2</sup>

Se tiene un decremento de 1224,98 m<sup>2</sup>, lo que supone un 12,02% del área dispuesta en la Propuesta Técnica.

Frente a esto, cabe destacar los siguientes factores:

- La reducción se traduce en una menor afección en superficie lo que significa una menor afección tanto en implantación urbana como sobre la afección a servicios existentes.



- La reducción no se traduce en un decremento en la funcionalidad de la estación.
- Analizar la superficie construida en cada uno de los dos diseños es importante. Llevando a cabo este ejercicio, se tiene el siguiente resultado:

El aumento de metros cuadrados construidos en el interior de las cajas de estación ha permitido ganar espacio útil de cara a la distribución interna de los espacios (tanto del área de tránsito de pasajeros como del área técnica).

Los metros construidos totales son inferiores a los definidos en la Propuesta Técnica alcanzándose un diseño funcional de estación más compacto.

Esto posibilita que se den menos afecciones en superficie sobre predios y redes de servicios, y al tiempo, permitir y facilitar las operaciones de desvío de estas redes, así como los desvíos de tráfico adscritos a la fase de construcción.

#### 3.4. DISEÑO FUNCIONAL Y ARQUITECTÓNICO

La estación se compone de un volumen principal paralelepípedo con una longitud máxima de 143,60 m y un ancho de 26,60 m. El dimensionamiento de las estaciones de la Línea 2, como lo es la estación Insurgentes, viene condicionado en gran medida por el escenario de emergencia.

Al tratarse de una estación enterrada de ferrocarriles metropolitanos la norma de referencia de ámbito internacional para llevar a cabo el dimensionamiento es la NFPA-130. Dicha norma define los parámetros básicos de evacuación y determina en gran medida la geometría básica de la estación, así como gran parte de su construcción.

La emergencia se produce en el escenario que representa un tren ardiendo y con máxima carga que llega al andén de mayor ocupación en un día medio del año horizonte 2047 en hora punta. El tren tiene todas las puertas abiertas al igual que las correspondientes puertas de andén. Este es el escenario principal y más condicionante para el dimensionamiento de los sistemas y recorridos de evacuación, debido a que es el escenario que tiene mayor carga de fuego y la mayor ocupación que se pueda producir en el interior de la estación.

Como complemento a esta normativa, las normas o estándares utilizados para el diseño funcional-arquitectónico y de seguridad de las estaciones son las que seguidamente se citan:

- NFPA 101, Código de Seguridad Humana (Ed. 2012).
- NFPA 220, Standard on Types of Building Construction (Ed. 2013).
- TCRP report100 Transit Capacity and Quality of Service 2nd edition.
- Station planning standards and guidelines (Ed. 2012)
- Decreto Supremo nº 039-2010-MTC
- RNE, Reglamento Nacional de Edificaciones (Ed. 2013)

Los criterios de análisis para evaluar las capacidades de evacuación de la estación son los siguientes:

- El andén ha de disponer, al menos de dos vías de evacuación colocadas distantes la una de la otra con la finalidad de cumplir con el punto 5.3.3.7. de la NFPA 130 (2014), las dos vías pueden converger.
- La carga del andén ha de ser evacuada en 4 minutos o menos acorde con el punto 5.3.3.1. de la NFPA 130 (2014). Además, que toda la carga del andén ha de poder llegar al punto de seguridad en 6 minutos o menos como queda establecido en el punto 5.3.3.2. de la NFPA 130 (2014).
- En la Estación Insurgentes, el punto de seguridad será el vestíbulo, que está equipado con un sistema de ventilación de emergencia diseñado de acuerdo con los parámetros marcados en el Capítulo 7 de la NFPA 101 (2012).

El vestíbulo se considera punto de seguridad debido a:

- La presencia de puertas de andén, que confinan los humos de un incendio generado en el exterior del tren en la zona de vías, que será evacuado del túnel por el sistema de ventilación del túnel; si el incendio se produjera en el interior del tren, la extracción de humos se realizaría a través de la ventilación de andén.
- Las salidas habituales serán equipadas con cortinas o instalaciones similares que refuercen la premisa de evitar la entrada de humos al vestíbulo.

El sistema de ventilación de la estación, en caso de emergencia, se diseña para que, durante el tiempo de evacuación, las condiciones ambientales

en la estación permitan dicha evacuación (en cumpliendo del punto 7.2.1. (5) de la NFPA 130 (2014)).

- Ha de haber al menos una escalera de emergencia cerrada que conecte el nivel de andén con la calle con la finalidad de cumplir con el punto 5.3.5.5. (3) de la NFPA 130 (2014).
- Las salidas de emergencia del andén tienen puertas de compartimentación y un sistema de presurización para generar que ya el interior de las escaleras se considere zona segura.
- La capacidad por paso de las salidas de los andenes, pasillos y rampas es de 81.9 pax/m/min y la velocidad de marcha es de 37,7 m/min (puntos 5.3.4.3. y 5.3.4.4. de la NFPA 130 (2014)).
- La capacidad por paso de las salidas de las escaleras fijas, escaleras mecánicas estacionarias, pasillos, rellanos y rampas es de 55,5 pax/m/min.; las velocidades de marcha son de 12,1 metros/minuto de subida y 14,6 metros/minuto de bajada cumpliendo con el punto 5.3.5.3. NFPA 130 (2014)

*Tabla N° 11: Capacidad de paso y velocidad*

*Fuente: Punto 5.3.4 de la NFPA 130 (2014).*

<b>Elementos</b>	<b>Capacidad de paso</b>	<b>Velocidad de recorrido</b>
Pasillos	81,9 pax/m/min	37.7 m/min
Escaleras	55,5 pax/m/min	14.6 m/min

- Para calcular la evacuación en escenario de emergencia se cuenta con que todas las escaleras mecánicas practicables están paradas siendo su velocidad de subida y bajada equiparable con las escaleras fijas.
- La instalación de ventilación estará diseñada para proporcionar ventilación en caso de emergencia en todos los escenarios que se consideren. La ventilación cumple con el punto 7.2.1. de la NFPA 130 (2014) ya que proporciona:
  - Ambiente seguro y protegido para la evacuación.
  - Completa operatividad entre 30 y 60 segundos
  - Mantendrá su operatividad durante dos horas según contrato.

La estación se construye mediante el método “Cut & Cover”, y cuenta con tres niveles. Estructuralmente se resuelve con losas que se apoyan en las pantallas laterales y en dos hileras intermedias de pilas - pilote de 1,2 m de diámetro de pila

colocados de tal forma que se respetan los gálibos en andén. Dichos pilares se separan dejando las vías en medio con un vano entre pilas de 14,70 m en sentido transversal y en el longitudinal con vanos de 14, 13 y 12 m

En el nivel de la calle la estación tiene dos accesos principales para el público que están ubicados a cada lado de la Avenida Oscar R. Benavides. Los accesos también sirven como cruce subterráneo. El acceso 1 cuenta con un elevador, una escalera fija y dos escaleras mecánicas. El acceso 2 dispone de un elevador, una escalera fija y una escalera mecánica.

Se han dimensionado las salidas para mantener niveles exigidos de servicio y de evacuación.

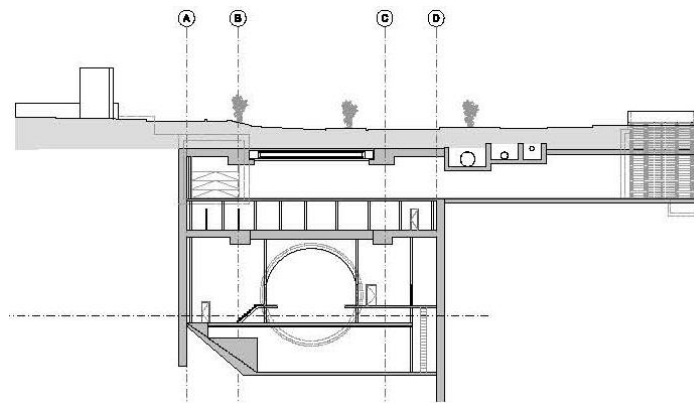


Figura N° 9: Sección transversal de la estación Insurgentes

Fuente: Proyecto "Línea 2 y ramal Av. Faucett-Av. Gabetta" [www.proyectosapp.pe](http://www.proyectosapp.pe)

En esta estación existen dos salidas de emergencia, a nivel de andén, una para cada andén. Dichas salidas se unen a nivel de vestíbulo y la salida a la calle se materializa en una escalera de un solo tiro que se localiza aproximadamente en la parte central del cuerpo de la estación evacuando a superficie sobre la berma central de la Avenida Oscar R. Benavides.

En el extremo oeste de la estación se encuentran las rejillas de ventilación. Se sitúan sobre la berma central de la vía, respetando los criterios de diseño que obligan a guardar una distancia de separación que impida la contaminación de flujos en función del viento dominante.

El primer nivel, denominado pre vestíbulo se sitúa a 7.65 m bajo el terreno del acceso 1, a 8.47 m bajo el terreno del acceso 2.

Según se descende, el vestíbulo constituye el segundo nivel. Se sitúa 3,06 m más profundo que el pre vestíbulo, y es el nivel principal donde el pasajero busca su destino.

Se compone de 5 partes principales:

- Área no paga, donde hay libre acceso y circulación
- Área paga, la zona accesible solo después haber validado el pago
- Área técnica
- Área de operaciones
- Área de servicios para el público

El tercer y último nivel es el de andenes, que se sitúa 7.65 m por debajo del vestíbulo. La estación cuenta con dos andenes laterales y puertas que separan el andén de los trenes denominadas PSD (Platform Screen Doors). El nivel del riel está a 1.05 m por debajo del nivel de andén.

El acceso a la totalidad del área pública de las estaciones está garantizado mediante el uso de elevadores. Ningún ascensor de esta estación está previsto que sea de emergencia.

Dado el número de personas potencialmente a evacuar se dota a la estación de un refugio para personas con movilidad reducida proyectado en el arranque de la escalera de emergencia de cada andén. Dicho refugio estará debidamente protegido, acondicionado y dimensionado para albergar a los minusválidos que se encuentren en los andenes durante la emergencia.

Para ello se dispondrá de una plaza de minusválido por cada 200 ocupantes (o fracción) que se encuentren en el andén en escenario de emergencia en cumplimiento del punto 7.2.12.3.1.de la NFPA 101 (2012). Para el adecuado acondicionamiento del mismo se procederá a situar dicho refugio en el arranque de la escalera de emergencia, no impidiendo su correcta funcionalidad, pero sí compartiendo con ésta el sistema de presurización que hará de ambos un lugar seguro durante la emergencia.

El número de escaleras mecánicas y fijas está determinado por la comprobación de la capacidad de flujo de pasajeros, usando cálculos de niveles de servicio y de

evacuación para contener los picos de circulación (en hora punta), por la mañana y por la tarde, en condiciones normales y de emergencia.

Las diferentes proporciones de llegada y salida de pasajeros en las horas punta de la mañana y de la tarde serán atendidas mediante la inversión de la dirección de las escaleras mecánicas.

### 3.5. DEMANDA Y NIVELES DE SERVICIO PREVISTOS

En todo caso, el diseño funcional comentado en el punto anterior se realiza considerando los datos de demanda particulares de cada estación, que sirven para dimensionar las diferentes áreas en las que se divide la misma, atendiendo a su uso (andenes, escaleras, vestíbulo paga y no paga, etc.) y al nivel de servicio establecido como objetivo.

El dimensionamiento se realiza mediante una metodología relativamente sencilla basada en fórmulas algebraicas que permiten definir las principales características geométricas de las diferentes áreas en las que se divide la estación.

En el caso particular de Metro de Lima, se ha empleado como guía básica el documento Station Planning Standards and Guidelines de Transport of London, si bien se han ajustado algunas variables considerando las características particulares de la nueva línea, la normativa local, etc.

En los siguientes apartados se definen los datos de demanda y escala de niveles de servicio de referencia empleados para el diseño funcional de las estaciones, así como la metodología empleada para llevar a cabo el dimensionamiento funcional de las estaciones y en particular para la estación Insurgentes.

#### 3.5.1. Demanda prevista

A partir de las previsiones de demanda de pasajeros de la línea 2 para el año 2030 y comparados con los datos del escenario para 2047 (último año de concesión) se define la situación más crítica para diseñar las estaciones.

A cada período corresponde una frecuencia de trenes, respectivamente de 90 segundos (hora punta mañana-año 2030), 120 segundos (hora punta tarde-año 2030) y 80 segundos (hora punta mañana-año 2047), 96 segundos (hora punta

tarde-año 2047), datos extraídos de la página 4676 del tomo 12 de la Propuesta Técnica.

Una vez establecido el número de pasajeros en cada estación, se calculan las dimensiones necesarias para los espacios públicos, así como para las conexiones verticales, tanto para el ejercicio normal como para situación de emergencia.

### 3.5.2. Niveles de servicio previstos para la estación

Las estaciones de pasajeros de la Línea de metro, y en concreto la estación Insurgentes, ha sido dimensionada para garantizar su funcionalidad, referida tanto a los flujos de viajeros como a los sistemas ferroviarios y no ferroviarios.

La propuesta para las estaciones considera a detalle:

- El entorno en que se ubica la estación y que afecta a su inserción en la trama urbana.
- Las interferencias existentes en las zonas donde se ubican las estaciones.
- Las necesidades detalladas de la entidad que operará la línea.

### 3.6. ESTUDIO DE ARQUEOLOGIA

Los objetivos de estudio arqueológico para la estación Insurgentes:

- Identificar las zonas arqueológicas en el área del proyecto con la finalidad de tomar las acciones pertinentes para la preservación del patrimonio arqueológico en el área proyectada.
- Identificar los Monumentos Históricos declarados Patrimonio Cultural de la Nación en el área del proyecto con la finalidad de tomar las acciones pertinentes para la preservación del patrimonio histórico en el área proyectada.
- Establecer los lineamientos generales de los trabajos de mitigación que se requieran para proteger el patrimonio cultural tanto arqueológico como histórico.
- Proporcionar información veraz y precisa del registro de patrimonio cultural, arqueológico e histórico, que sirva de sustento para la elaboración del Plan de Monitoreo Arqueológico.

Las conclusiones de la evaluación fueron las siguientes:

- 1º. No existen vestigios arqueológicos ni históricos en superficie para la estación Insurgentes. El área se emplaza en zonas urbanas consolidadas, caracterizada por tener vías asfaltadas, viviendas, zonas industriales y/o comerciales.

El único Monumento Histórico inventariado: la Iglesia Nuestra Señora del Carmen de La Legua, se encuentra a una gran distancia de la estación Insurgentes por lo que no es necesario incluir un plan de monitoreo arqueológico en el proyecto.

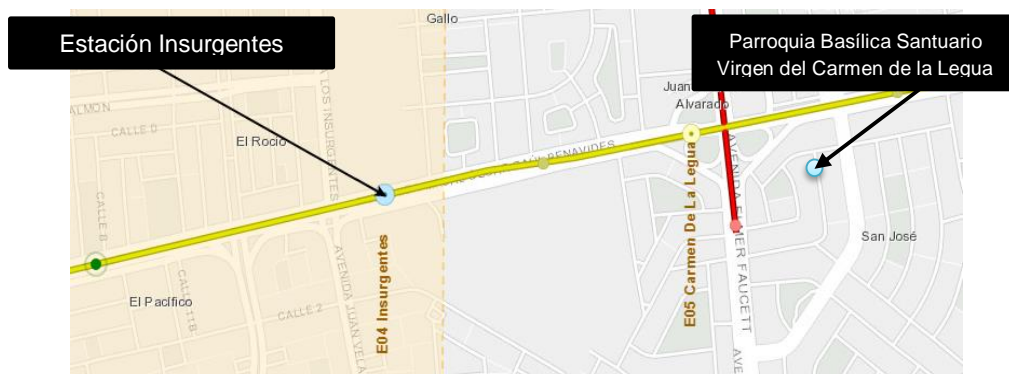


Figura N° 10: Ubicación de la estación de Insurgentes (Línea 2) y del Monumento Histórico: Iglesia Nuestra Señora del Carmen de la Legua

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12: Monumentos Históricos Identificados en la zona del proyecto

Fuente: Elaboración propia

MONUMENTO HISTÓRICO				
Nombre del Monumento		IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DEL CARMEN DE LA LEGUA		
Dirección	Distrito	Declarados Patrimonio Cultural de la Nación		
		Base legal	N°	Fecha
Av. Elmer Faucett esquina con Av. Oscar Benavides	Carmen de la Legua	Resolución Suprema	2900	28/12/1972
		<b>Recomendación</b>	Monitoreo permanente durante la ejecución de las obras.	

- 2º. Considerando la normativa vigente y en concordancia con la Resolución Ministerial N° 253-2014-MC, no será necesario la solicitud del Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA) al ser infraestructura preexistente.



### 3.7. PLAN DE REUBICACIÓN DE SISTEMAS VIALES

Medidas importantes a analizar como plan de reubicación de sistemas viales

- Minimizar el desplazamiento necesario de los vehículos por rutas alternas
- En rutas alternas, buscar calles lo más amplias posible y tener en cuenta los sentidos de circulación existentes, buscando evitar/minimizar los cambios de sentido.
- Dar continuidad al flujo peatonal, disponiendo si es necesario nuevas zonas de vereda, así como cruces peatonales.
- Disponer de una adecuada señalización tanto horizontal como vertical, con indicaciones de las nuevas rutas, para facilitar la labor a los conductores y peatones.
- Monitorear viviendas/locales comerciales afectados directamente por la presencia de las obras a fin de minimizar el impacto.

### 3.8. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

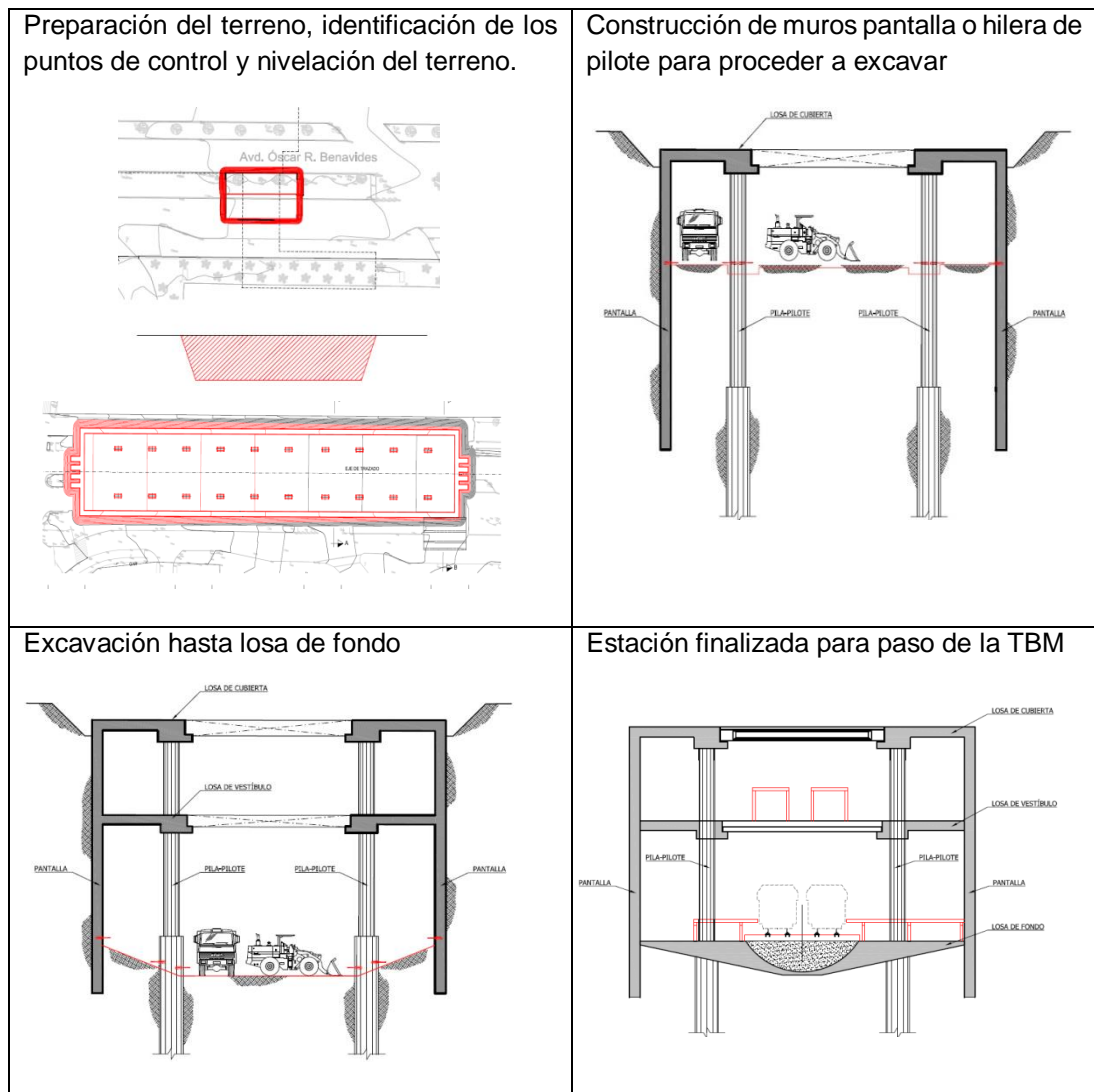
La Estación Insurgentes desarrolla el método tradicional de Cut and Cover que se desarrolla en la vertical del eje del túnel. Martí, J.V.; Yepes, V.; González, F.; Alcalá, J. (2012), detalla que el método Cut and Cover o método falso túnel, es un método usado en la ingeniería para la construcción de túneles superficiales.

La estación Insurgentes y la Línea 2 del Metro de Lima responde al método Top-Down que es un procedimiento que presenta la gran ventaja de reducir al máximo el tiempo en el que tiene que estar deshabilitada una calle (por esto es muy común en la construcción de un metro), se usa también este método normalmente cuando el terreno sobre el túnel es escaso y cuando existe riesgo de que la construcción convencional provoque desprendimientos, así mismo, es utilizado para minimizar el impacto visual o ambiental de un requerimiento de movilidad

En la estación Insurgentes se ejecuta por fases y siguiendo una trayectoria descendente desde la cota de calle, cuenta con dos niveles de losas apoyadas en las pantallas y pilas de 1.2 m de diámetro (cubierta y vestíbulo) y una losa de fondo apoyada contra el terreno y cuenta con tres niveles. Los pilares se separan dejando las vías en medio con un vano a ejes de 14.70 m y 13 m en dirección longitudinal a la estación.

Tabla N° 13: Secuencia de fases de la construcción

Fuente: Elaboración propia con adopciones de la propuesta técnica. [www.proyectosapp.pe](http://www.proyectosapp.pe)



Saloma, D. (2018) desarrolla una tesis de posgrado de gestión de riesgos para un intercambio vial subterráneo ejecutado con la metodología cut and Cover – top down, la misma que es usada para la ejecución de la estación Insurgentes de la línea 2 del metro de Lima. Tomando como referencia el modelo de gestión propuesta por el ingeniero Saloma y los lineamientos del PMI se consideran las actividades propias del proceso de ejecución de la estación para una simulación de Montecarlo, la misma que permitirá un resultado fehaciente a medida que se identifiquen los riesgos del proyecto y las particularidades o variaciones respectivas del proyecto.

Los distintos niveles de la estación de Insurgentes se describen en la tabla:

Tabla N° 14: Rasantes estación de Insurgentes

Fuente: Elaboración propia

NIVEL	RASANTE (NPT)
Riel	+20,90
Planta de andén	+21,95
Planta de vestíbulo	+29,60
Planta de pre vestíbulo	+32,66
Salida 1	+40,31
Salida 2	+41,13

Esta estación tiene una profundidad de 19,41 m y 20,23 m hasta la cota de riel con respecto a las salidas 1 y 2 respectivamente y unas dimensiones exteriores de 143,60 m de longitud por 26,60 m de anchura. La cota de riel se sitúa la cota altimétrica absoluta +20,90.

La estación Insurgentes presenta la singularidad de ser pozo de ataque y de extracción de tuneladora de la línea 2. Esta circunstancia hace que las losas de cubierta y de vestíbulo deban presentar grandes huecos en fase constructiva, que se cerrarán en fase definitiva mediante elementos prefabricados apoyados sobre esta estructura de cierre. La losa de fondo también presenta una geometría particular debido a que la estación es pozo de ataque y extracción.

### 3.9. MEDIO AMBIENTE

El diagnóstico de cuál será el grado de afectación ambiental de los impactos negativos y positivos que podrían producirse en la ejecución del proyecto en la Etapa 2 se realiza durante el desarrollo del proyecto, en específico durante los trabajos de Obras Civiles.

Para la estación Insurgentes, se evalúan el grado de afectación en el medio físico, biológico y socio-económico lo cual permitirá determinar las medidas para mitigar, eliminar o evitar los impactos negativos que se podrían generar durante el desarrollo del proyecto en la etapa de construcción.

## CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA ESTACIÓN INSURGENTES DE LA LINEA 2 DEL METRO DE LIMA

En la evaluación del riesgo técnicos de construcción correspondiente a la Estación Insurgentes de la Línea 2 y ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao, se contempla el cálculo de deformación del terreno, el plan de auscultación para monitorear las estructuras y edificaciones de la zona, y el estudio de abatimiento de nivel freático que permitirá prever riesgos técnicos en el desarrollo de las excavaciones, buscando trabajo seguro sin que se produzcan inestabilidades hidráulicas como sifonamiento o rotura de fondo.

### 4.1. ESTIMACIÓN DE SUBSIDENCIAS MEDIANTE MODELOS SEMI-EMPÍRICOS O ANALÍTICOS

La estimación de asientos a partir del modelo de Hsieh y Ou (1998) detalladas en el Anejo 24: Plan de auscultaciones y control; se muestra en el Gráfico N°15 donde se aprecia que el asiento máximo esperado es de 9 mm a una distancia de 9 m desde la excavación.

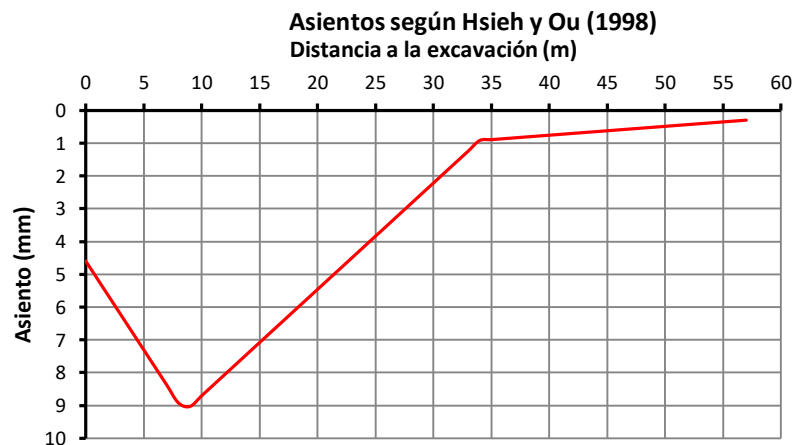


Gráfico N° 15: Asientos estimados por modelos semi-empíricos. Modelo de Hsieh y Ou (1998)

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, atendiendo al criterio propuesto 01 se espera un asiento máximo de 9,5 mm con una distancia a excavación de 8,5 m.

### 4.2. ANÁLISIS DE SUBSIDENCIAS MEDIANTE MODELOS NUMÉRICOS

El cálculo de deformaciones y subsidencias, debido a la excavación entre pantallas, mediante modelos numéricos permite incluir en el análisis todos los factores que podrían influir en la generación de movimientos: geometría y esquema estructural de la excavación, parámetros de resistencia y deformaciones

del terreno, propiedades de la pantalla y niveles de arrojamiento, agua en el terreno, etc.

#### 4.2.1. Modelo geométrico de la excavación entre pantallas

El esquema geométrico del modelo se establece a partir de la configuración estructural de la estación que se muestra en la sección de la figura adjunta, esta sección puede ser diferente en función de la progresiva considerada en la estación. Se presenta la siguiente sección por ser representativa y susceptible a sufrir las mayores deformaciones y, por lo tanto, mayores asentamientos en superficie.

#### 4.2.2. Perfil geotécnico tipo en la estación Insurgentes

La figura siguiente muestra el perfil estratigráfico del terreno entorno de la excavación, se observa el nivel de agua que es el nivel freático determinado de acuerdo a los cálculos de abatimiento.

El coeficiente de seguridad empleado de manera conservadora en el cálculo de empuje sobre la pantalla para el modelo numérico es de 1.5 contemplando un probable incremento del empuje sobre las pantallas por presencia de materiales de menor permeabilidad.

El nivel de agua es superior a la cota de máxima excavación, por lo que las filtraciones y el manejo de la presión hidráulica deben tomarse como riesgos en potencia.

#### 4.2.3. Descripción del Modelo Numérico de cálculo

La configuración geométrica del modelo se realiza a partir de la sección estructural de la estación y el perfil geotécnico. Se aplica el principio de simetría en la definición de la sección:

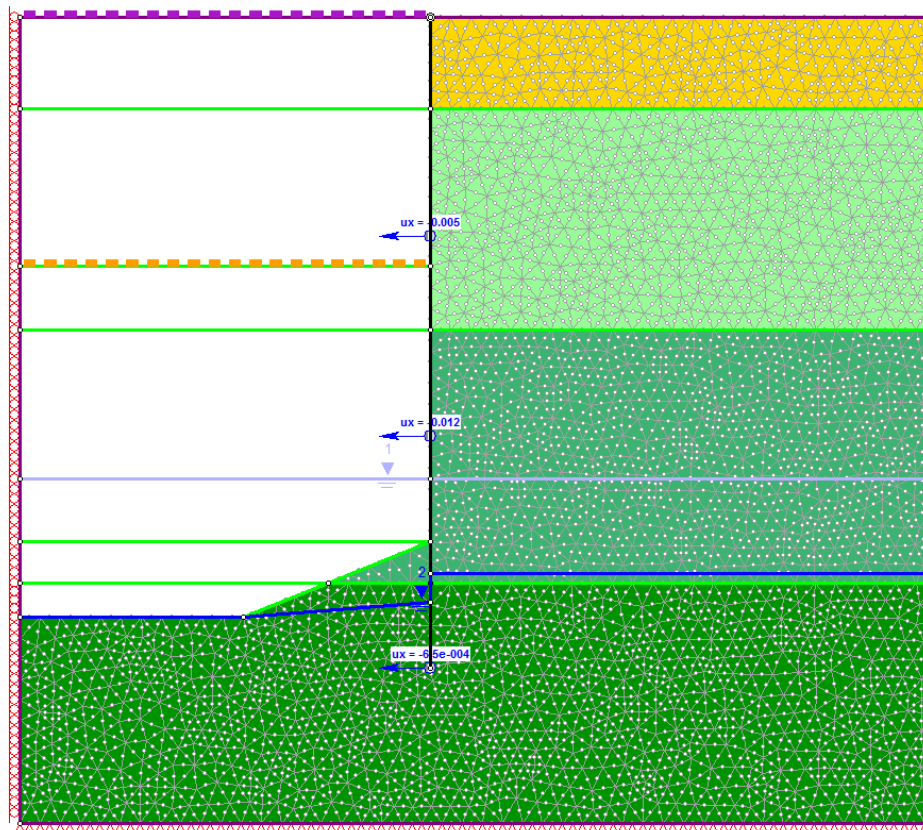


Figura N° 11: Geometría del modelo de cálculo

Fuente: Elaboración Propia

En la confección del propio modelo se distinguen diferentes fases de cálculo correspondientes a fases de excavación o a fases de ejecución de losas que actuarán como arriostramiento de la pantalla. **Se establece como condición de contorno una deformación máxima para la pantalla 12 mm.**

Las propiedades de los diferentes estratos de terreno se detallan en la Tabla N°15; además, el radio de Poisson (Poisson's ratio) para todos menos la interfase es de 0.3.

Tabla N° 15: Propiedades de los materiales

Fuente: Elaboración Propia

Material	Color	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Young's modulus (kPa)	Fricción	Cohesion	Fricción residual	Cohesion residual
R-CL-ML-SM		20	22000	32°	5 kPa	27°	0.5 kPa
GP-S 1		20	22000	36°	10 kPa	31°	1.0 kPa
GP-S 2		21	56600	39°	15 kPa	33°	1.5 kPa
GP-S 3		21	148100	39°	15 kPa	33°	1.5 kPa
Interfase				5°	20 kPa		

Debido a la excavación se obtiene la curva del asiento estimado en superficie en función de la distancia a la excavación.

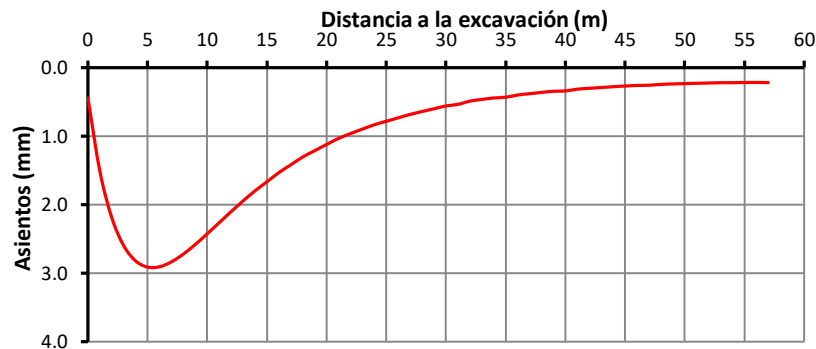


Gráfico N° 16: Curva de subsidencias por excavación en la estación Insurgentes

Fuente: Elaboración Propia

La curva de subsidencias da un asiento máximo de aproximadamente 3 mm a una distancia de 5 a 6 metros desde la excavación. Este asiento en superficie disminuye de forma progresiva hasta prácticamente anularse para distancias al trasdós de pantallas de unos 25 m.

#### 4.3. ESTIMACIÓN DE SUBSIDENCIAS POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO

Debido a que el nivel de agua es superior a la cota máxima de excavación, se realiza el bombeo para el rebaje del nivel freático, este último puede provocar un descenso de la ley de presiones intersticiales en el entorno, lo que conlleva un incremento de las presiones efectivas del terreno en el tramo que inicialmente estaba sumergido, un riesgo a analizar así como el fenómeno de incremento de presiones efectivas asociado a los ciclos de ascensos – descensos del nivel de agua, provoca la generación de asientos elásticos en el terreno.

En la estación Insurgentes el abatimiento máximo del nivel freático es menor a 5m lo que genera una variación de tensiones efectivas menor al 10% de la inicial, lo que producirá asientos despreciables en el terreno. De esta forma se consideran despreciables los asientos debidos a este efecto y no son tomados en cuenta en la estimación de las subsidencias totales que se producen en superficie.

#### 4.4. ESTIMACIÓN DE LOS ASIENTOS TOTALES

Siendo nulas las subsidencias debidas al rebaje del nivel freático, los asientos en superficie se deben exclusivamente a aquellos inducidos por la excavación del

recinto apantallado y correspondiente movimiento de la pantalla hacia el intradós. Así pues, los asientos finales quedan representados por la curva del gráfico anterior, con 3 mm de asiento máximo.

#### 4.5. AUSCULTACIÓN DEL ENTORNO

Determinar el grado de afección de las edificaciones y estructuras del entorno del proyecto, es muy importantes en el análisis de riesgos, puesto que, como consecuencia de la construcción de la obra, el entorno ve modificadas sus condiciones iniciales y sufre cambios que deben registrarse para asegurarse que se encuentran dentro de valores admisibles.

Las estructuras existentes próximas a la estación, que queden dentro del radio de influencia de la excavación, deben ser auscultadas para controlar la evolución de los posibles movimientos que sufran como consecuencia de las obras

Para cumplir con los procesos de la gestión de riesgos usando los lineamientos del PMI como la identificación de los riesgos es importante realizar un inventario de las edificaciones existentes dentro de la zona de influencia de la excavación, (Anexo 1 y 2) para dicho inventario se recomienda tener una ficha con principalmente:

- Datos del elemento, indicando la dirección y ubicación, plano de localización, nombre del propietario, ocupante o explotador.
- Descripción del elemento, reflejando la clase y tipología de edificación y sus dimensiones, acompañado de una fotografía.
- Tipo de estructura.
- Antigüedad de la construcción.
- Acabados exteriores e interiores.
- Anomalías y patologías.

Además, se incluirá información que se considere importante para el estudio de las posibles patologías que puedan aparecer como producto de la construcción de la obra.

La ficha no solo será un activo para la identificación de riesgos sino también para el monitoreo y control de riesgos identificados como pueden ser juntas o fisuras identificadas previamente o durante la construcción, de modo que se pueda



controlar su evolución durante la construcción. Para cada grieta, junta o fisura detectada se anotará la fecha en que se observó por primera vez, la abertura y longitud, la evolución con el tiempo, y una fotografía de la misma. Para el seguimiento de las grietas más importantes en las edificaciones existentes se recomienda tener en cuenta una serie de indicaciones.

Semanalmente se recorrerán aquellas edificaciones que estén clasificadas de 5 a 10 comprobando si ha aparecido alguna nueva grieta o ha variado alguna de las existentes. Aquellas grietas que hayan mostrado una variación en su longitud entre dos visitas semanales, se les colocará testigos de yeso, anotando la fecha de observación.

#### 4.5.1. Movimientos en el terreno

La construcción de la estación Insurgentes podría provocar movimientos verticales en la superficie del terreno dentro de la zona de influencia de la excavación, se debe llevar un seguimiento de la magnitud y la evolución de estos movimientos que se producen como consecuencia de la excavación de la estación y verificar que se mantienen dentro de unos valores admisibles.

#### 4.6. EVALUACIÓN DE AFECCIONES SOBRE EDIFICACIONES

Se establece como base para evaluar el nivel o intensidad de daño sobre edificaciones la Escala de Burland J.B. (1977) adoptado por el BRE (Building Research Establishment) y por Boscarding M.D. y Cording E.J. (1989).

Tabla N° 16: Clasificación de afecciones visibles. Escala de Burland J. B. (1977)

Fuente: "Estimación de daños en edificios debidos a la excavación de túneles", Muñoz, L. (2008).

Escala o Intensidad del daño	Descripción del daño Típico	Apertura de grieta (mm)	Deformación límite de tracción (%)
0. Despreciable	Fisuras de menos de 0.1 mm.	< 0,1	0,00 a 0,05
1. Muy Ligero	Fisuras que pueden ser tratados con la decoración. Y fisuras aisladas en paredes de ladrillo.	1	0,05 a 0,075
2. Ligero	Grietas fácilmente rellenables. Varias fisuras ligeras apreciables en el interior. Puertas y ventanas pueden sufrir deformaciones ligeras en los marcos	5	0,075 a 0,15
3. Moderado	Los revestimientos adecuados pueden enmascarar las grietas recurrentes. Las puertas y ventanas se atascan, Empeora la resistencia del edificio frente a los agentes atmosféricos.	5 a 15 o N° de fisura > 3	0,15 a 0,3

Escala o Intensidad del daño	Descripción del daño Típico	Apertura de grieta (mm)	Deformación límite de tracción (%)
4. Severo	Reparación extensiva incluyendo demolición y restitución de porciones de muros especialmente sobre puertas y ventanas. Los marcos de ventanas y puertas se distorsionan.	15 a 25 depende del N° de grietas	> 0,3
5. Muy Severo	Se requiere una gran reparación total o parcial del edificio. Peligro de inestabilidad.	> 25 depende del N° de grietas	

Por la envergadura del proyecto como es una estación subterránea para pasajeros de una línea de metro, la falta de antecedentes regionales, alto nivel freático, además de otras importantes características ya mencionadas en la presente investigación, se establece como criterio general no superar el nivel de intensidad 1 de la Escala de Burland (daños muy ligeros). En algún caso puntual podría justificarse el nivel de intensidad 2 (daños ligeros).

Con el objetivo de determinar el nivel de daños que pueden generar las subsidencias, se utiliza el gráfico de Niveles de Afección de Boscardin y Cording.

La entrada en este gráfico se efectúa con los valores de deformación horizontal y distorsión angular que se generan en la superficie del terreno. Estos valores se pueden obtener a partir de los valores de movimientos verticales y horizontales que resultan del cálculo con el modelo numérico de elementos finitos, además del cálculo analítico de asientos por abatimiento del nivel freático.

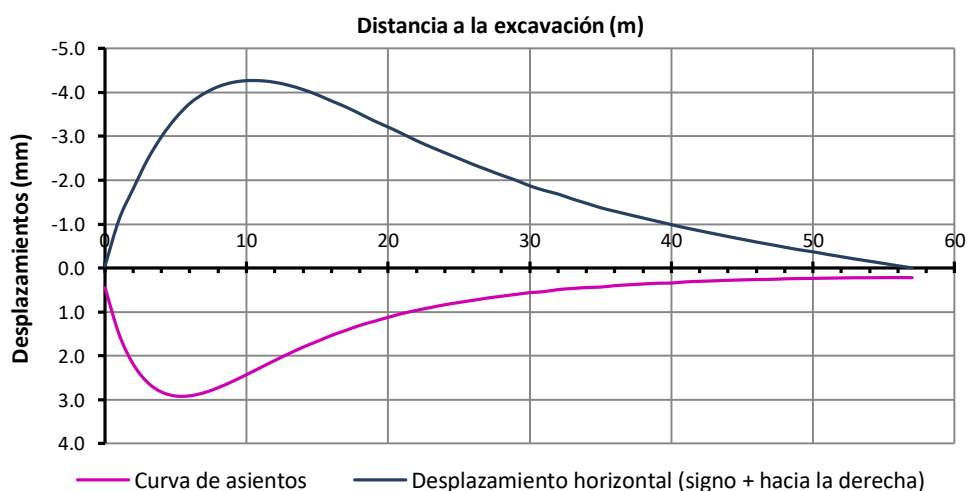


Gráfico N° 17: Curva de subsidencias totales y desplazamientos horizontales

Fuente: Elaboración Propia

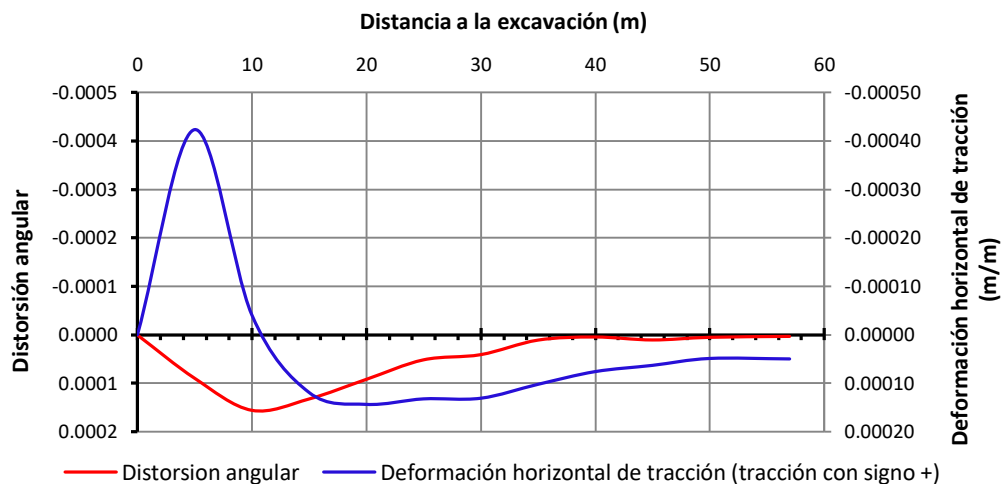


Gráfico N° 18: Curva de distorsión angular y deformación horizontal de tracción

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los resultados de distorsión angular y deformación horizontal de tracción se grafican los puntos en el siguiente gráfico de niveles de afección propuesto por Boscardin y Cording.

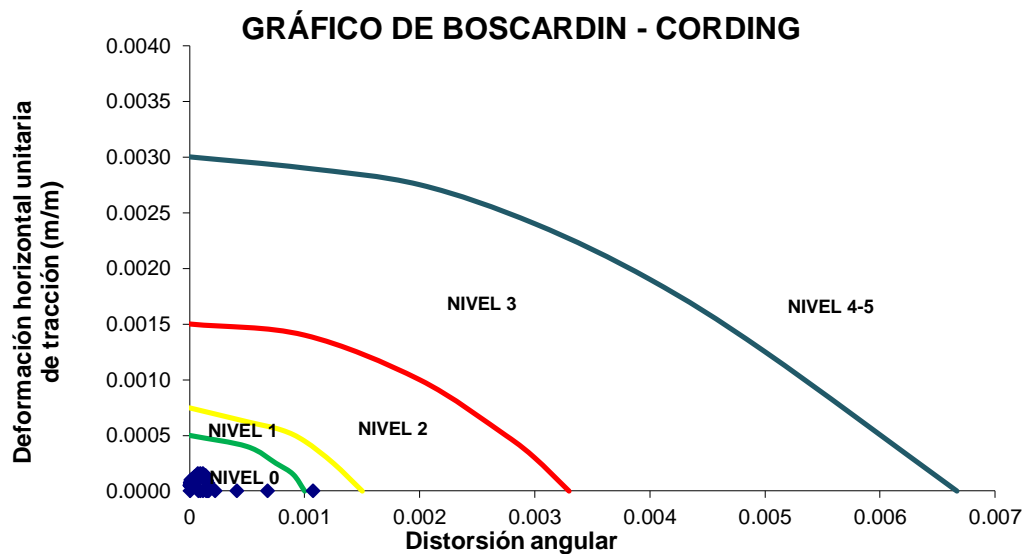


Gráfico N° 19: Niveles de afección de la estación Insurgentes. Gráfico de Boscardin y Cording 1989.

Fuente: “Estimación de daños en edificios debidos a la excavación de túneles”, Muñoz, L. (2008).

Los puntos que se muestran en el gráfico representan pares de valores (distorsión angular – deformación horizontal de tracción) y, como se puede observar, todos ellos se sitúan en la región de Nivel 0, que corresponde con una intensidad de daños despreciable, excepto un único punto en Nivel 1 (nivel de daños muy ligero) con valores de distorsión angular de 0,001 y deformación horizontal unitaria nula.

Cabe mencionar que este punto que se encuentra en Nivel 1 corresponde al primer metro desde el borde de la excavación, donde no existe ninguna edificación encontrándose las más cercanas a 15 m de la excavación. Por lo tanto, todas las edificaciones se encuentran en intensidad de daños de Nivel 0.

Por tratarse de Nivel 0 de daños para la zona edificada y, habiendo establecido un Nivel 1 como máximo permitido, no se estima necesario la introducción de medidas preventivas o necesarias de refuerzo, o de tratamiento de mejora del terreno, para limitar las deformaciones.

#### 4.7. ABATIMIENTO DE NIVEL FREÁTICO. ALTERNATIVA Y CAUDALES A EXTRAER

Los terrenos a través de los cuáles es el trazado de la Línea 2 del Metro de Lima son principalmente unidades de gravas pobremente gradadas con arenas, limos y arcillas, con diferentes niveles de compactación. También aparecen unidades de arenas limosas y, arcillas y limos inorgánicos, principalmente en forma de lentejones, exceptuando la zona de la estación de Puerto Callao donde las arenas y gravas de menor tamaño se presentan como unidad predominante.

La permeabilidad de las gravas es entre  $K=2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s y  $K=0,9 \cdot 10^{-4}$  m/s (adoptándose  $K=1 \cdot 10^{-4}$  m/s). La permeabilidad de las arenas es de  $K=4,1 \cdot 10^{-5}$  m/s a  $K=8,1 \cdot 10^{-5}$  m/s (adoptándose  $K=6 \cdot 10^{-5}$  m/s).

El nivel freático (NF) en las áreas más cercanas al mar, como Puerto Callao y Buenos Aires, se encuentra alto, a una profundidad aproximada de 2 m. Este nivel de la capa freática se profundiza progresivamente para áreas más alejadas del mar como las estaciones de Juan Pablo II, Insurgentes y Carmen de la Legua.

El gradiente hidráulico debe mantenerse en valores inferiores al gradiente crítico, adoptando además ciertos coeficientes de seguridad; deben considerarse que gradientes próximos al crítico podrían anular las presiones efectivas del suelo y podría generar fenómenos de erosión interna, llegando incluso al sifonamiento.

El terreno predominante son gravas, en las que difícilmente se produce el fenómeno de sifonamiento, pero no obstante es posible un arrastre de material y una disminución volumétrica de las gravas, lo que se traduce en una modificación de las propiedades resistentes del terreno.

Tabla N° 17: Datos para cálculo

Fuente: Elaboración Propia

Estación Insurgentes				
Cota de terreno (m)	Cota del NF (m)	Cota de máxima excavación (m)	Carga hidráulica (m)	Ancho entre pantallas (m)
39	22	17	5	25

Como identificación a los riesgos por filtraciones, se varió la permeabilidad del medio para comprobar la sensibilidad del modelo. Se comprobó que los gradientes no resultan muy sensibles al valor de la permeabilidad, por lo que no se ven afectados en gran medida. Sin embargo, el caudal obtenido si resulta condicionado por la permeabilidad, de manera proporcional a esta.

#### 4.7.1. Ley de variación: Gradiente hidráulico vs Longitud de empotramiento

Se presenta a continuación el gráfico que relaciona el gradiente hidráulico en función de la longitud de empotramiento de las pantallas. Cabe remarcar en este punto que la longitud de empotramiento no parte desde el fondo de la excavación (Nivel Máximo de Excavación) debido a la morfología que adopta la losa de fondo.

A continuación, se presenta el gráfico indicado de variación del gradiente hidráulico frente a la longitud de empotramiento.

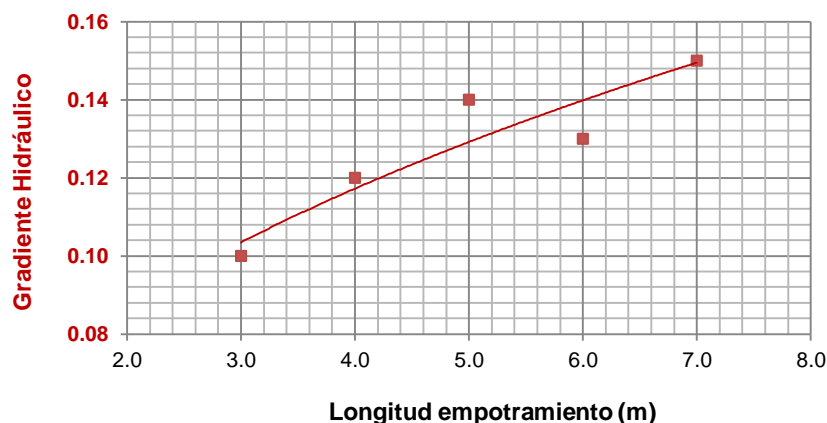


Gráfico N° 20: Estación Insurgentes. Gradiente vs Longitud empotramiento

Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico se deduce que los gradientes hidráulicos para el rango de empotramientos de la estación Insurgentes (de 3 a 7 m) se mantienen en valores muy bajos entre 0,10 y 0,15.

#### 4.7.2. Ley de variación: Gradiente y Caudal de extracción vs Longitud de empotramiento

Se presenta el gráfico de variación del gradiente y caudal a extraer (por unidad de longitud de estación), en relación con la longitud de empotramiento de la pantalla.

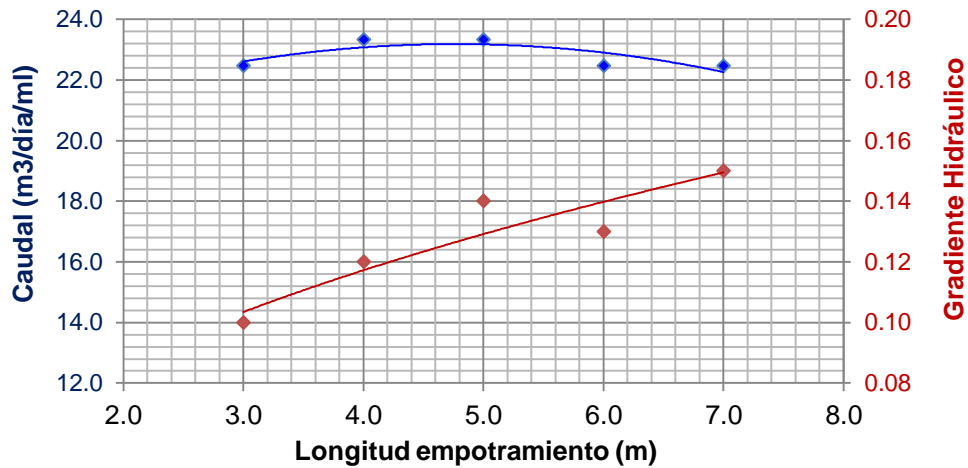


Gráfico N° 21: Estación Insurgentes. Caudal vs Longitud empotramiento

Fuente: Elaboración Propia

Para un empotramiento de 4 m, el requerido según el cálculo estructural de las pantallas, el caudal que se extrae por metro de estación es de 23 m³/día/ml, lo que supone un caudal total de 3266 m³/día (para una longitud de 142 m de la estación), al que habría que añadirle el caudal proveniente de la zona de los extremos (“testeros”) de la estación.

Tabla N° 18: Longitudes de pantalla y caudales de bombeo según gradiente hidráulico

Fuente: Elaboración Propia

ESTACIÓN INSURGENTES				
Carga hidráulica (m)	Gradiente hidráulico límite	Longitud de empotramiento (m)	Caudal (m³/día/m)	Longitud total pantalla(m)
5	i=0,12	4 (condicionantes estructurales)	23	25

Con el objeto de optimizar la longitud de empotramiento de las pantallas se analizan diferentes alternativas: aclarando que las dos alternativas planteadas se estiman viable para llevarlas a cabo en el proceso de excavación de la estación Insurgentes, siendo la longitud de empotramiento a considerar de 4m (según cálculo estructural).

1. Drenaje por fondo de excavación para aquellas pantallas donde el empotramiento por condicionantes hidráulicos sea igual o inferior al empotramiento estructural (bombeo de caudal desde fondo de excavación). El caudal total estimado corresponde a la suma del flujo lateral (proveniente de la zona lateral o lado largo de la estación), más el flujo en los “testeros” (procedente del lado corto de la estación). En el cuadro siguiente se presentan los caudales estimados.

Tabla N° 19: Caudal total de infiltración (bombeo desde el fondo de excavación)

Fuente: Elaboración Propia

<b>ESTACIÓN INSURGENTES</b>					
	<b>Carga hidráulica (m)</b>	<b>Empotramiento de pantalla (m)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/día/m)</b>	<b>Longitud / ancho estación</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/día)</b>
Flujo desde el lateral	5	4	23	142	3266
Flujo desde “testeros”	5	4	38	25	950
Flujo Total					4216

2. Instalación de pozos de bombeo (“dewatering wells”) en el interior del recinto de la estación, para el rebaje del nivel freático y disminución de gradientes hidráulicos cercanos al pie de pantalla. En esta alternativa se optimiza la longitud de la pantalla con la profundización del pozo y se ejerce un mayor control del nivel freático asegurando unas buenas condiciones en el fondo de excavación (instalación de pozos de bombeo).

Esta opción permite que el gradiente hidráulico tienda a disminuir en la zona próxima a la pantalla, disminuyendo la presión de agua, aumentando la presión efectiva y, por lo tanto, aumentando la resistencia del terreno en la zona del empuje pasivo. No obstante, esta alternativa genera mayores caudales y altas velocidades y gradientes a la entrada del propio pozo.

Tabla N° 20: Instalación de pozos de bombeo

Fuente: Elaboración Propia

<b>ESTACIÓN INSURGENTES</b>			
<b>Longitud de empotramiento (m)</b>	<b>Pozo de bombeo</b>	<b>Gradiente hidráulico</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/día/m)</b>
4	Pozo de 12 m de profundidad desde fondo de excavación (desde cota 17 hasta 5 msnm) Mantener NF en pozo a 2 m de profundidad (desde fondo de excavación)	0,06	29

En el siguiente cuadro se presentan los caudales estimados para la segunda opción que son mayores a los estimados en la opción anterior.

Tabla N° 21: Caudal total de infiltración (bombeo con pozo profundo)

Fuente: Elaboración Propia

<b>ESTACIÓN INSURGENTES</b>					
	<b>Carga hidráulica (m)</b>	<b>Empotramiento de pantalla (m)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/día/m)</b>	<b>Longitud / ancho estación</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/día)</b>
Flujo desde laterales de compartimento	5	4	29	142	4118
Flujo desde "testeros"	5	4	49	25	1225
Flujo Total					5343

La segunda alternativa exige determinar el número de pozos de bombeo y la disposición de estos, para lo cual se toma como datos de partida:

- Caudal total de infiltración: 5343 m<sup>3</sup>/día
- Capacidad de bombeo del pozo: directamente proporcional a la longitud sumergida del pozo de bombeo.



Para determinar el número y configuración de pozos de bombeo se requiere fijar la velocidad del flujo de agua que para una permeabilidad de  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s se debe limitar a 0,01 m/s.

Tomando como datos la velocidad límite de 0,01 m/s y la superficie abierta de 0,28 m<sup>2</sup> para la entrada de agua al pozo, se estima un caudal máximo de 2,8 l/s (242 m<sup>3</sup>/día) por metro de pozo sumergido. Con este valor y con el caudal de infiltración total de 62 l/s (5343 m<sup>3</sup>/día), se determina una longitud sumergida mínima de 22m a repartir entre los pozos a instalar, por ende, se debe cumplir que todos los pozos deben tener la misma longitud y la suma debe ser mayor o igual a 22m.

Aunque para pozos de 12m de profundidad (10m de profundidad bajo el nivel freático) y según el caudal de cálculo de 62 l/s (5343 m<sup>3</sup>/día), serían estrictamente necesarios un número de 3 pozos:

$$\text{Longitud sumergida} = 3\text{ pozos} \times 10\text{m} = 30\text{m} > 23\text{m} = \text{Longitud requerida}$$

$$\text{FS} = 30/23 = 1,3$$

Con esta configuración resulta un margen de seguridad de 1,3; sin embargo, no hay margen de maniobra ante cualquier imprevisto que provoque la inutilización de algún pozo, es por ello que se proponen 4 pozos de bombeo de 12m de profundidad. El nivel freático en el pozo debe mantenerse a 2m de profundidad respecto a la cabeza del pozo (nivel de excavación), lo que resulta una longitud sumergida del pozo de 10m.

$$\text{Longitud sumergida} = 4\text{ pozos} \times 10\text{m} = 40\text{m} > 23\text{m} = \text{Longitud requerida}$$

$$\text{FS} = 40/23 = 1,74$$

Con la instalación de 4 pozos se consigue un margen de seguridad respecto a imprevistos como la avería de bombas, colmatación de filtros, mantenimiento de equipos, valores de permeabilidad superiores a los supuestos, etc.

En la estación Insurgentes el agua de infiltración puede ser evacuada desde el fondo de excavación con apoyo de una zanja drenante o un similar.

De la información presentada se deduce que los caudales de bombeo esperados son considerables, sobre todo en la alternativa de bombeo con pozo profundo,

generando un riesgo que requiere una previsión y gestión de las necesidades de bombeo, e incluso del modo de evacuación del agua bombeada.

En la tabla siguiente se resumen los valores máximos (correspondientes al de máxima excavación) de caudales a extraer para la estación Insurgentes, en el supuesto que se realiza toda la excavación de forma simultánea. Por otra parte, se presenta el caudal máximo a extraer en cada compartimento resultante de disponer las pantallas de bentonita cemento.

Tabla N° 22: Caudales de bombeo en excavación compartimentada  
Fuente: Elaboración Propia

<b>ESTACIÓN INSURGENTES</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Nº de recintos</b>	<b>Caudal por recinto (m<sup>3</sup>/día)</b>
Bombeo desde fondo de excavación	4212	4	1053
Bombeo desde pozo profundo	5343	4	1336

En el primer caso de bombeo desde fondo de excavación el caudal total a extraer será 1053 m<sup>3</sup>/día frente a los 4212 m<sup>3</sup>/día estimados anteriormente. De igual forma, en el segundo caso (bombeo con pozo) el caudal total a extraer será de 1336 m<sup>3</sup>/día frente a los 5343 m<sup>3</sup>/día.

#### 4.8. ALTERNATIVAS PARA LA EVACUACIÓN DEL AGUA BOMBEADA

Para realizar las excavaciones bajo el NF es necesario extraer un volumen de agua, que debe ser desalojado de las obras para lo cual se consideran diversas opciones, todas ellas tienen en cuenta que en la ciudad de Lima no existe un sistema de evacuación de aguas de lluvia, por ser las precipitaciones mínimas:

- Vertido del agua al mar o al río Rímac mediante conducción
- Restituir el agua nuevamente al acuífero, mediante pozos de recarga.
- Evacuar a los colectores de aguas servidas (pendiente de autorización)

La opción de vertido del caudal extraído al mar (o al río en su caso) implica introducir una conducción por el entramado de calles de la ciudad del Callao, con las afecciones a servicios y tráfico que ello supone. Se descarta esta alternativa debido a la distancia hasta el río Rímac (punto más cercano) que es de 1,5 Km. La segunda opción es la realimentación del nivel freático mediante el caudal de bombeo. Sin embargo, esta reinyección debe llevarse a cabo bajo ciertas condiciones que se describen a continuación:

- La aportación se debe realizar aguas abajo del punto de extracción.
- La aportación al acuífero debe hacerse con tantos pozos de recarga como pozos de bombeo.
- La aportación al acuífero se debe realizar más allá del radio de influencia. Este radio de influencia depende del tiempo de bombeo y puede estimarse mediante la expresión  $R = 1,5\left(\frac{T.t}{S}\right)^{0,5}$ . En el siguiente apartado se presenta un modelo numérico de cálculo a partir del cual se determina el punto de inyección de caudal a partir de la comparación de varios casos.

Una alternativa es conducir las aguas en tubería hasta distancias que no generen afección en el entorno de la excavación.

#### 4.8.1. Reinyección en el terreno del caudal de bombeo

Para determinar la distancia óptima a la cual deben disponerse los pozos de recarga se analizan, mediante modelo numérico, cuatro supuestos diferentes que son detallados en el Anexo 5:

- Inyección en el trasdós de la pantalla (5 m desde el trasdós)
- Inyección a 50 m desde la excavación
- Inyección a 100 m desde la excavación
- Inyección a 250 m desde la excavación (distancia próxima al radio de influencia del bombeo).

En base a los resultados y conclusiones de los casos analizados se considera que la realimentación del caudal de bombeo debe ser realizada como mínimo a una distancia de 50 m desde la excavación. El diseño de la estación cumple con dicha restricción y presenta factores de seguridad altos que respaldan el diseño por lo que el riesgo hidráulico no impactaría negativamente al proyecto pero que debe ser monitoreado ante alguna eventualidad que lo convierta en crítico para lo cual se tiene las opciones de bombeo y las características de los pozos de recarga que se describirán a continuación.

#### 4.8.2. Características y ejecución de pozos de recarga

Los pozos de recarga se deben ejecutar según las siguientes indicaciones.

- Longitud de 20m
- Diámetro del pozo (perforación) de 450mm

- Los pozos deben ser revestidos con geotextil
- Los pozos se deben ubicar en zonas abiertas alejadas de edificaciones y estructuras
- En caso de ser necesaria la utilización productos para el sostenimiento de las paredes del pozo durante la perforación del mismo, no se utilizará bentonita ni ningún otro producto arcilloso que pueda reducir la permeabilidad de la zona de entrada de agua y así reducir la eficiencia del pozo. En caso de ser necesario, se emplearán productos como polímeros que puedan ser fácilmente eliminados.
- Idealmente el agua debe ser conducida en zanja en la zona de reinyección del caudal al terreno. Esta zanja no debe ser revestida, debe ser rellenada de material granular (grava) y protegida con geotextil para evitar la contaminación de finos.

Como empleo de filtro para el relleno de los pozos de realimentación, se recomienda una grava de tamaño uniforme, de naturaleza silíceas, con un  $D_{50}$  de aproximadamente 3,5 mm.

Tabla N° 23: Resumen

Fuente: Elaboración Propia

Datos	Estación Insurgentes
Cota de terreno (msnm)	39
Cota del NF (msnm)	22
Cota de máxima excavación (msnm)	17
Profundidad de máxima excavación (m)	22
Carga hidráulica máxima (m)	5
Empotramiento de pantalla (m)	4
Longitud total de pantalla (m)	23
Gradiente Hidráulico	0.12
Prof. Excavación (m)	22
Q (m <sup>3</sup> /día/m)	23
Caudal total estación (m <sup>3</sup> /día)	4216
Línea de actuación planteada	Bombeo desde fondo de excavación

## CAPITULO V: DISEÑO DE MODELO DE GESTIÓN PARA RIESGOS TÉCNICOS

### 5.1. GESTIÓN DE RIESGOS PARA LA ESTACIÓN INSURGENTES

El modelo de gestión para riesgos técnicos se reflejará en un plan de gestión de riesgos aplicable al caso de estudio, la Estación Insurgentes. Para la gestión de riesgos se analizan los riesgos técnicos priorizando los riesgos geotécnicos dado que en el diagnóstico situacional y el análisis de riesgos, los riesgos hidráulicos no mostraron mayor implicancia por los factores de seguridad adoptados en el proyecto. Sin embargo, los riesgos geotécnicos que responden a las actividades de excavación principalmente serán analizados a detalle por recomendación de los especialistas y la bibliografía que se presenta en la investigación.

Los riesgos identificados son del estudio definitivo de ingeniería y de la ejecución, tomando de ellos como variables a los riesgos técnicos para el modelo de gestión de riesgos propuesto.

Los riesgos de gestión fuera del cronograma mostrados en la tabla 29 que son detallados en la tabla 28 son considerados como constantes con respecto a tiempo, debido a que teórica y conceptualmente las actividades descritas en la tabla 28 son actividades a realizarse y terminarse antes de iniciar las fases de construcción de la estación como tal, respetando las buenas prácticas tomaremos dichas actividades como hitos previos fuera del cronograma que se usará de input para la simulación de análisis de riesgos cuantitativo. Sin embargo, se analizará su implicancia cualitativamente y se propondrá los planes de respuesta para dichos riesgos identificados.

El modelo de gestión de riesgos busca cumplir con el plazo de ejecución de la Estación Insurgentes, la cuarta estación de la Línea 2 del Metro de Lima, cuyas particularidades fueron expuestas en el capítulo III y IV.

El proceso de planificar la gestión de los riesgos aplicado y que teóricamente se detalla en el capítulo III, toma como entrada el diagnóstico situacional desarrollado en el capítulo IV, el que será alimentado por las herramientas:

- Juicio de expertos (docentes FIC-UNI, ingenieros asociados al Metro de Lima, ingenieros especialistas, compañeros y egresados FIC-UNI),

- Análisis de datos partiendo de la recopilación (anexo 1) del formulario propuesto para inicio (anexo 2) y
- Reuniones para la recopilación de juicios de expertos, también se toma como reunión los cursos nacionales e internacionales relacionados con el tema.

Como salida del proceso se presenta la metodología para la gestión de riesgos que se presenta en un diagrama en el Anexo 3.

## 5.2. MODELO PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS

Según el PMBOK los procesos para un modelo de gestión de riesgos son 7, de los cuales para el modelo de gestión de riesgos de la Estación Insurgentes usando los lineamientos del PMI, se adaptarán los siguientes:

- Identificar los peligros y los riesgos asociados.
- Realizar el análisis cualitativo de los riesgos con una valorización a través de su probabilidad e impacto.
- Cuantificar los riesgos técnicos, principalmente para el plazo de ejecución con apoyo de la simulación de Montecarlo y análisis PERT de un cronograma simplificado de las principales partidas de la construcción de la estación Insurgentes.
- Monitoreo y control propuesto con apoyo de dispositivos instalados en elementos de la estación, considerando los umbrales de control y la frecuencia de medición.
- El plan de respuestas donde se identifican las acciones para eliminar y/o mitigar los riesgos.

El proceso planificar la Gestión de Riesgo se define según el PMBOK (2017) cómo realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto. Para el plan de gestión de riesgos propuesto se consideran los lineamientos del PMI y los riesgos sistemáticos publicados por:

- La International Tunneling Association (ITA 2005)
- La British Tunneling Society.

El PMI promueve las buenas prácticas de gestión, teniendo un capítulo netamente para la gestión de riesgos tal como se detalló en el capítulo II; este y las

instituciones mencionadas han desarrollado una serie de documentos asociados a la gestión de riesgos como:

- El “Código de prácticas profesionales para la gestión de riesgos en trabajos en túneles” preparado por The International Tunneling Insurance Group (ITIG) que busca promover y afianzar la buena práctica con el fin de reducir y gestionar los riesgos asociados al diseño y construcción de túneles, y otras estructuras subterráneas; razón por la que es aplicable para un plan de gestión de riesgos en una estación de pasajeros de metro de Lima que es subterránea.
- Las líneas guía para la gestión del riesgo de la International Tunnelling Association (ITA 2005) que describe pautas y recomendaciones para el proceso sistemático:
  - Identificación de peligros y riesgos asociados a través de una valoración del riesgo que afecte al resultado del proyecto referido a costo y programa,
  - Análisis y Cuantificación de riesgos,
  - Identificación de acciones pro-activas planificadas para eliminar o mitigar riesgos,
  - Identificar métodos a utilizar para el control del riesgo,
  - Asignar riesgos a las diversas partes del contrato.

### 5.2.1. Identificación de peligros y riesgos asociados

#### 5.2.1.1. *Riesgos en la fase de estudio definitivo de ingeniería (EDI)*

Para el desarrollo de la ingeniería, se inicia evaluando el impacto de:

- Coordinación de las especialidades de la Ingeniería;
- Variación en los valores geotécnicos de diseño;
- Variación en las características de los materiales;
- Métodos de construcción y la aplicación de medidas de mitigación/contingencia;
- Afecciones a la futura operación y mantenimiento de las líneas del Metro

Tabla N° 24: Riesgos en el desarrollo de EDI

Fuente: Elaboración Propia

<b>RIESGOS EN EL DESARROLLO DE EDI</b>		
<b>ITEM</b>	<b>TIPO</b>	<b>RIESGO</b>
01	Interno	Retrasos en las coordinaciones de las diferentes etapas y especialidades de la Ingeniería
02	Externo	Diferencias en los valores geotécnicos, respecto a los indicados en el estudio de pre inversión.
03	Externo	Condiciones de terreno distintas a las previstas
04	Externo	Presencia de restos arqueológicos
05	Concedente	Retrasos en la revisión y aprobación de los EDI's
06	Concedente	Retrasos en la liberación de las áreas para estudios generales como el de suelos.
07	Concedente	Riesgos geológicos no previstos

#### 5.2.1.2. Riesgos en fase de ejecución

Para la construcción, los riesgos específicos asociados con:

- Condiciones distintas del terreno, riesgos geológicos
- Técnicas de construcción
- Maquinaria, equipo, y materiales empleados,
- Sociales, licencias, interferencias y permisos.

Tabla N° 25: Riesgos en la ejecución

Fuente: Elaboración Propia

<b>RIESGOS EN LA EJECUCIÓN</b>		
<b>ITEM</b>	<b>TIPO</b>	<b>RIESGO</b>
01	Interno	Necesidad de mayor detalle a la ingeniería desarrollada
02	Externo	Identificar condiciones de terreno distintas a las previstas
03	Externo	Identificar restos arqueológicos
04	Externo	Retrasos por paralizaciones de gremios sociales
05	Externo	Las municipalidades y otros entes estatales podrían retrasarse en la emisión de las licencias y autorizaciones para la ejecución de las obras



ITEM	TIPO	RIESGO
06	Externo	Eventos de fuerza mayor durante la construcción (terremotos, incendios)
07	Externo	Afectaciones o daños a bienes o edificaciones de terceros
08	Externo	Personas ajenas al proyecto podrían sufrir caídas o accidentes
09	Concedente	Retrasos en la liberación de las áreas para la ejecución de las obras
10	Concedente	Identificar riesgos geológicos no previstos
11	Concedente	Identificar interferencias adicionales no previstas

### 5.2.2. Análisis cualitativo de los riesgos

A continuación, se recoge el resultado de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo II a la fase de desarrollo de los EDI.

Tabla N° 26: Valoración de riesgos en EDI's

Fuente: Elaboración Propia

VALORACIÓN DE RIESGOS EN EL DESARROLLO DE EDI				
ITEM	DEFINICIÓN RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO	VALORACIÓN RIESGO
01	Retrasos en las coordinaciones de las diferentes etapas y especialidades de la Ingeniería	P	Mo	M
02	Diferencias en los valores geotécnicos, respecto a los indicados en el estudio de pre inversión.	PP	S	M
03	Condiciones de terreno distintas a las previstas	PP	S	M
04	Identificar restos arqueológicos	PP	Sv	M
05	Retrasos en la revisión y aprobación de los EDI's	P	S	M

ITEM	DEFINICIÓN RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO	VALORACIÓN RIESGO
06	Retrasos en la liberación de las áreas para la realización de estudios y campañas de estudios de suelo	MP	Sv	A
07	Identificar riesgos geológicos no previstos	PP	S	M

También se recoge el resultado de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo II a la fase de ejecución

Tabla N° 27: Valoración de riesgos en ejecución

Fuente: Elaboración Propia

VALORACIÓN DE RIESGOS EN LA EJECUCIÓN				
ITEM	RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO	VALORACIÓN RIESGO
01	Necesidad de realizar mayor detalle a la ingeniería desarrollada	P	Mo	M
02	Identificar condiciones de terreno distintas a las previstas	PP	S	M
03	Identificar restos arqueológicos	PP	Sv	M
04	Retrasos por paralizaciones de gremios sociales	P	Sv	A
05	Las municipalidades y otros entes estatales podrían retrasarse en la emisión de las licencias y autorizaciones para la ejecución de las obras	MP	Sv	A
06	Eventos de fuerza mayor durante la construcción (terremotos, incendios)	MO	Sv	A
07	Afectaciones o daños a bienes o edificaciones de terceros.	PP	Sv	M

ITEM	DEFINICIÓN RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO	VALORACIÓN RIESGO
08	Personas ajenas al proyecto podrían sufrir caídas o accidentes	PP	Mo	B
09	Retrasos en la liberación de las áreas para la ejecución de las obras	MP	Sv	A
10	Identificar riesgos geológicos no previstos	MP	Sv	A
11	Identificar interferencias adicionales no previstas	MP	Sv	A

Como conclusión del apartado los riesgos con mayor valoración son los relacionados a retrasos, en el estudio definitivo de ingeniería es el retraso en la liberación de las áreas para la realización de estudios y campañas de estudios de suelo y en las obras civiles es por retrasos de gremios sociales, por liberación de áreas para la ejecución de obras, retraso en emisión de licencias y/o autorizaciones, retrasos por fuerza mayor como la ocurrencia de un terremoto o incendios, y por la falta de identificación de riesgos geológicos o interferencias no previstas.

### 5.2.3. Análisis cuantitativo de los riesgos

Para el análisis cuantitativo de los riesgos enfocado en el plazo de ejecución se usará la simulación de Montecarlo aplicada a un cronograma sencillo de las principales actividades para la ejecución de la estación Insurgentes.

Las primeras actividades con duración cero no son tomadas para el análisis, partimos del supuesto de que esas actividades ya fueron realizadas como tareas previas.

Tabla N° 28: Actividades fuera del cronograma. Actividades previas

Fuente: Elaboración Propia

Actividades fuera del cronograma	Duración
Liberación de interferencia existente	0
Entrega de terreno	0
Movilización e implantación	0

Actividades fuera del cronograma	Duración
Diseño (diseño de ingeniería y aprobación de ingeniería)	0
Actividades preliminares (programa de monitoreo geológico, desvíos de tránsito y seguridad vial, programa ambiental, programa arqueológico)	0
Preparación de terreno	0
Implantación de desvíos de tráfico	0

Se toman las actividades propias a la fase I y II para la construcción de la estación. La actividad "Tuneladora" toma en cuenta el ratio de avance de la tuneladora para el tipo de suelo identificado y las especificaciones de la estación (capítulo III y IV).

Tabla N° 29: Cronograma detallado con los tiempos estimados

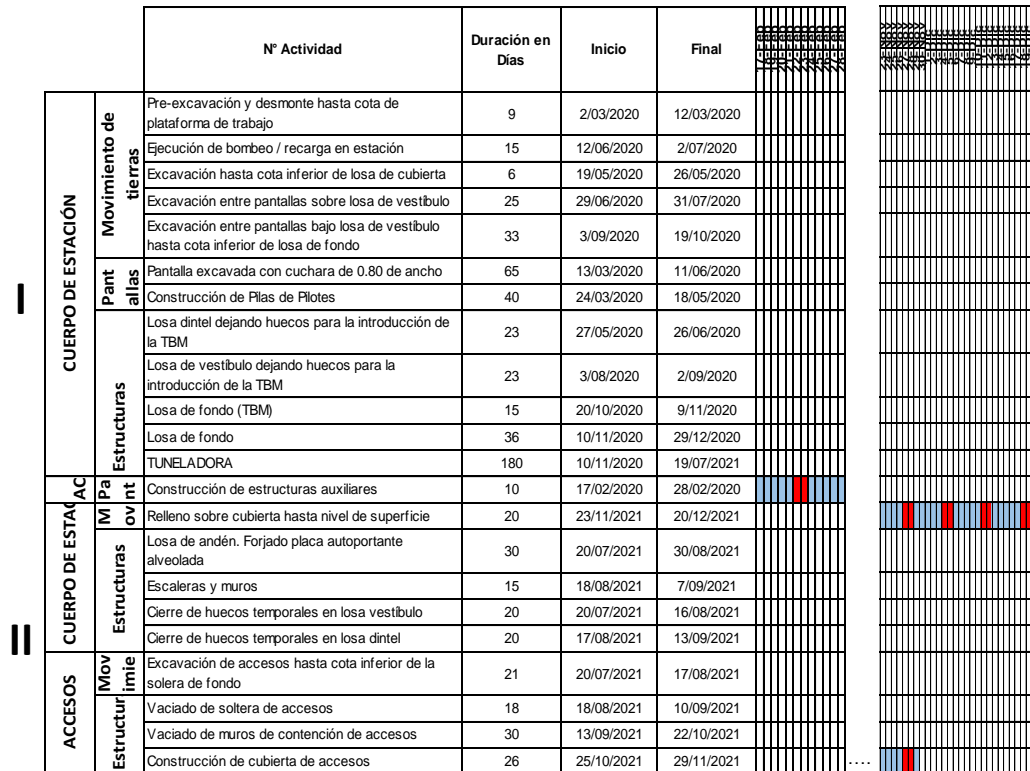
Fuente: Elaboración Propia

Item	Actividad	O	MP	P	TRI	PERT	%O	%P
<b>CUERPO ESTACIÓN</b>								
<b>Movimiento de tierras</b>								
A	Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	9	9	25	14	12	1.00	2.78
B	Ejecución de bombeo / recarga en estación	14	15	20	16	16	0.93	1.33
C	Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	5	6	8	6	6	0.83	1.33
D	Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	21	25	35	27	26	0.84	1.40
E	Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	25	33	45	34	34	0.76	1.36
<b>Pantallas</b>								
F	Pantalla excavada con cuchara de 0.80 de ancho	50	65	80	65	65	0.77	1.23
G	Construcción de Pilas de Pilotes	38	40	44	41	40	0.95	1.10
<b>Estructuras</b>								
H	Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	21	23	26	23	23	0.91	1.13
I	Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	21	23	45	30	26	0.91	1.96
J	Losa de fondo (TBM)	14	15	35	21	18	0.93	2.33
K	Losa de fondo	34	36	45	38	37	0.94	1.25
L	TBM	180	180	180	180	180	1.00	1.00
<b>ACCESOS</b>								
<b>Pantallas</b>								
M	Construcción de estructuras auxiliares	9	10	12	10	10	0.90	1.20
<b>CUERPO ESTACIÓN</b>								
<b>Movimiento de tierras</b>								
N	Relleno sobre cubierta hasta nivel de superficie	19	20	22	20	20	0.95	1.10
<b>Estructuras</b>								
O	Losa de andén. Forjado placa autoportante alveolada	29	30	33	31	30	0.97	1.10
P	Escaleras y muros	14	15	17	15	15	0.93	1.13
Q	Cierre de huecos temporales en losa vestíbulo	19	20	22	20	20	0.95	1.10
R	Cierre de huecos temporales en losa dintel	19	20	22	20	20	0.95	1.10
<b>ACCESOS</b>								
<b>Movimiento de tierras</b>								
S	Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo	15	21	28	21	21	0.71	1.33
<b>Estructuras</b>								
T	Vaciado de solera de accesos	17	18	25	20	19	0.94	1.39
U	Vaciado de muros de contención de accesos	24	30	35	30	30	0.80	1.17
V	Construcción de cubierta de accesos	25	26	29	27	26	0.96	1.12

Las actividades de la Tabla 29 tienen tiempos determinísticos, que deben ser relacionadas por medio de la Ruta Crítica, teniendo como resultado un diagrama Gantt, como el que muestra la Tabla 30.

Tabla N° 30: Diagrama Gantt. Fragmento

Fuente: Elaboración Propia



Con el Diagrama de la Tabla 30, que tiene las relaciones de precedentes, se ingresa para cada actividad tres tiempos: (O) optimista, (MP) más probable y (P) pesimista, propios de una distribución PERT, que se muestran en la Tabla 32 y que fueron estimados considerando la incertidumbre de cada actividad por medio de dos principales herramientas, las estimaciones y el juicio de expertos. Logrando por medio de la simulación en Montecarlo pasar de duraciones determinísticas a duraciones probabilísticas.

Para la simulación con Montecarlo se usará el programa @Risk con 1000000 de iteraciones para las 24 salidas (22 que corresponden a la fecha de finalización de cada actividad, la 23 corresponde a la duración en días del proyecto y 24 a la fecha de finalización del proyecto) asignadas de 22 entradas (duración en días de las actividades). El resultado del 1000000 de iteraciones se muestra en el Anexo 4.

Con la simulación se puede concluir que existe un 78.8% de probabilidad de superar la fecha de finalización y una probabilidad de 21.2% de ser una fecha anterior a la estimada de manera determinística. Las fechas de termino oscilan entre 28/10/2021 – 04/02/2022 iniciando el 17/02/2020 (tiempo determinístico) con la actividad “construcción de las estructuras auxiliares”.

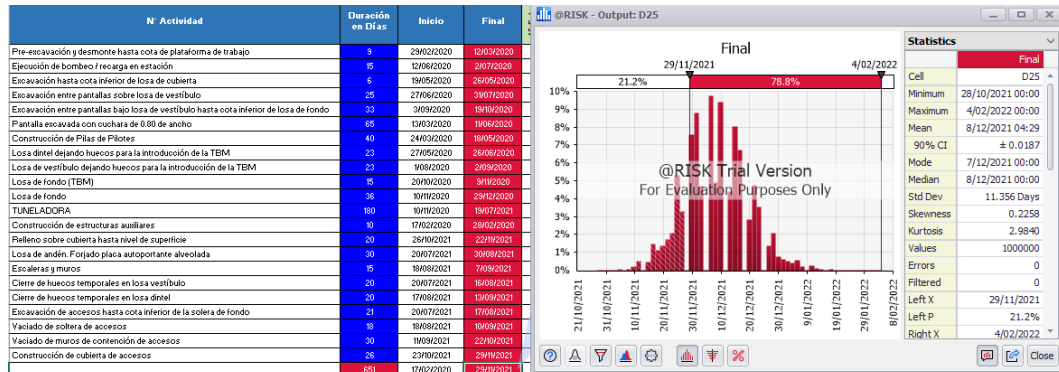


Figura N° 12: Probabilidad de la fecha de finalización

Fuente: Elaboración Propia

Visto el termino de plazo de ejecución como duración en días se concluye que existe un 78.8% de superar la fecha estimada de manera determinística para concluir la construcción de la Estación Insurgentes, considerando la fase I y II con las actividades descritas en la tabla 29.

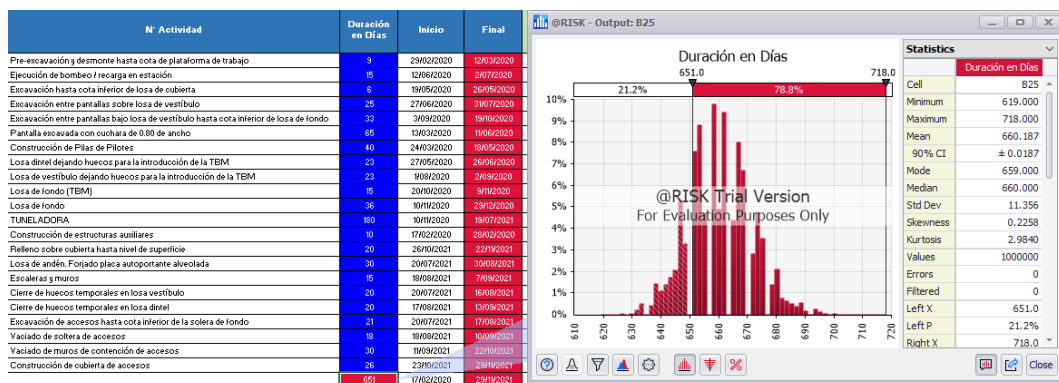


Figura N° 13: Probabilidad de la duración en días

Fuente: Elaboración Propia

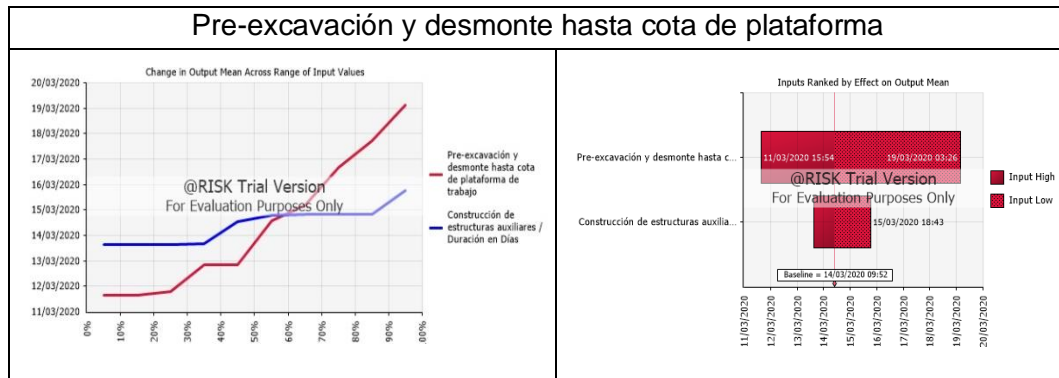
Del resultado de la simulación se analiza el grado de dependencias, el grado de relación de las actividades, la probabilidad de superar la fecha de finalización, así como el impacto en el plazo de ejecución de la estación subterránea de pasajeros “Insurgentes” de la línea 2 del Metro de Lima.

**ACTIVIDAD “A”:** “Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma de trabajo”

Relación directa con la actividad “Construcción de estructuras auxiliares” (predecesora de la actividad):

Tabla N° 31: Actividad “A”

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña a la derecha y de tornado a la izquierda que muestra el impacto de la actividad “construcción de estructuras auxiliares” sobre la actividad en estudio: “Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma”

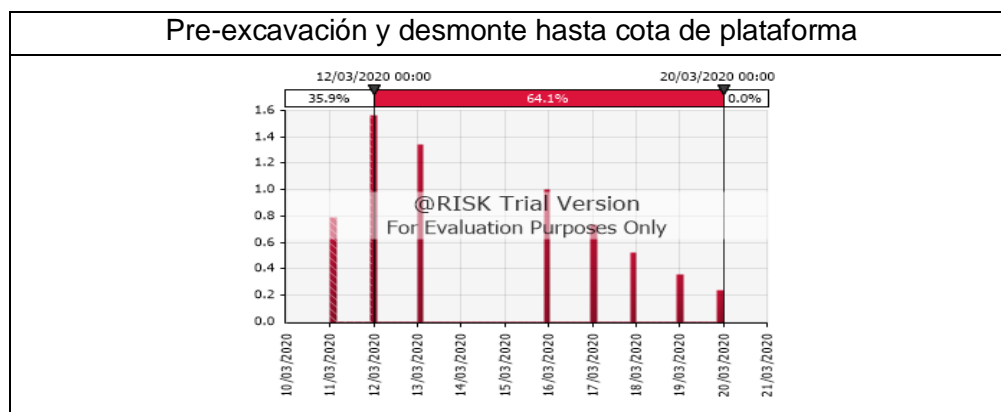
Tabla N° 32: Coeficientes actividad "A"

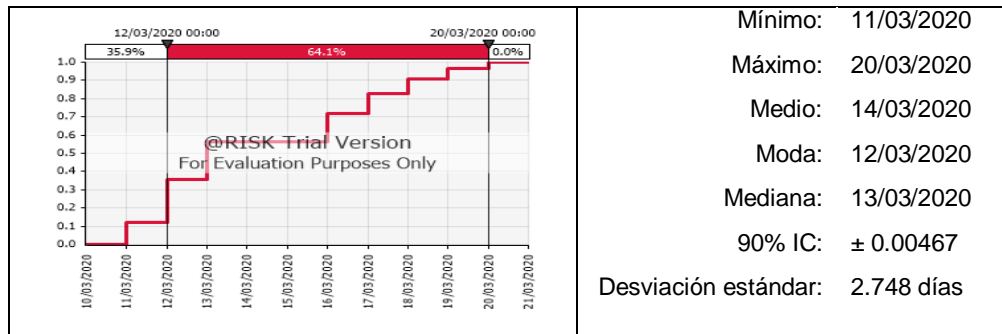
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación
<b>Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma</b>	0.93	0.91
Construcción de estructuras auxiliares	0.28	0.28

Tabla N° 33: Salida actividad "A"

Fuente: Elaboración Propia





Existe un 64.1% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; y es una actividad a monitorear.

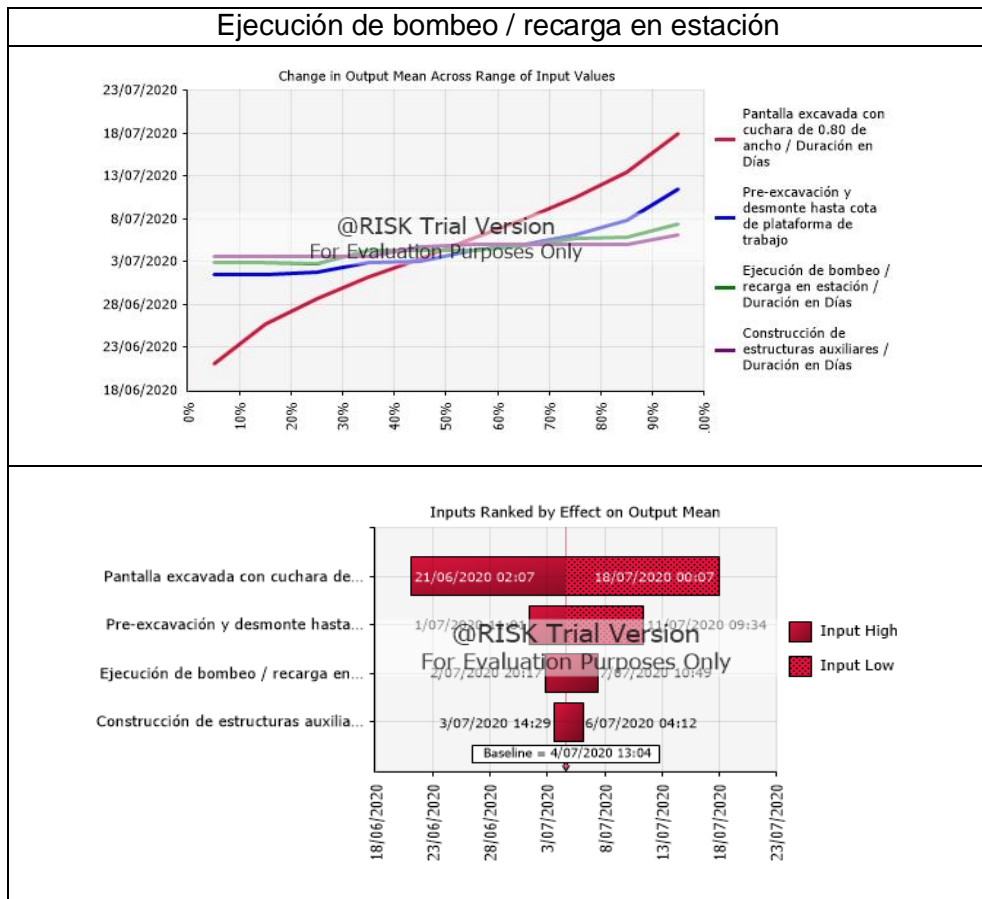
**ACTIVIDAD “B”:** Ejecución de bombeo / recarga en estación

Relación directa con las actividades:

- “Pantalla excavada con cuchara de 0.80 de ancho”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Construcción de estructuras auxiliares”

Tabla N° 34: Actividad "B"

Fuente: Elaboración Propia





Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Ejecución de bombeo / recarga en estación”

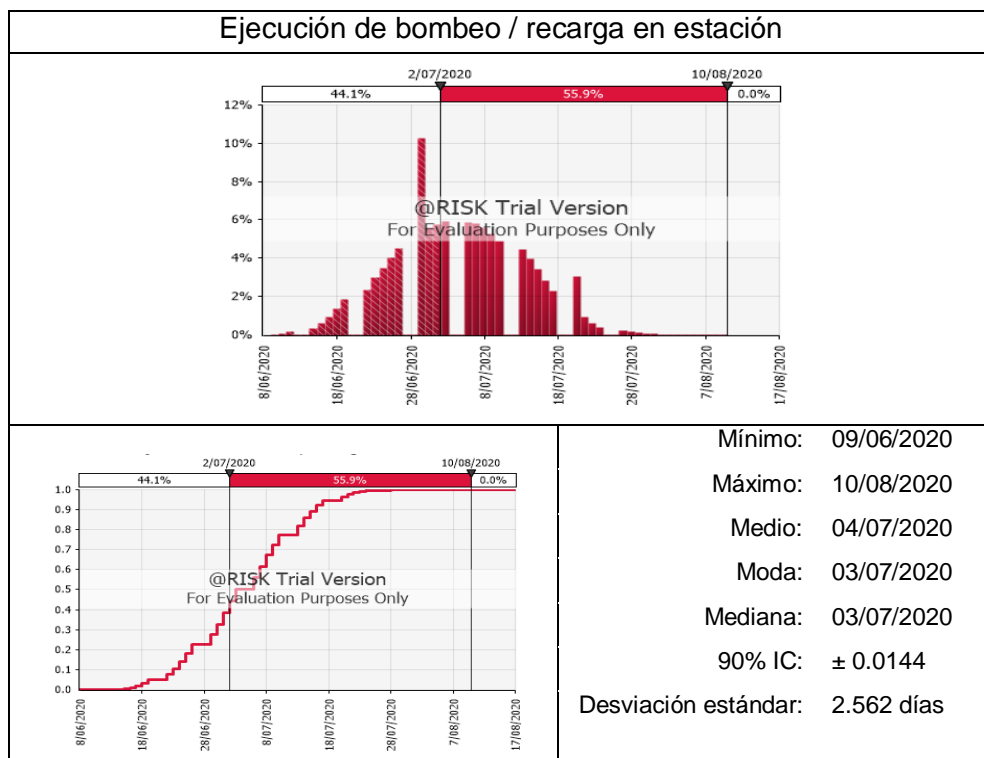
Tabla N° 35: Coeficientes actividad "B"

Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación
<b>Ejecución de bombeo / recarga en estación</b>	0.16	0.15
Pantalla excavada con cuchara de 0.80 de ancho	0.91	0.91
Pre-excavación y desmote hasta cota de plataforma de trabajo	0.36	0.31
Construcción de estructuras auxiliares	0.09	0.08

Tabla N° 36: Salida actividad "B"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 55.9% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; donde la principal actividad a monitorear es “Pantalla excavada con cuchara de 0.80 de ancho” que según su coeficiente de regresión de 0.91 presentaría el mayor grado de dependencia donde la varianza contribuye en un 82.6%. Importante considerar que las actividades de excavación tienen a la estimación pesimista por la incertidumbre que se presenta en la exploración geotécnica en campo frente a la del estudio de suelos.

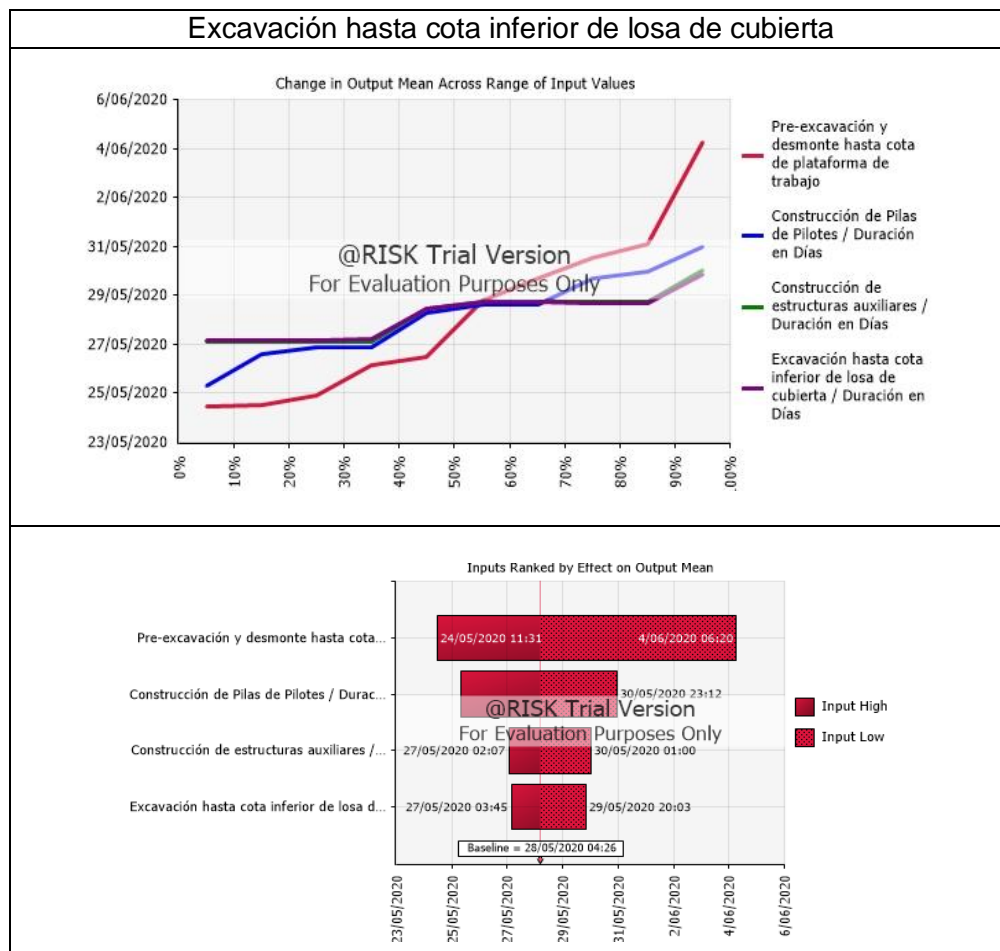
**ACTIVIDAD “C”:** “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”

Relación directa con las actividades:

- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”

Tabla N° 37: Actividad "C"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”

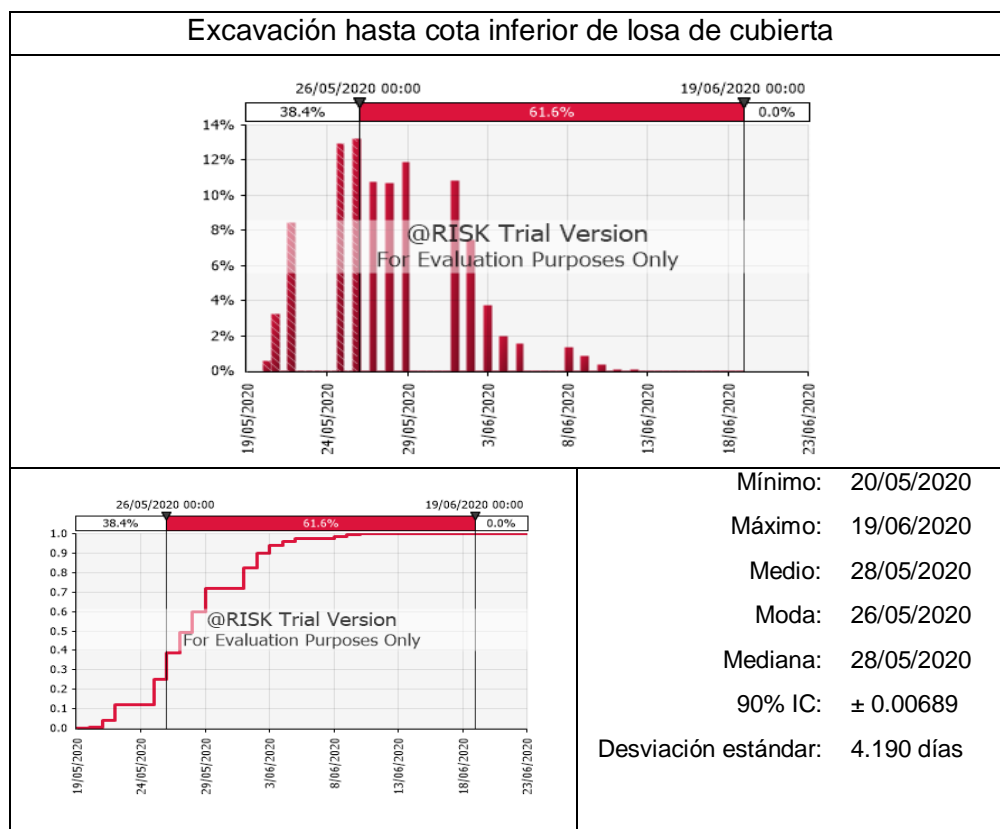
Tabla N° 38: Coeficientes actividad "C"

Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta</b>	0.20	0.19
Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma de trabajo	0.80	0.80
Construcción de Pilas de Pilotes	0.39	0.38
Construcción de estructuras auxiliares	0.22	0.22

Tabla N° 39: Salida actividad "C"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 61.6% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; donde la principal actividad a monitorear es "Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma de trabajo" que según su coeficiente de regresión de 0.80 presentaría el mayor grado de dependencia donde la varianza contribuye en un 64.3%. Nuevamente la actividad a monitorear guarda relación con las actividades de excavación.

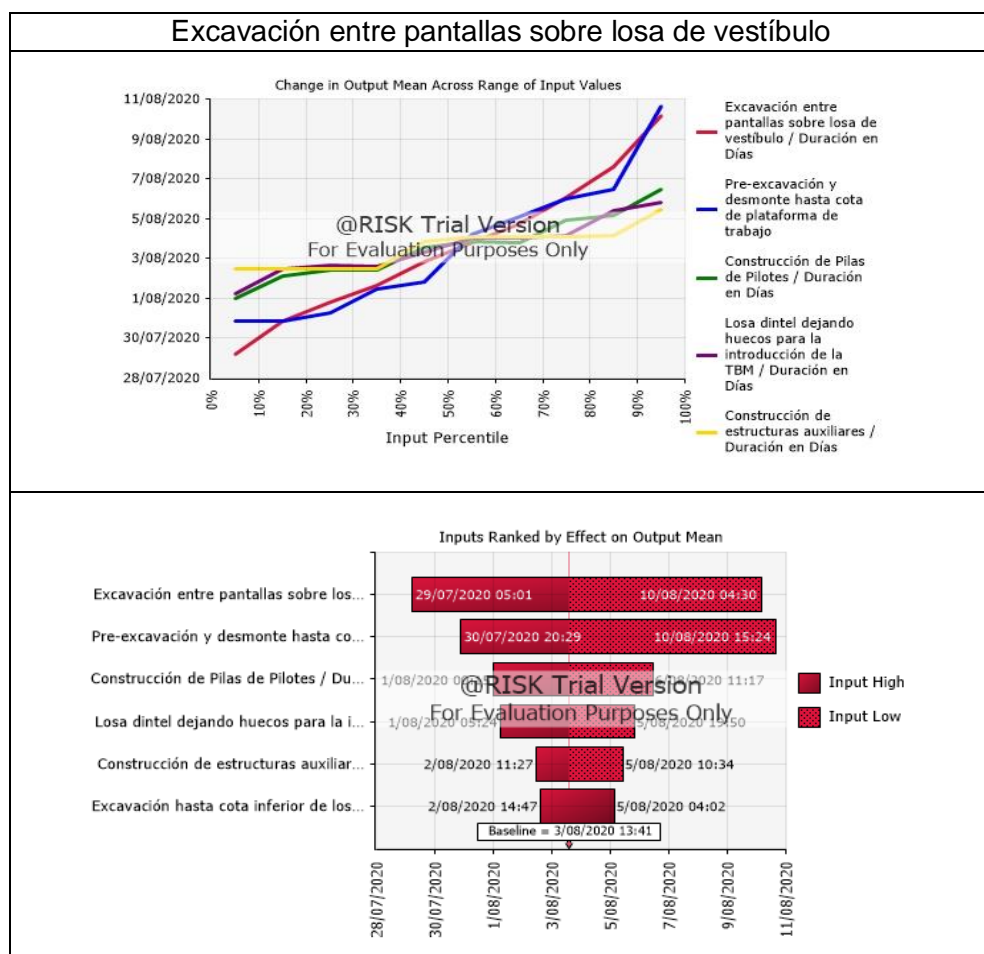
## ACTIVIDAD “D”: “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”

Relación directa con las actividades:

- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Excavación entre pantallas sobre losa de cubierta”

Tabla N° 40: Actividad "D"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”

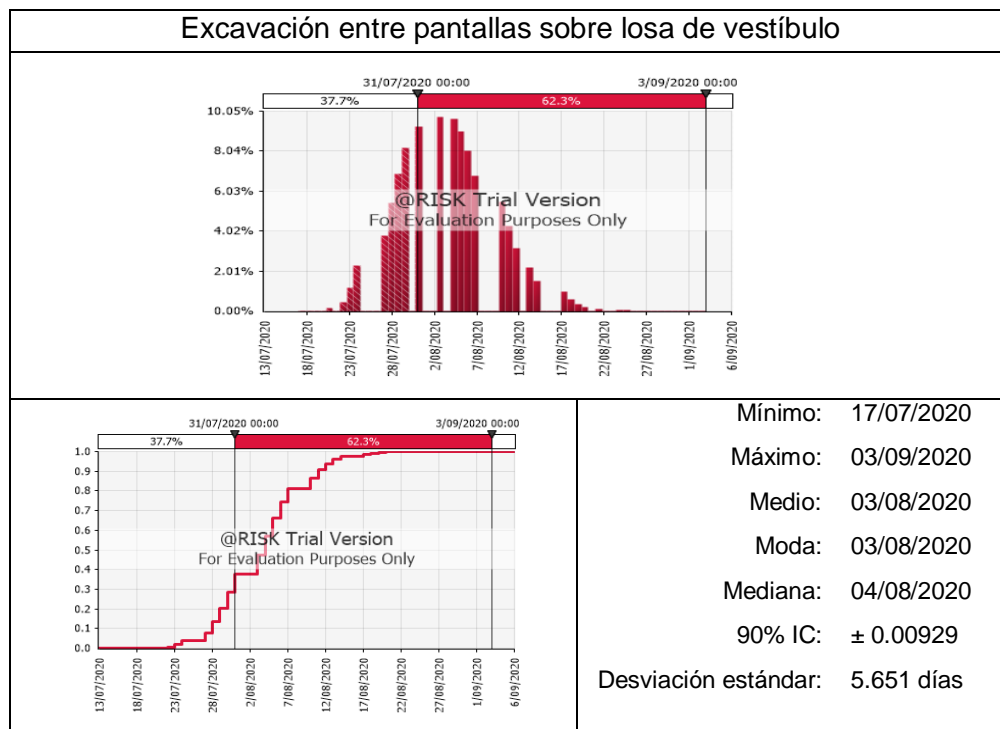
Tabla N° 41: Coeficientes actividad "D"

Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Excavación hasta cota inferior de losa de vestíbulo</b>	0.63	0.62
Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma de trabajo	0.60	0.57
Construcción de Pilas de Pilotes	0.27	0.27
Construcción de estructuras auxiliares	0.16	0.16
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.14	0.13
Losa dintel dejando huecos para la introducción	0.23	0.23

Tabla N° 42: Salida actividad "D"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 62.3% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; donde las principales actividades a monitorear son la actividad en análisis y la actividad de "Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma de trabajo" que según sus coeficientes de regresión son 0.63 y 0.60 respectivamente con grado de contribución de varianza de 39.3% y 35.7% lo que en conjunto corresponde al 75.0% a lo que es posible agregar un 1.9% de contribución por la actividad de "excavación hasta cota inferior de losa de cubierta" sumando 76.9% en actividades netamente de excavación.

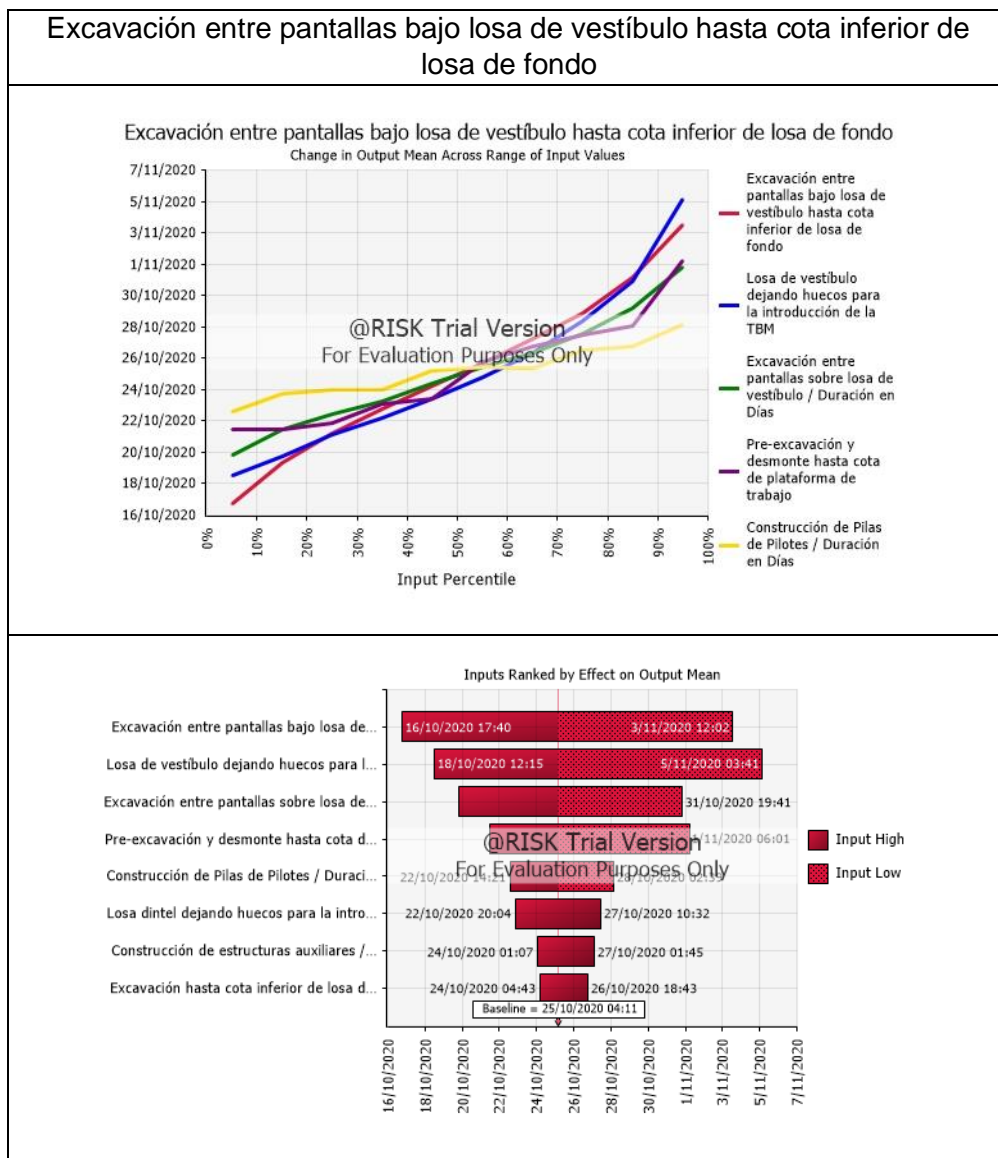
**ACTIVIDAD “E”:** “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”

Relación directa con las actividades:

- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”

Tabla N° 43: Actividad "E"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”

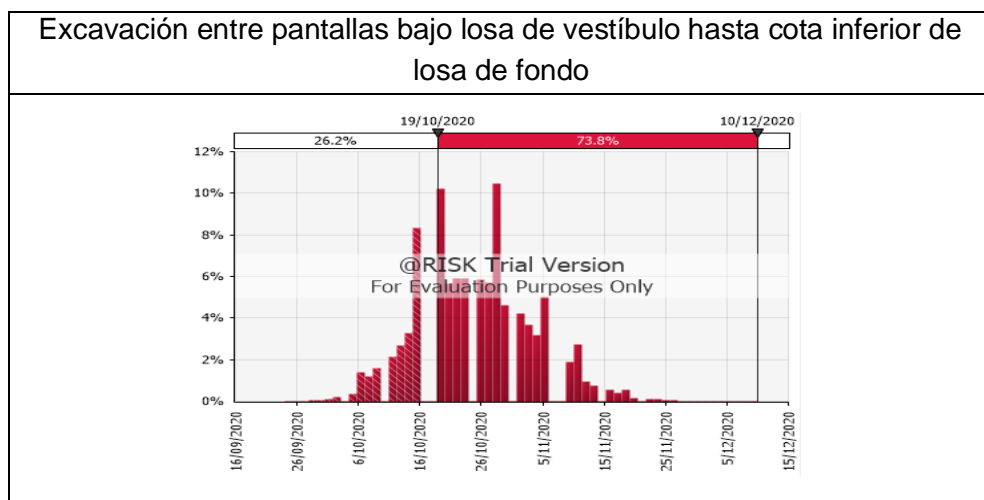
Tabla N° 44: Coeficientes actividad "E"

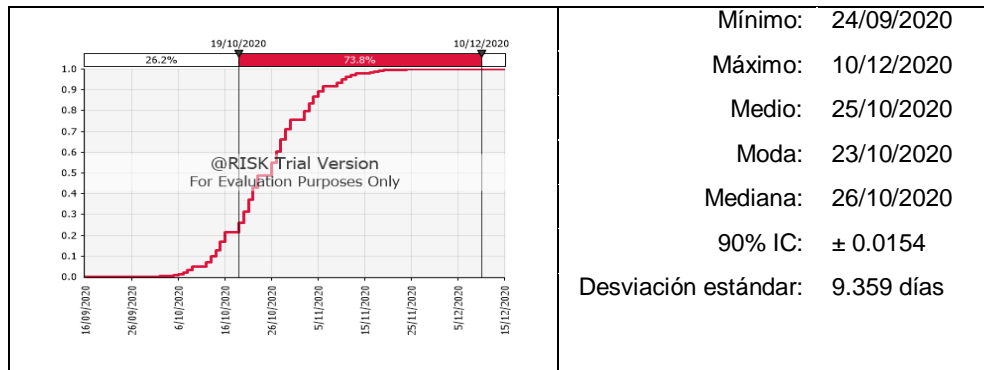
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coficiente de regresión	Coficiente de correlación
<b>Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo</b>	0.56	0.56
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.36	0.34
ACTIVIDAD	Coficiente de regresión	Coficiente de correlación
Construcción de Pilas de Pilotes	0.17	0.16
Construcción de estructuras auxiliares	0.10	0.10
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.08	0.08
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.56	0.53
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.14	0.14
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.38	0.37

Tabla N° 45: Salida actividad "E"

Fuente: Elaboración Propia





Existe un 73.8% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; donde las principales actividades a monitorear son la actividad en análisis y la actividad de “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM” que según sus coeficientes de regresión ambos son 0.56 con grado de contribución de varianza de 31.4% y 31.8% respectivamente.

**ACTIVIDAD “F”:** “Pantalla excavada con cuchara de 0.80 de ancho”

Relación directa con las actividades:

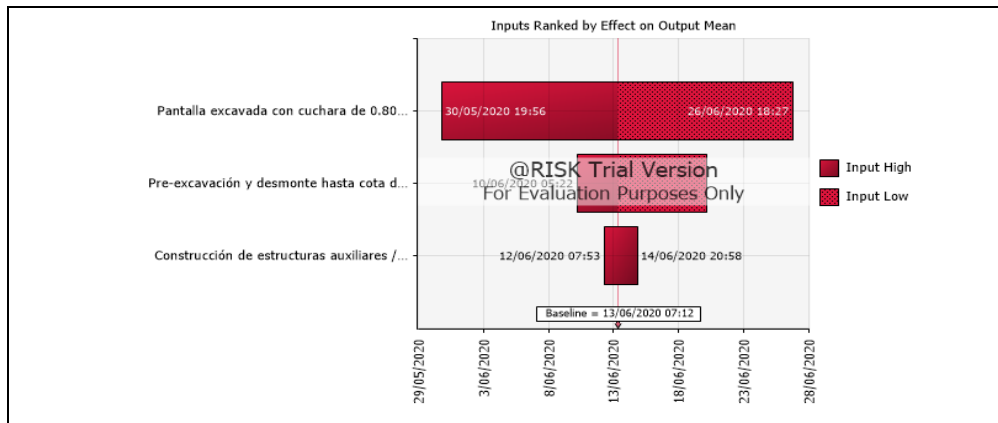
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Construcción de estructuras auxiliares”

Tabla N° 46: Actividad "F"

Fuente: Elaboración Propia







Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Pantalla excavada con cuchara de 0.80 de ancho”

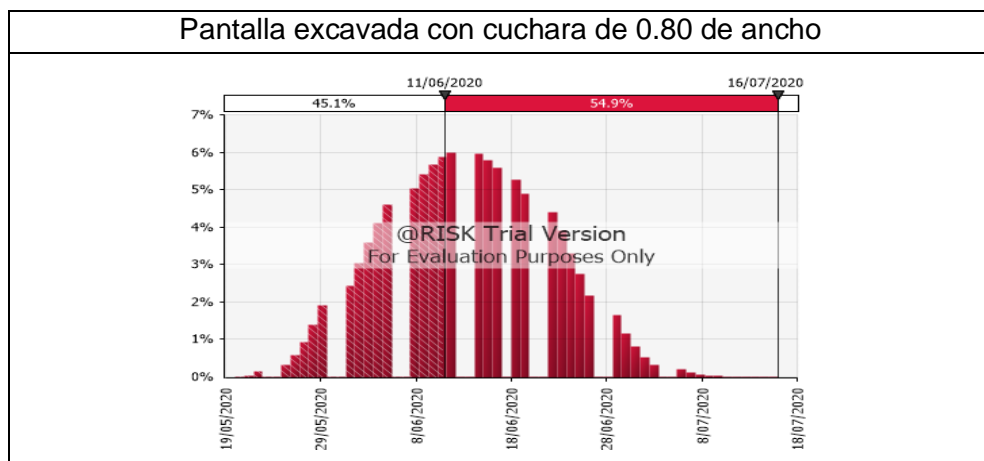
Tabla N° 47: Coeficientes actividad "F"

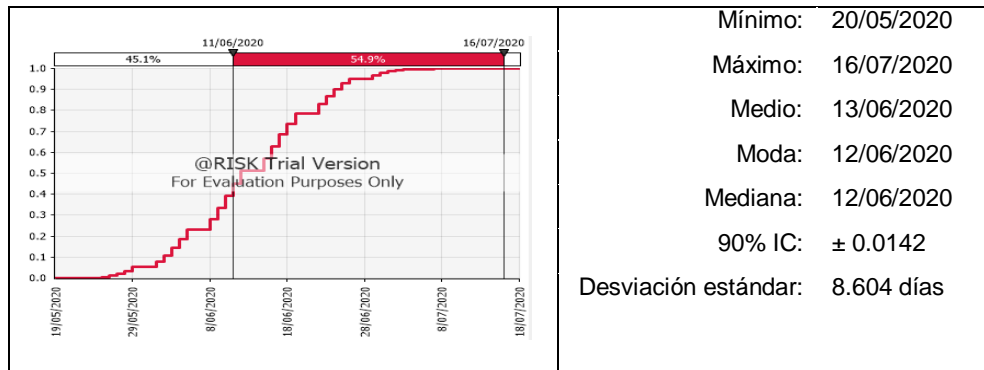
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Pantalla excavada con cuchara de 0.80 de ancho</b>	0.92	0.93
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.36	0.32
Construcción de estructuras auxiliares	0.09	0.09

Tabla N° 48: Salida actividad "F"

Fuente: Elaboración Propia





Existe un 54.9% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; y es una actividad a monitorear con una contribución de la varianza de 85.0%.

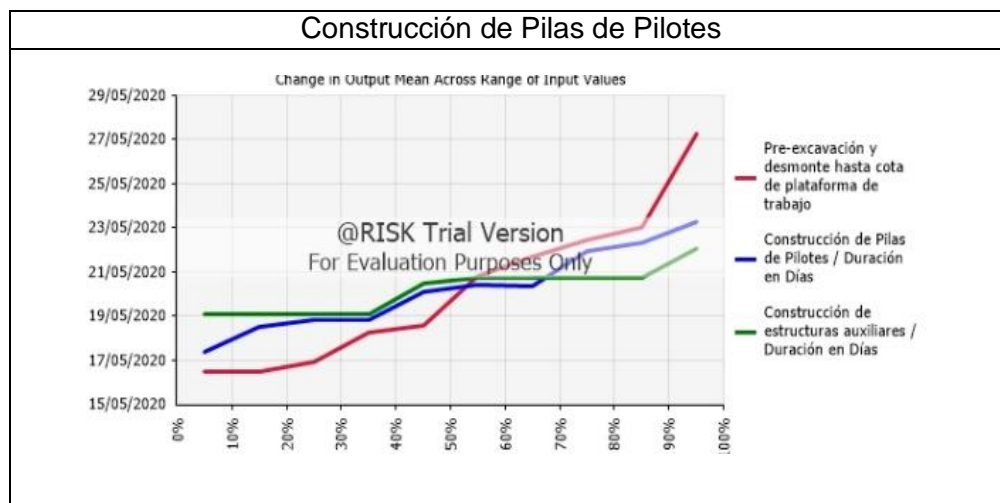
### ACTIVIDAD “G”: “Construcción de Pilas de Pilotes”

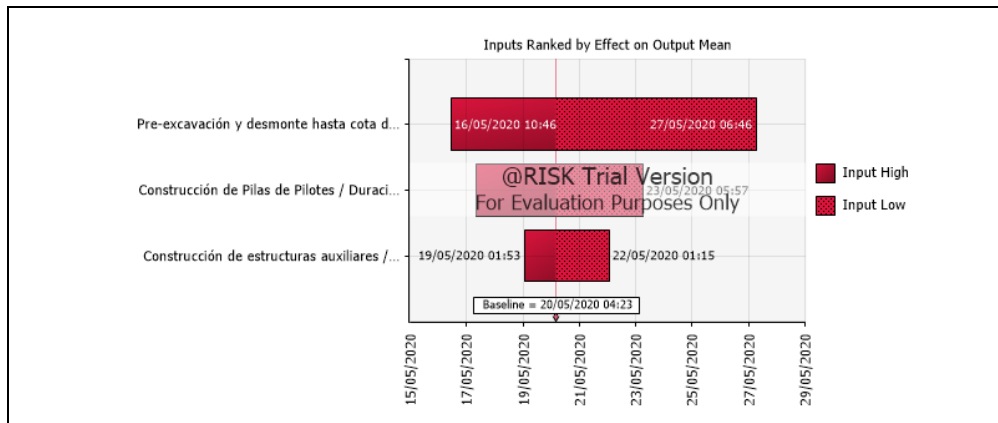
Relación directa con las actividades:

- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Construcción de estructuras auxiliares”

Tabla N° 49: Actividad "G"

Fuente: Elaboración Propia





Gráfica de araña a la derecha y de tornado a la izquierda que muestra el impacto de algunas actividades sobre la actividad en estudio: “Construcción de Pilas de Pilotes”

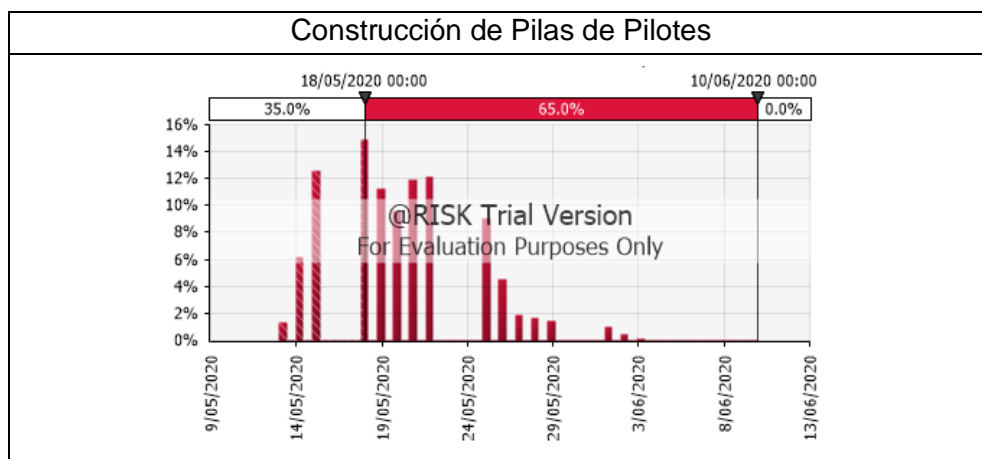
Tabla N° 50: Coeficientes de actividad "G"

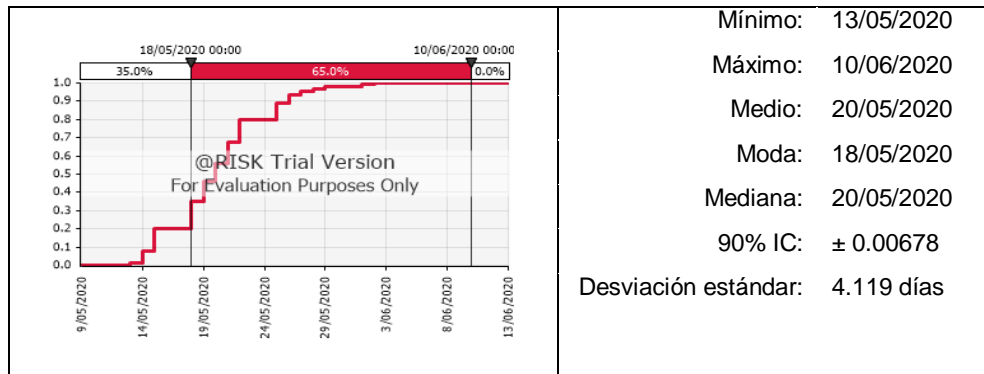
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación
<b>Construcción de Pilas de Pilotes</b>	0.43	0.40
Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma de trabajo	0.81	0.81
Construcción de estructuras auxiliares	0.22	0.23

Tabla N° 51: Salida actividad "G"

Fuente: Elaboración Propia





Existe un 65.0% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; la actividad a monitorear es la “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo” con un coeficiente de regresión de 0.81 y una contribución de la varianza de 66.2%.

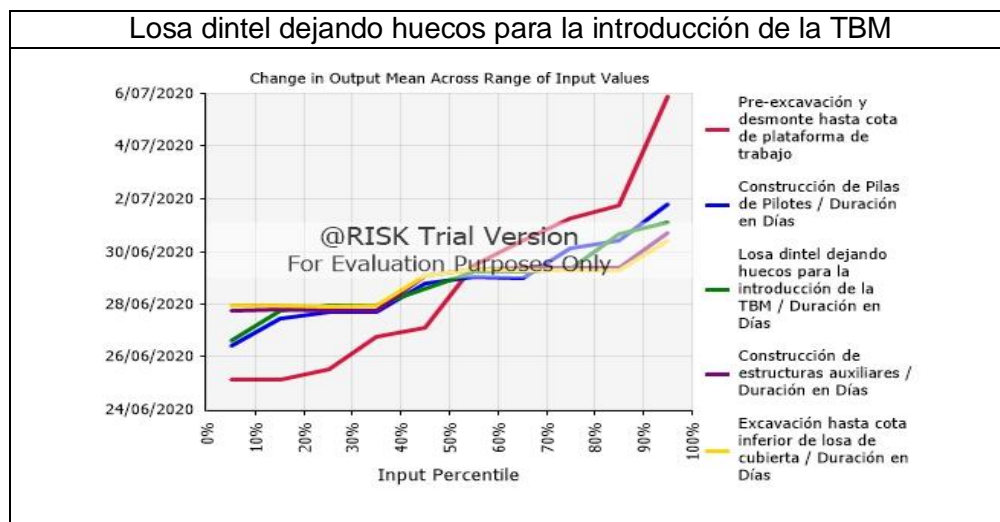
**ACTIVIDAD “H”:** “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”

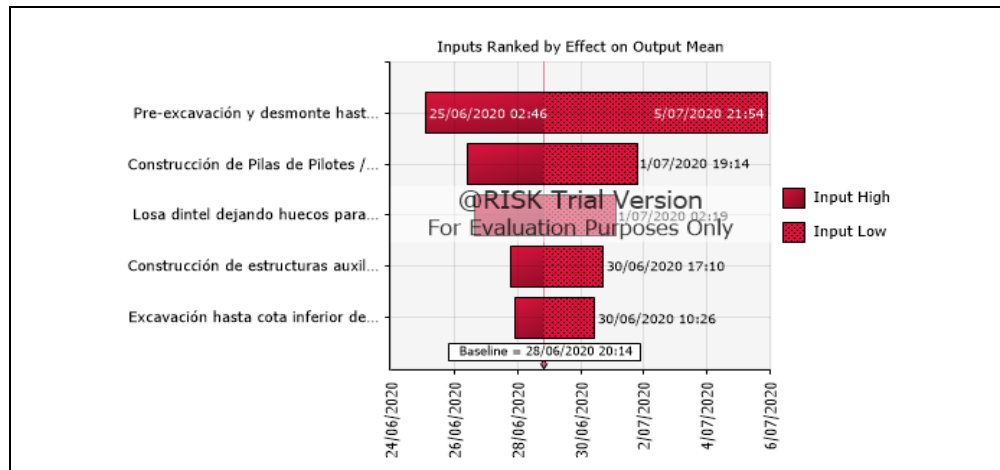
Relación directa con las actividades:

- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”

Tabla N° 52: Actividad "H"

Fuente: Elaboración Propia





Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”

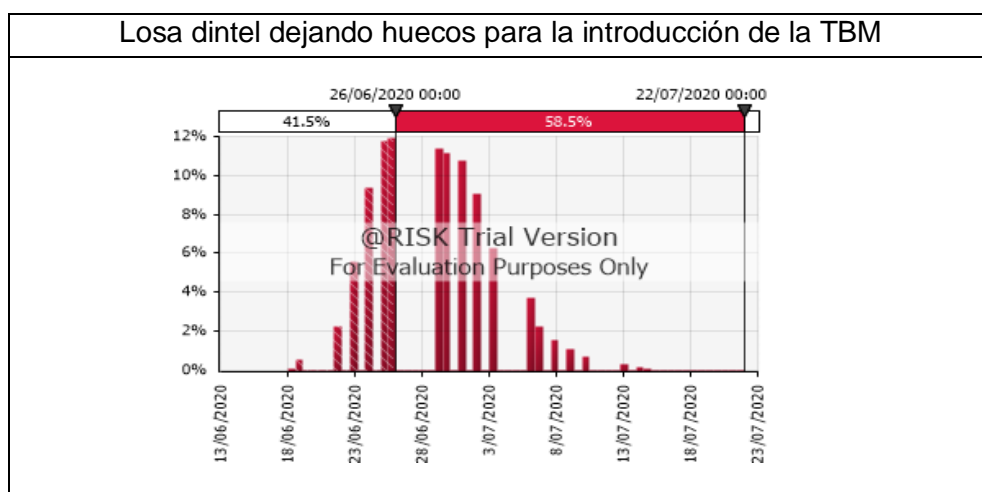
Tabla N° 53: Correlación actividad "H"

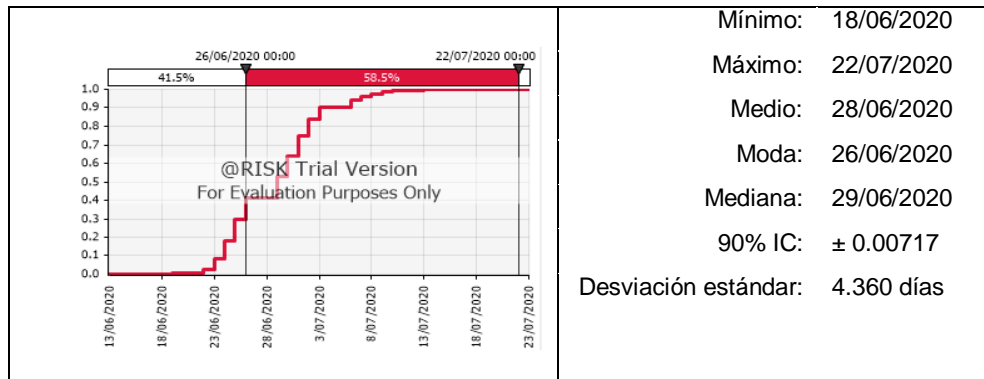
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación
<b>Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM</b>	0.29	0.30
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.78	0.76
Construcción de Pilas de Pilotes	0.35	0.35
Construcción de estructuras auxiliares	0.21	0.21
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.17	0.18

Tabla N° 54: Salida actividad "H"

Fuente: Elaboración Propia





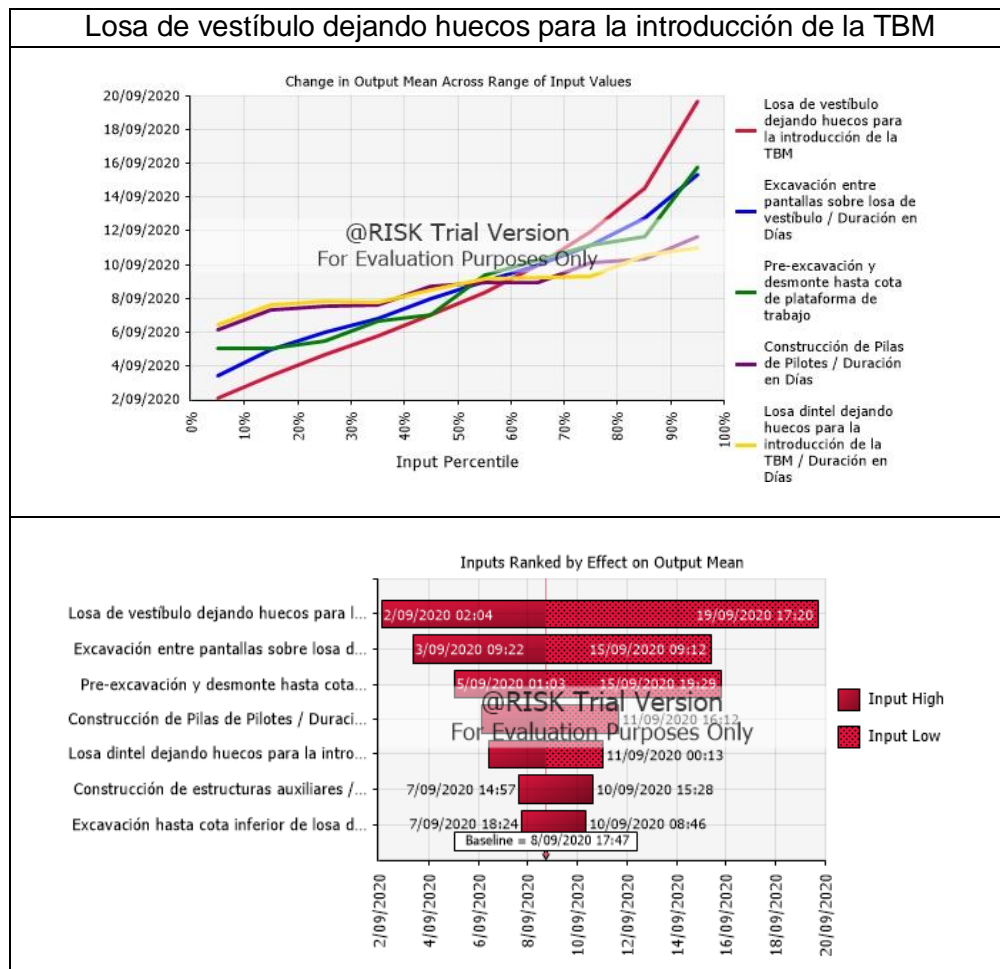
Existe un 58.5% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; la actividad a monitorear es la “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo” con un coeficiente de regresión de 0.78 y una contribución de la varianza de 60.3%. Que es la misma actividad a monitorear en la actividad “G”.

**ACTIVIDAD “I”:** “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”

Relación directa con las actividades:

- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”

Tabla N° 55: Actividad "I"  
Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Losas de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”

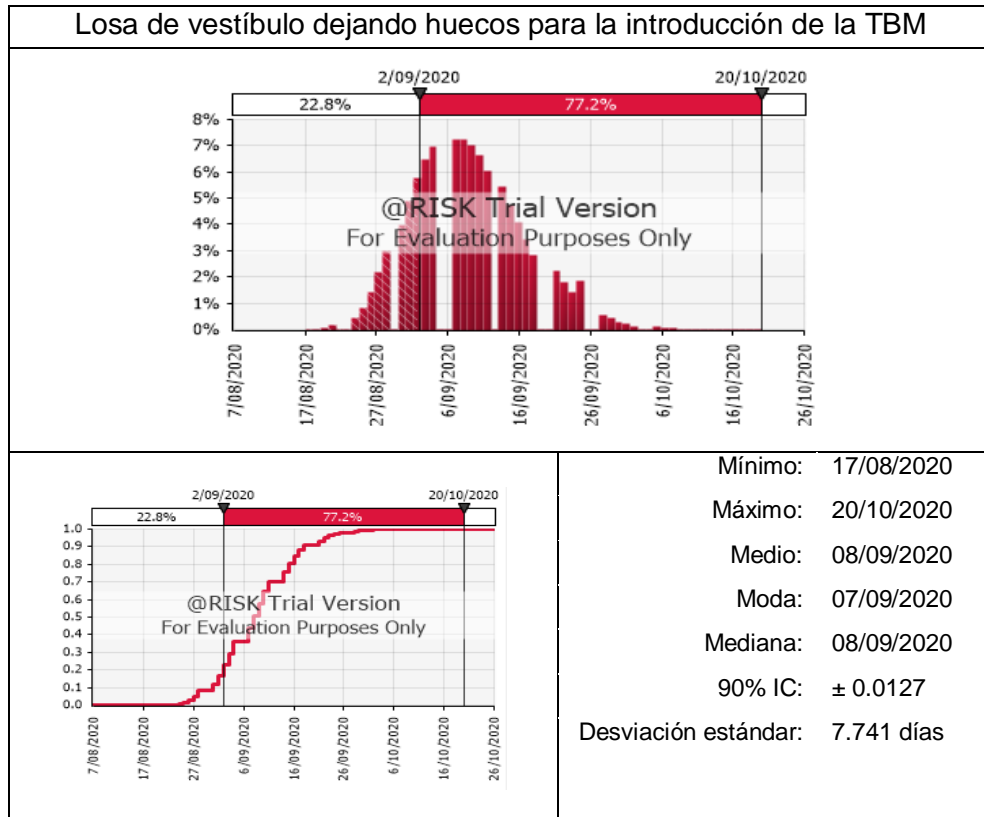
Tabla N° 56: Coeficientes actividad "I"  
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Losas de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM</b>	0.68	0.65
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.44	0.42
Construcción de Pilas de Pilotes	0.20	0.19
Construcción de estructuras auxiliares	0.12	0.11
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.10	0.10
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.46	0.45

ACTIVIDAD	Coficiente de regresión	Coficiente de correlación
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.17	0.17

Tabla N° 57: Salida actividad "I"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 77.2% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; de debe monitorear la actividad en análisis que tiene una contribución de la varianza de 46.4%.

### ACTIVIDAD “J”: “Losa de fondo (TBM)”

Relación directa con las actividades:

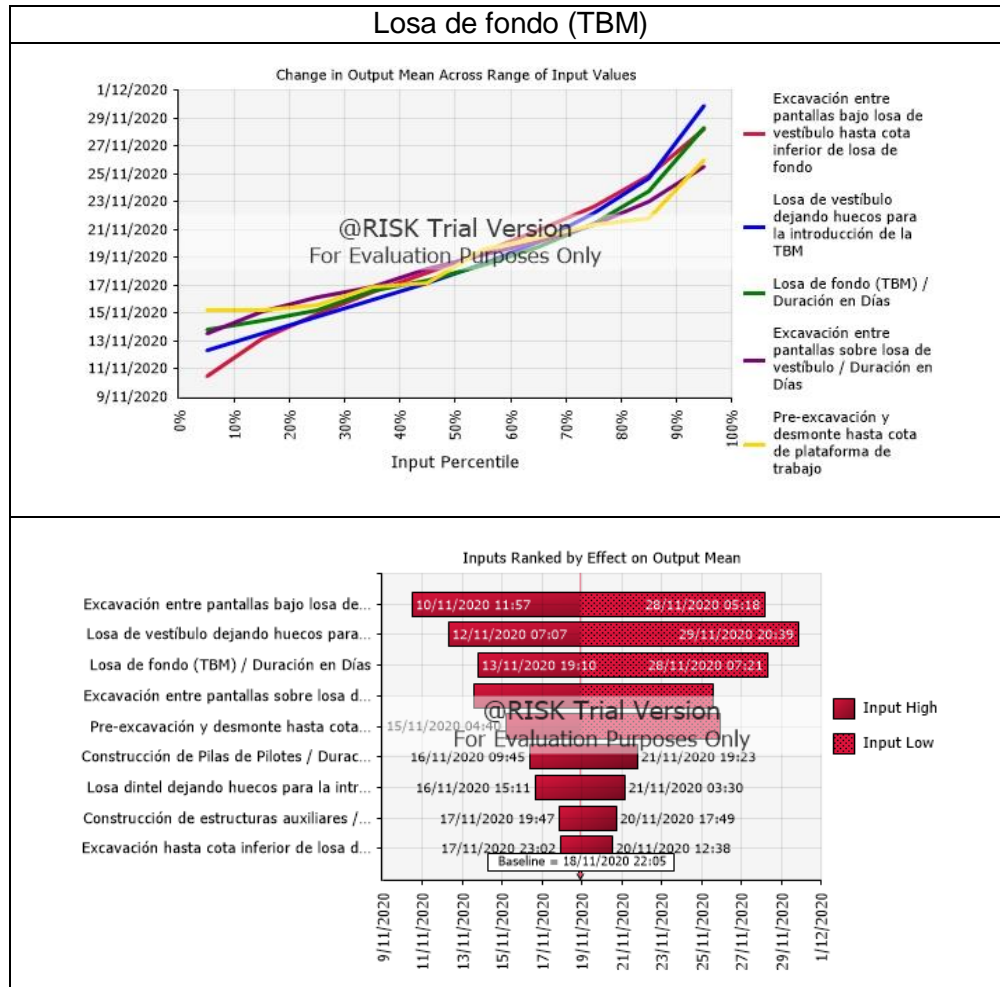
- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”



- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”

Tabla N° 58: Actividad "J"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Losa de fondo (TBM)”

Tabla N° 59: Coeficientes actividad "J"

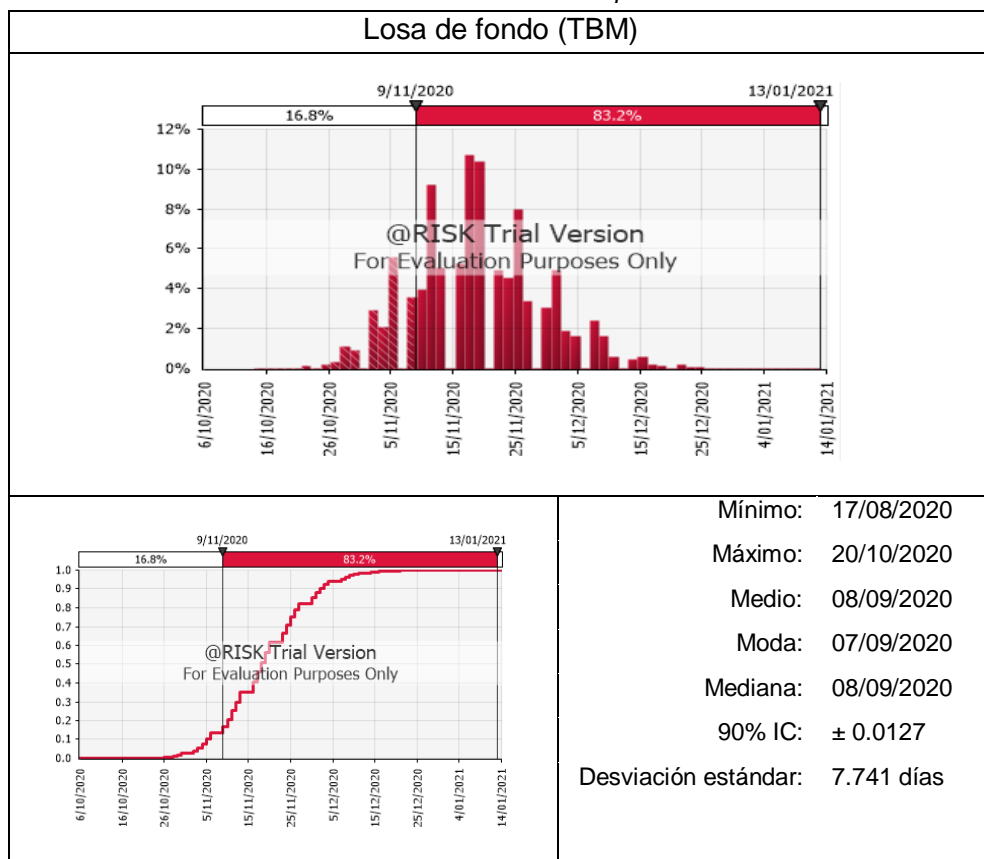
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación
<b>Losa de fondo (TBM)</b>	0.43	0.40
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.33	0.31
Construcción de Pilas de Pilotes	0.15	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.09	0.08

ACTIVIDAD	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.34	0.33
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.13	0.12
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.51	0.48
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.51	0.50

Tabla N° 60: Salida actividad "J"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 83.2% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; las actividades a monitorear son “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM” y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo” ambas con un coeficiente de regresión de 0.51 y una contribución de la varianza de 25.9% y 25.74% respectivamente.

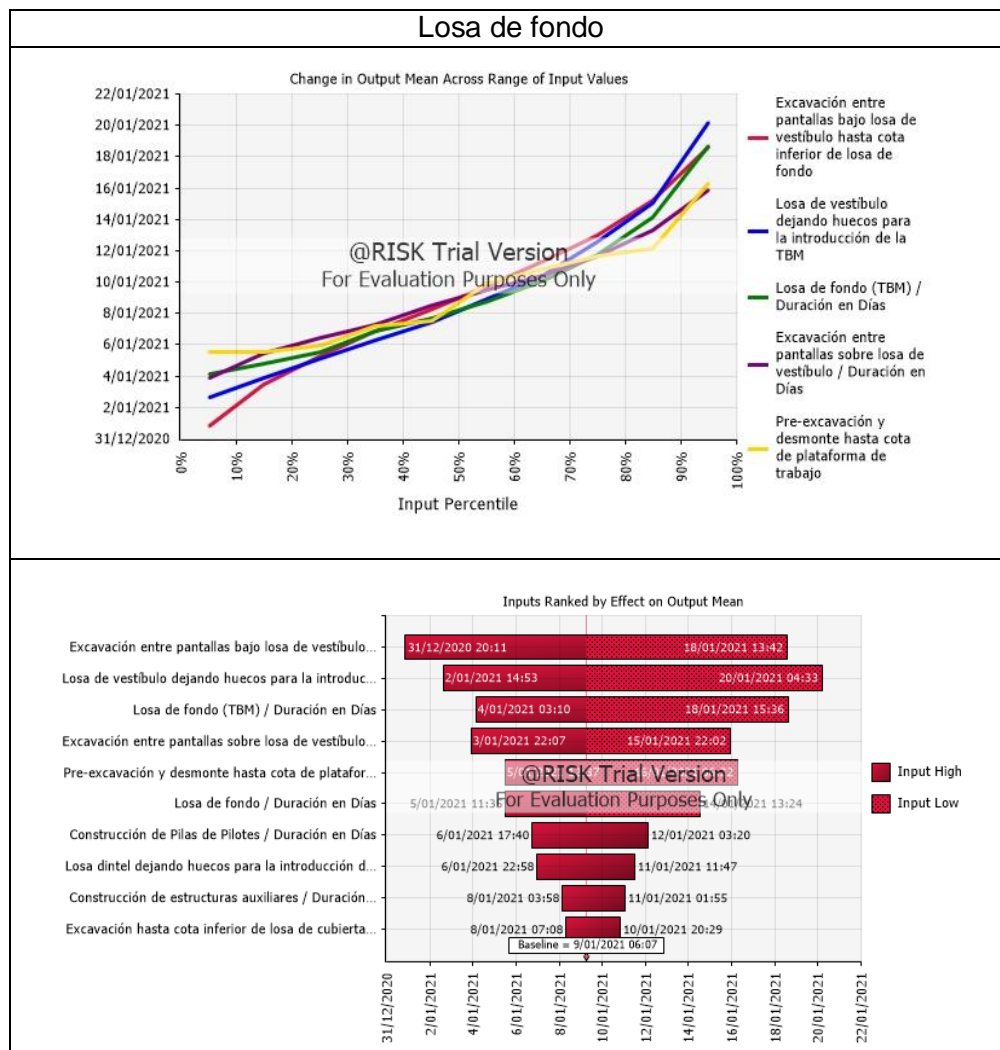
## ACTIVIDAD “K”: “Losas de fondo”

Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”

Tabla N° 61: Actividad "K"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Losa de fondo”

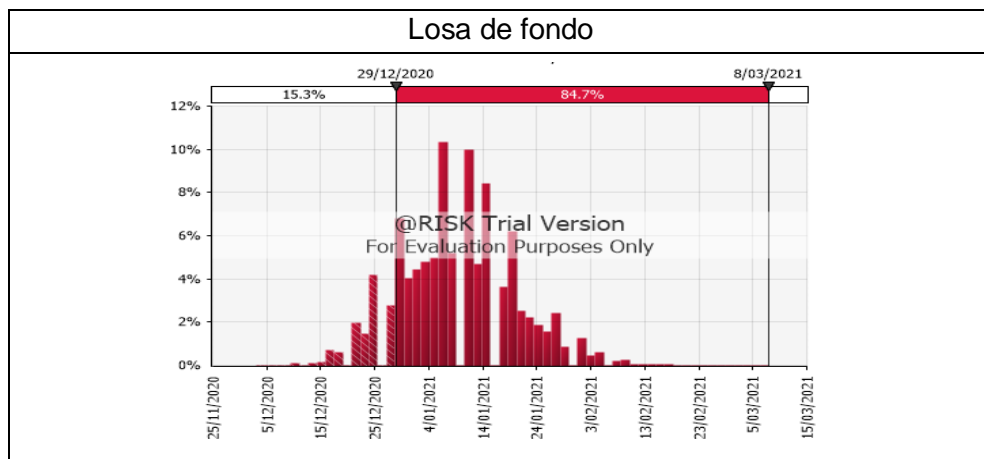
Tabla N° 62: Coeficientes actividad "K"

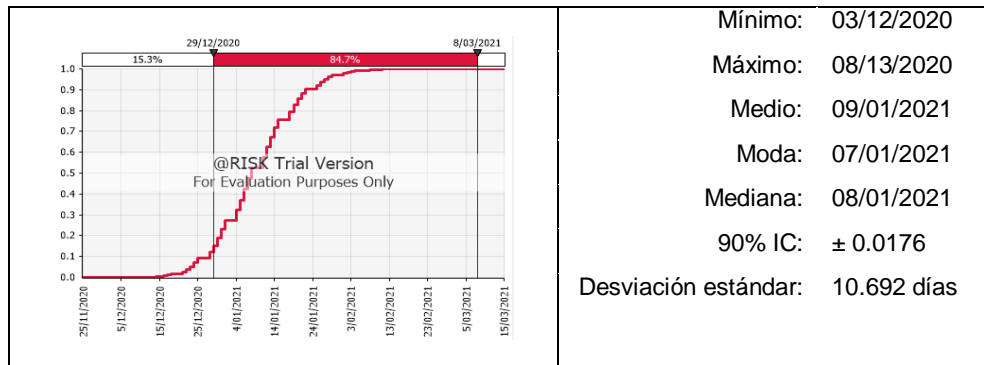
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Losa de fondo</b>	0.25	0.24
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.32	0.30
Construcción de Pilas de Pilotes	0.14	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.08	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.33	0.32
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.12	0.12
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.49	0.47
Losa de fondo (TBM)	0.41	0.38
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.49	0.48

Tabla N° 63: Salida actividad "K"

Fuente: Elaboración Propia





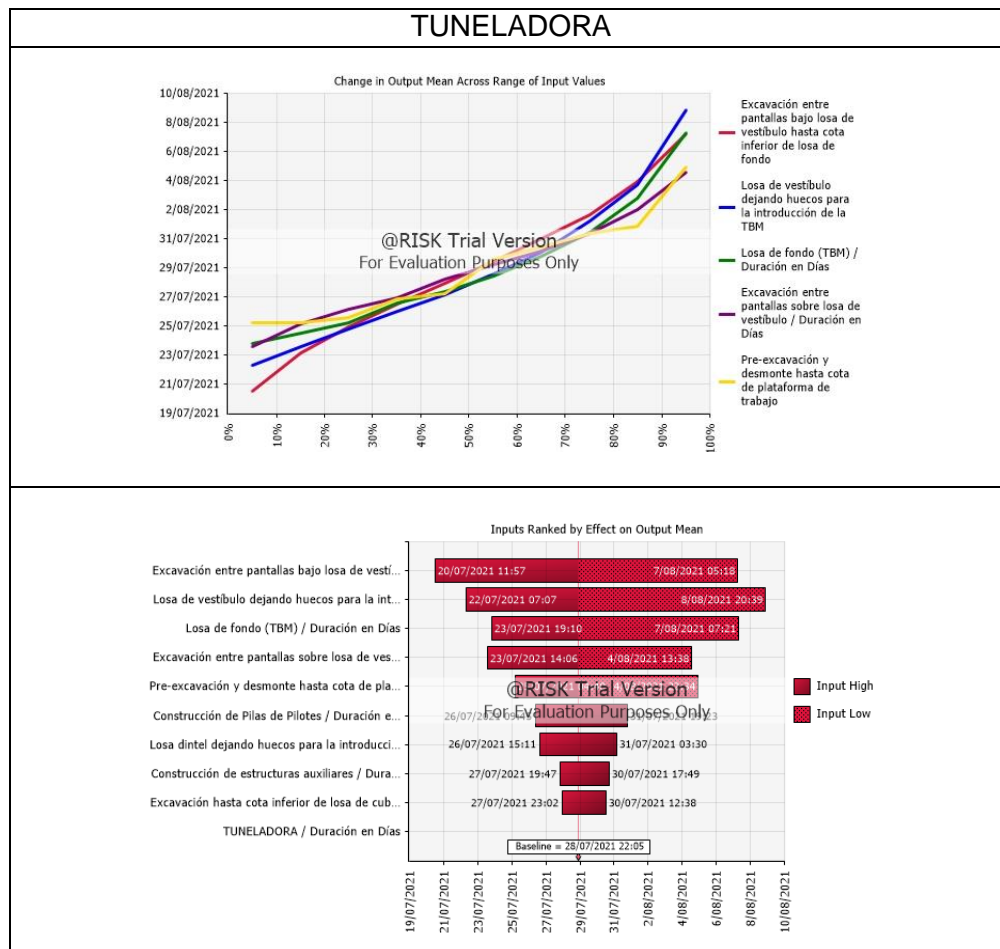
Existe un 84.7% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; se recomienda monitorear todas las actividades relacionadas priorizando las actividades “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM” y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo” ambas que también debe ser monitoreadas en la actividad “J”.

### ACTIVIDAD “L”: “TUNELADORA”

Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”

Tabla N° 64: Actividad "L"  
Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: "TUNELADORA"

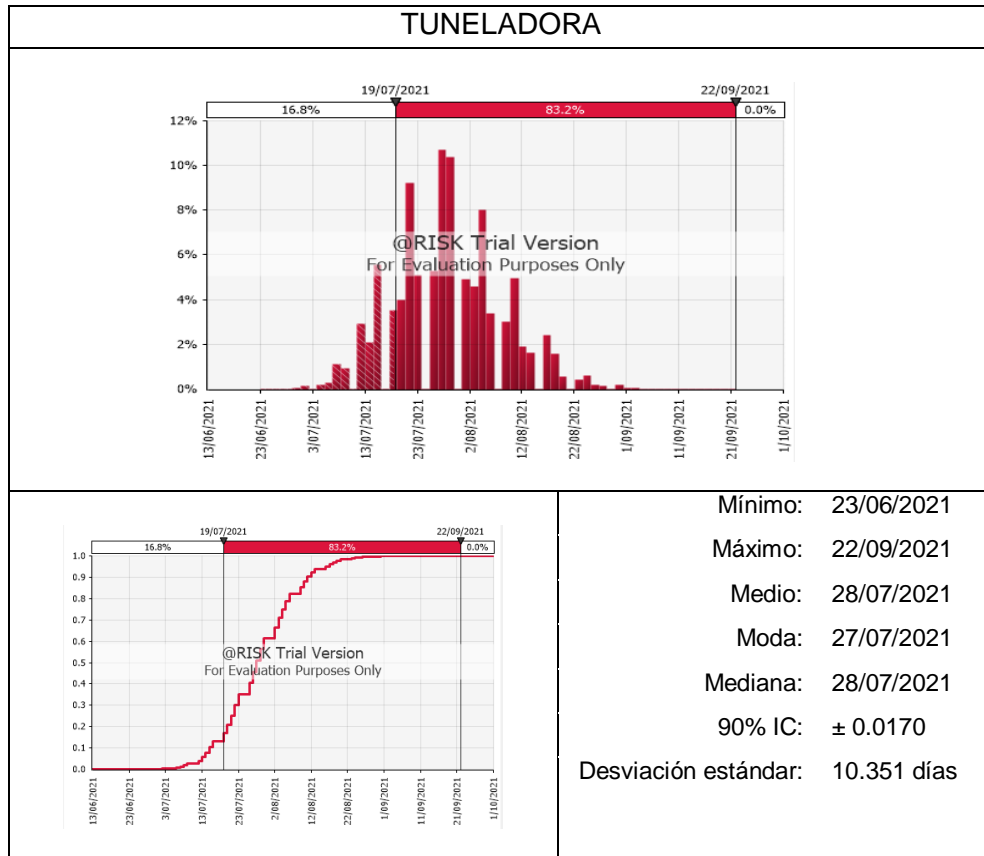
Tabla N° 65: Coeficiente actividad "L"  
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.33	0.31
Construcción de Pilas de Pilotes	0.15	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.09	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.34	0.33
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.13	0.12

ACTIVIDAD	Coficiente de regresión	Coficiente de correlación
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.51	0.48
Losa de fondo (TBM)	0.43	0.40
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.51	0.50

Tabla N° 66: Salida actividad "L"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 83.2% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; se recomienda monitorear todas las actividades relacionadas priorizando las actividades “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM” y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo” ambas que también debe ser monitoreadas en la actividad “J” y “K”.

Como particularidad frente a las otras actividades antes mencionadas es que la actividad “TUNELADORA” no guarda grado de dependencia ni de relación con sí misma, depende de las actividades que la preceden y que se requieren para iniciar, así como el tipo de TBM a emplear y las características de avance de su

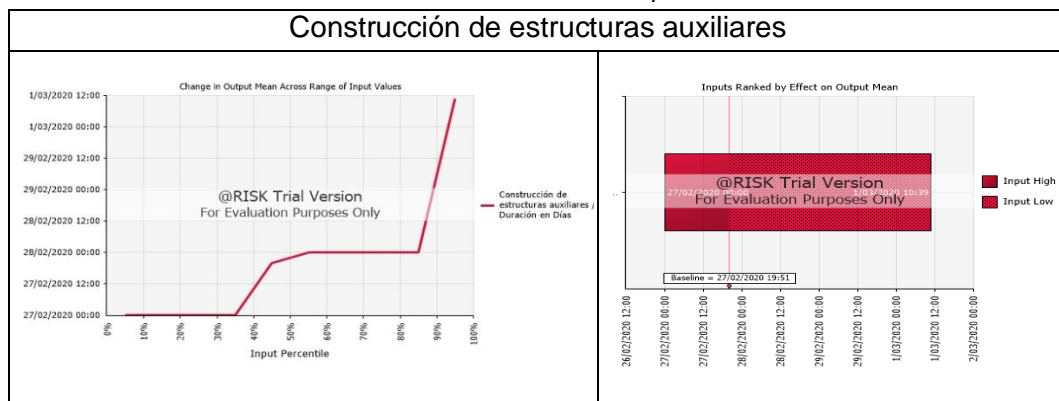
ficha técnica pues de ello depende la estimación de tiempos tanto optimista, más probable y pesimista que ya poseen la incertidumbre identificada por el proveedor; las estimaciones de tiempo en proyectos futuros puede tomar como antecedente los ratios registrados en la Línea 2 del Metro de Lima, si usa la misma TBM.

### ACTIVIDAD “M”: “Construcción de estructuras auxiliares”

Al ser la actividad de arranque del cronograma, muchas actividades tienen grado de dependencia y de relación con ella, pero la actividad en sí no presenta más que la de ella misma:

Tabla N° 67: Actividad "M"

Fuente: Elaboración Propia



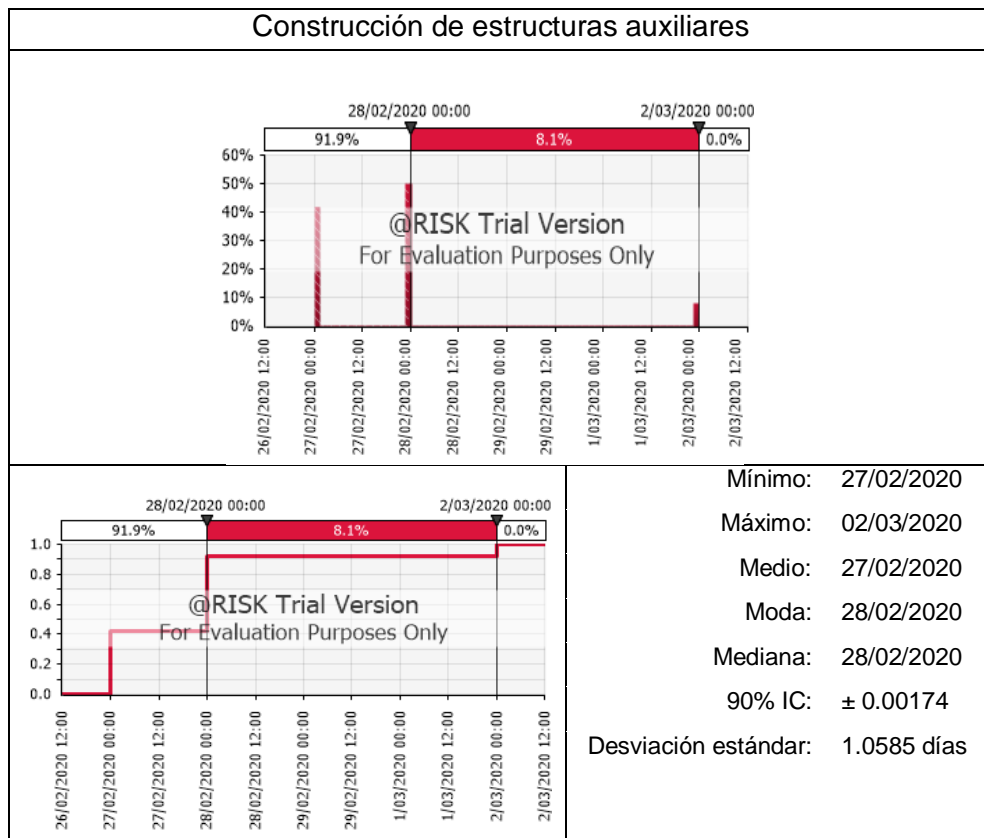
Gráfica de araña a la derecha y de tornado a la izquierda que muestra la actividad: “construcción de estructuras auxiliares”

El coeficiente de regresión de la actividad es de 0.82, el de correlación de 0.89, con una contribución de la varianza de 6.1%.



Tabla N° 68: Salida actividad "M"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 8.1% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; se recomienda monitorearla, aunque la probabilidad de exceder la fecha de finalización sea baja su importancia es ser la predecesora de las actividades del cronograma.

#### **ACTIVIDAD "N": "Relleno sobre cubierta hasta nivel de superficie"**

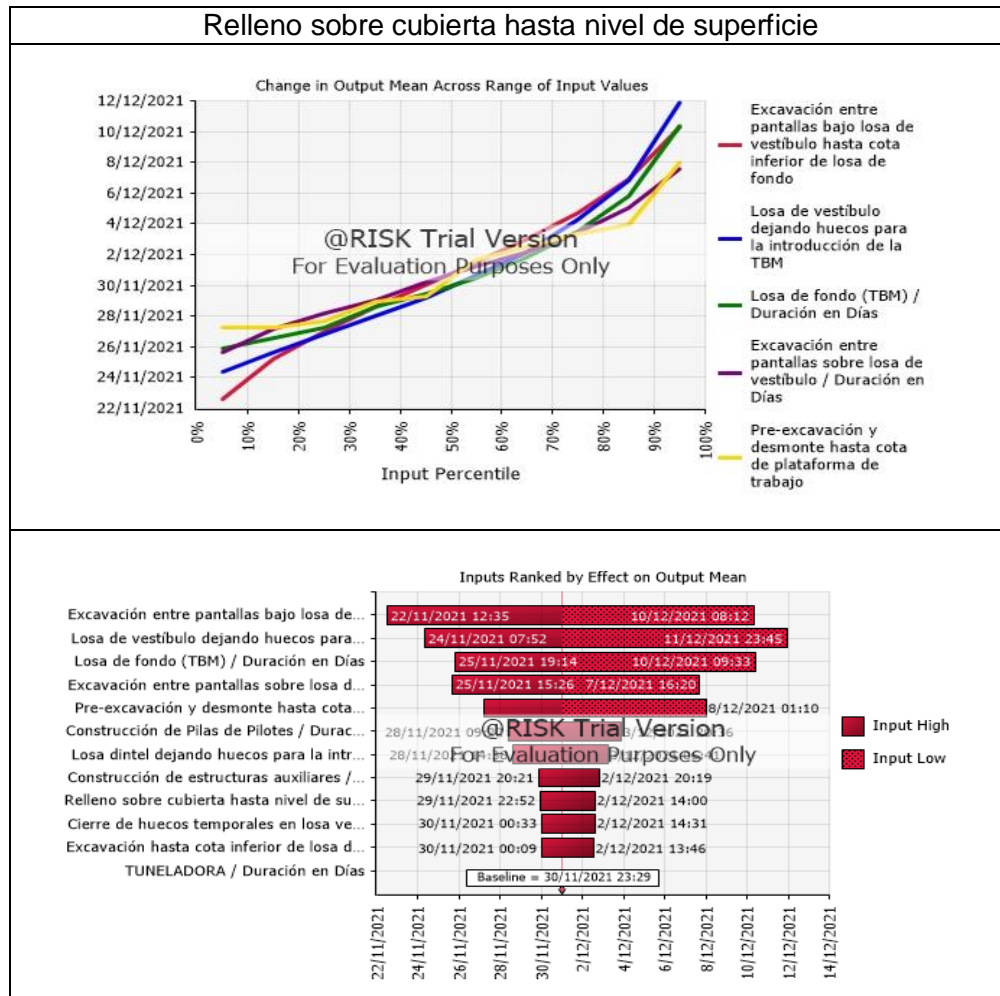
Relación directa con las actividades:

- "Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo"
- "Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM"
- "Losa de fondo (TBM)"
- "Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo"
- "Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo"
- "Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta"
- "Construcción de Pilas de Pilotes"
- "Construcción de estructuras auxiliares"
- "Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM"
- "Cierre de huecos temporales en losa vestíbulo"

- "TUNELADORA"

Tabla N° 69: Actividad "N"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: "Relleno sobre cubierta hasta nivel de superficie"

Tabla N° 70: Coeficientes actividad "N"

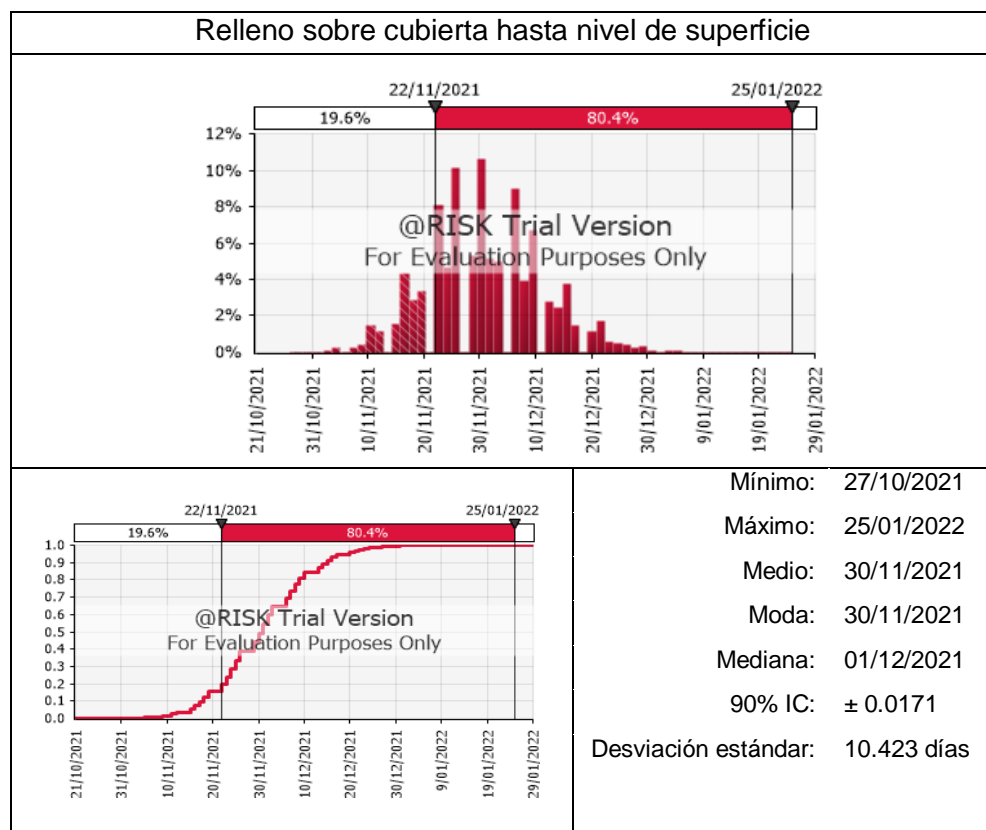
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Relleno sobre cubierta hasta nivel de superficie</b>	0.07	0.07
Construcción de Pilas de Pilotes	0.15	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.09	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07

ACTIVIDAD	Coficiente de regresión	Coficiente de correlación
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.34	0.33
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.13	0.12
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.51	0.48
Losa de fondo (TBM)	0.42	0.39
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.50	0.50
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.32	0.31
Cierre de huecos temporales en losa vestíbulo	0.07	0.07

Tabla N° 71: Salida actividad "N"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 80.4% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; se recomienda monitorear todas las actividades relacionadas priorizando las actividades “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM” y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior

de losa de fondo” ambas que también se recomiendan como prioridad a ser monitoreadas en otras actividades.

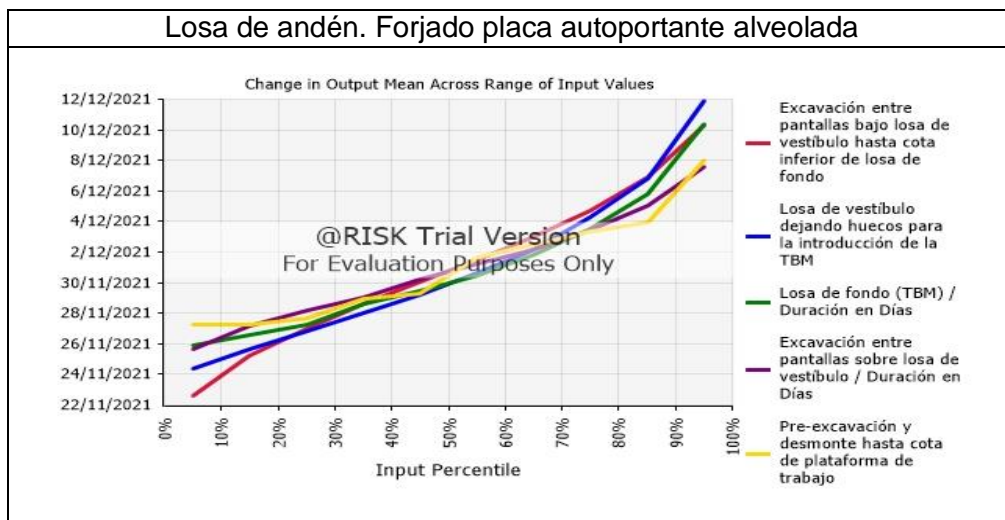
**ACTIVIDAD “O”:** “Losa de andén. Forjado placa autoportante alveolada”

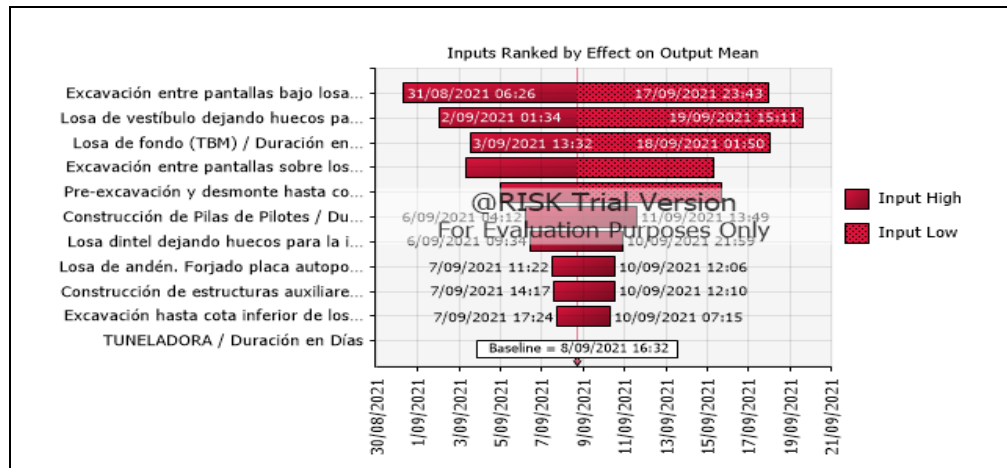
Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “TUNELADORA”

Tabla N° 72: Actividad "O"

Fuente: Elaboración Propia





Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Losa de andén. Forjado placa autoportante alveolada”.

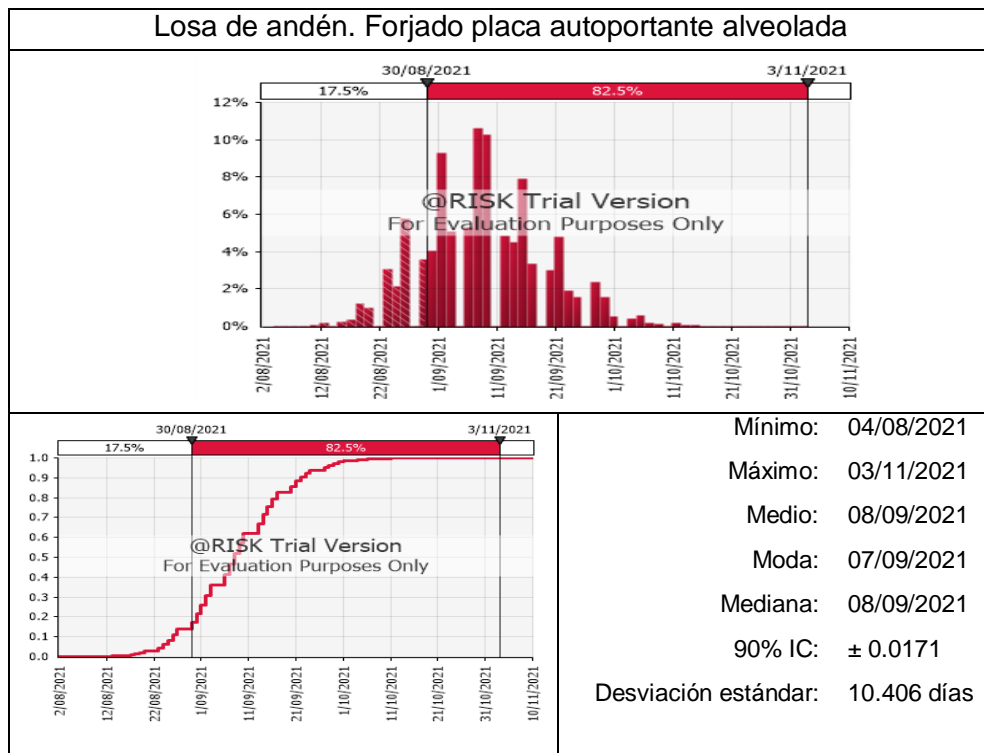
Tabla N° 73: Coeficientes actividad "O"

Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Losa de andén. Forjado placa autoportante alveolada</b>	0.09	0.09
Construcción de Pilas de Pilotes	0.15	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.09	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.34	0.33
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.13	0.12
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.51	0.48
Losa de fondo (TBM)	0.42	0.39
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.50	0.50
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.32	0.31

Tabla N° 74: Salida actividad "O"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 82.5% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; se recomienda monitorear todas las actividades relacionadas priorizando las actividades “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM” y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”.

### ACTIVIDAD “P”: “Escaleras y muros”

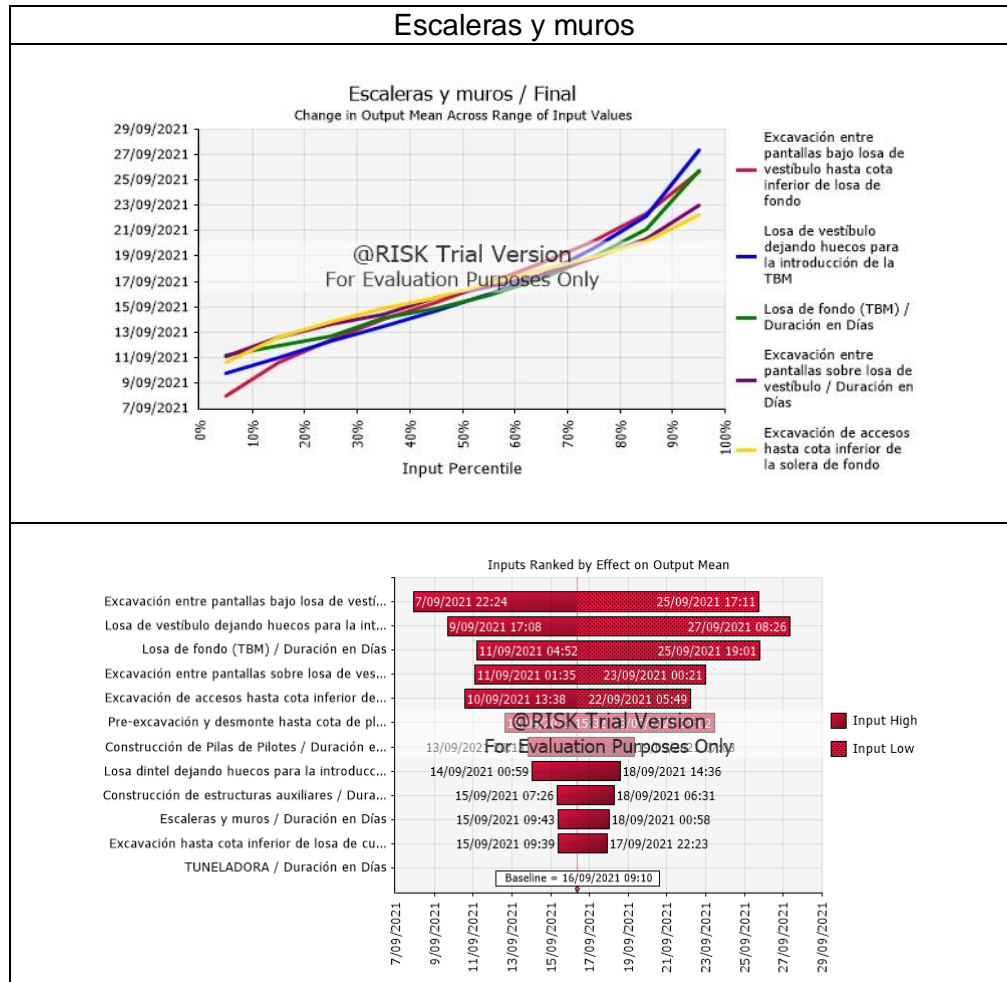
Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”

- “TUNELADORA”
- “Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo”

Tabla N° 75: Actividad "P"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Escaleras y muros”.

Tabla N° 76: Coeficientes actividad "P"

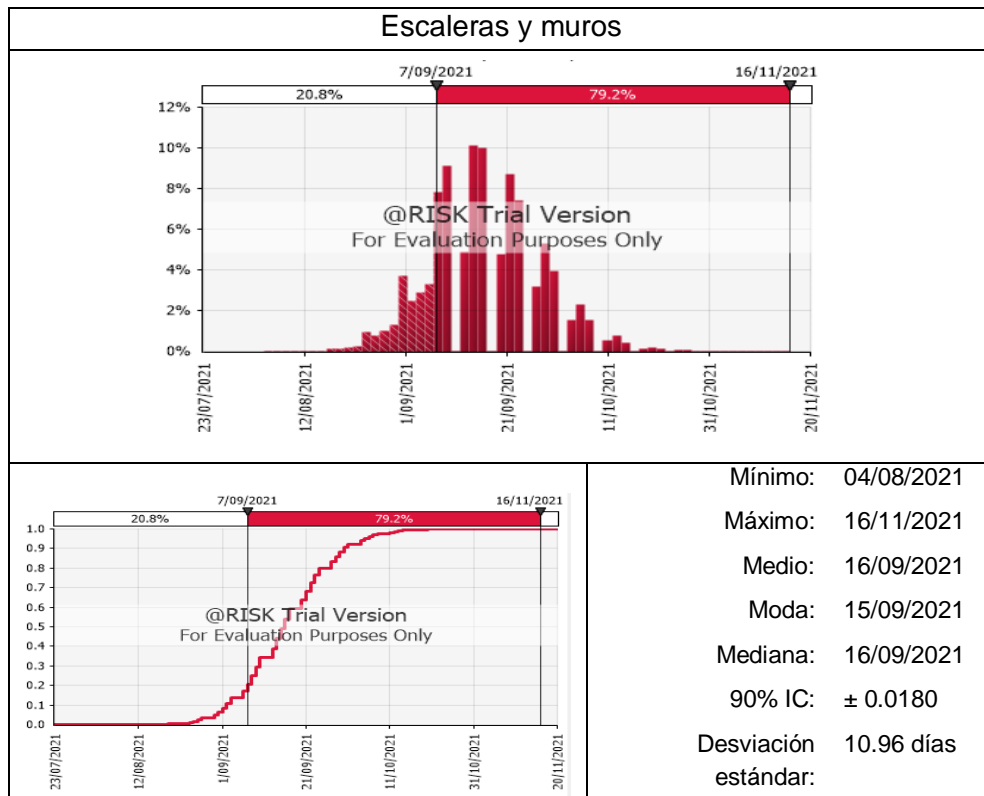
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Escalera y muros</b>	0.07	0.07
Construcción de Pilas de Pilotes	0.14	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.08	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.32	0.31

ACTIVIDAD	Coficiente de regresión	Coficiente de correlación
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.12	0.12
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.48	0.45
Losa de fondo (TBM)	0.40	0.37
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.48	0.47
Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma de trabajo	0.31	0.29
Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo	0.31	0.31

Tabla N° 77: Salida actividad "P"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 79.2% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; se recomienda monitorear todas las actividades relacionadas priorizando las actividades “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM” y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo” ambas que también se recomiendan como prioridad a ser monitoreadas en otras actividades.



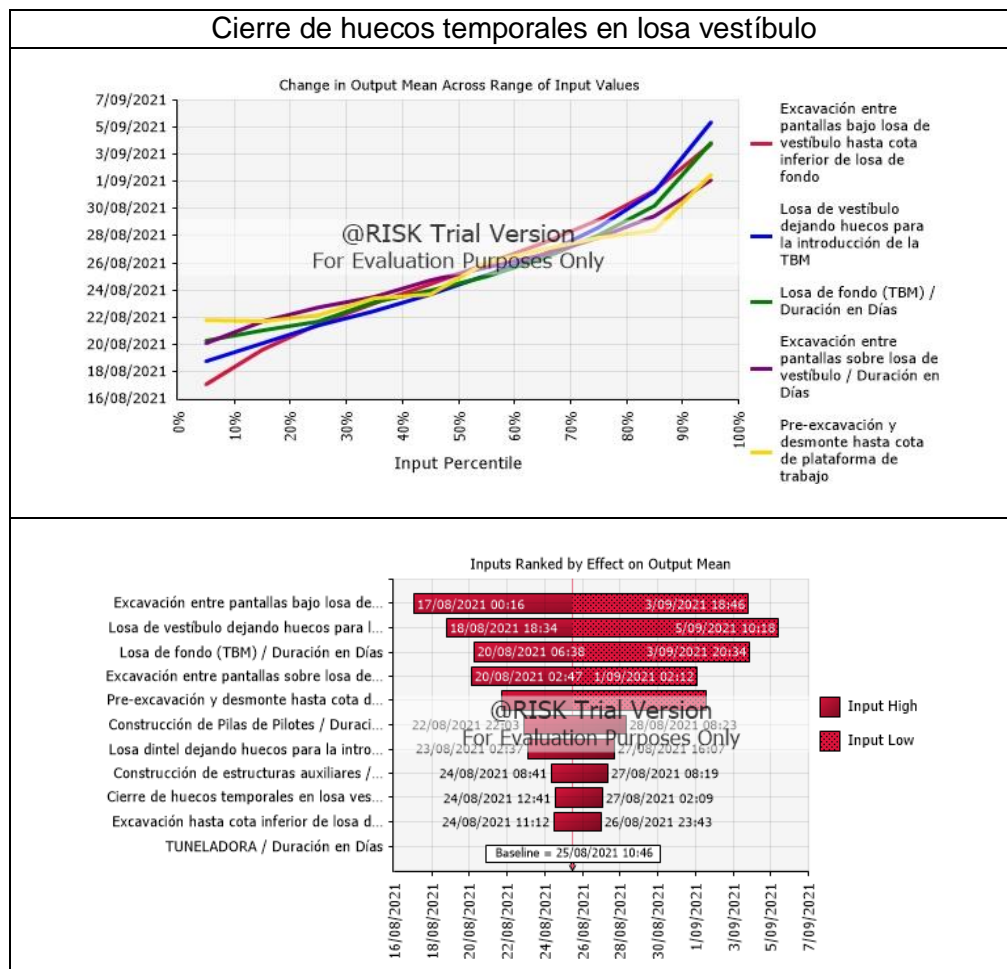
## ACTIVIDAD “Q”: “Cierre de huecos temporales en losa vestíbulo”

Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “TUNELADORA”

Tabla N° 78: Actividad “Q”

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: "Cierre de huecos temporales en losa de vestíbulo".

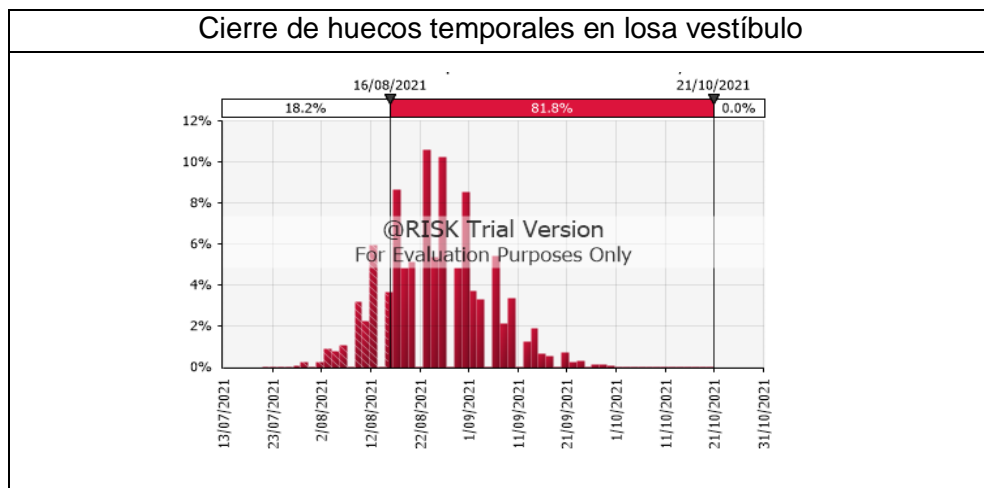
Tabla N° 79: Coeficientes actividad "Q"

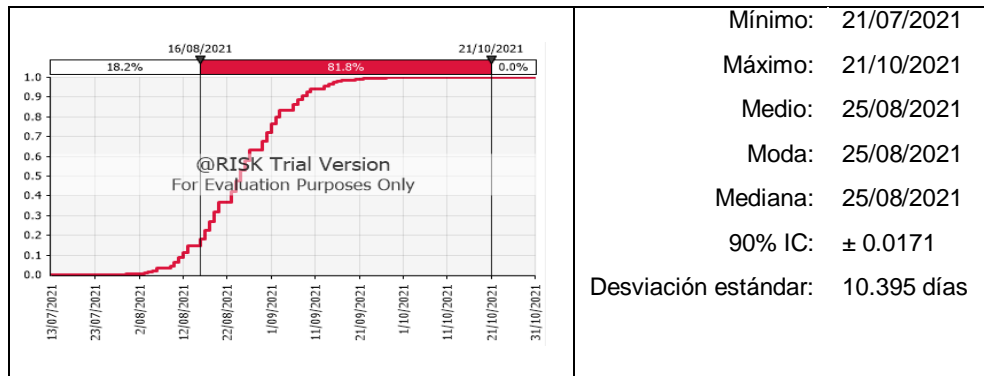
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Cierre de huecos temporales en losa de vestíbulo</b>	0.07	0.07
Construcción de Pilas de Pilotes	0.15	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.09	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.34	0.33
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.13	0.12
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.51	0.48
Losa de fondo (TBM)	0.42	0.39
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.50	0.50
Pre-excavación y desmante hasta cota de plataforma de trabajo	0.32	0.32

Tabla N° 80: Salida actividad "Q"

Fuente: Elaboración Propia





Existe un 81.8% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; se recomienda monitorear todas las actividades relacionadas priorizando “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM “y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo” ambas recomendadas de monitorear también en otras actividades.

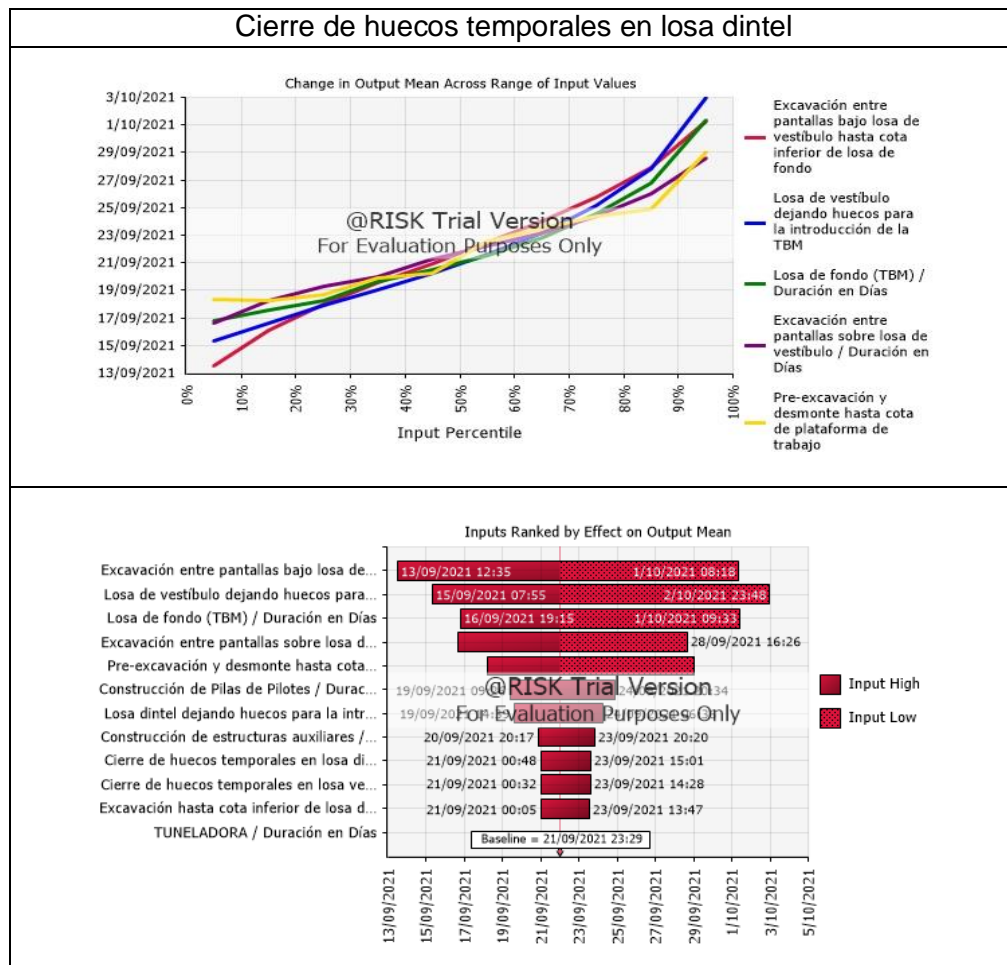
#### **ACTIVIDAD “R”:** “Cierre de huecos temporales en losa dintel”

Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “TUNELADORA”
- “Cierre de huecos temporales en losa de vestíbulo”

Tabla N° 81: Actividad "R"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: "Cierre de huecos temporales en losa dintel".

Tabla N° 82: Coeficientes actividad "R"

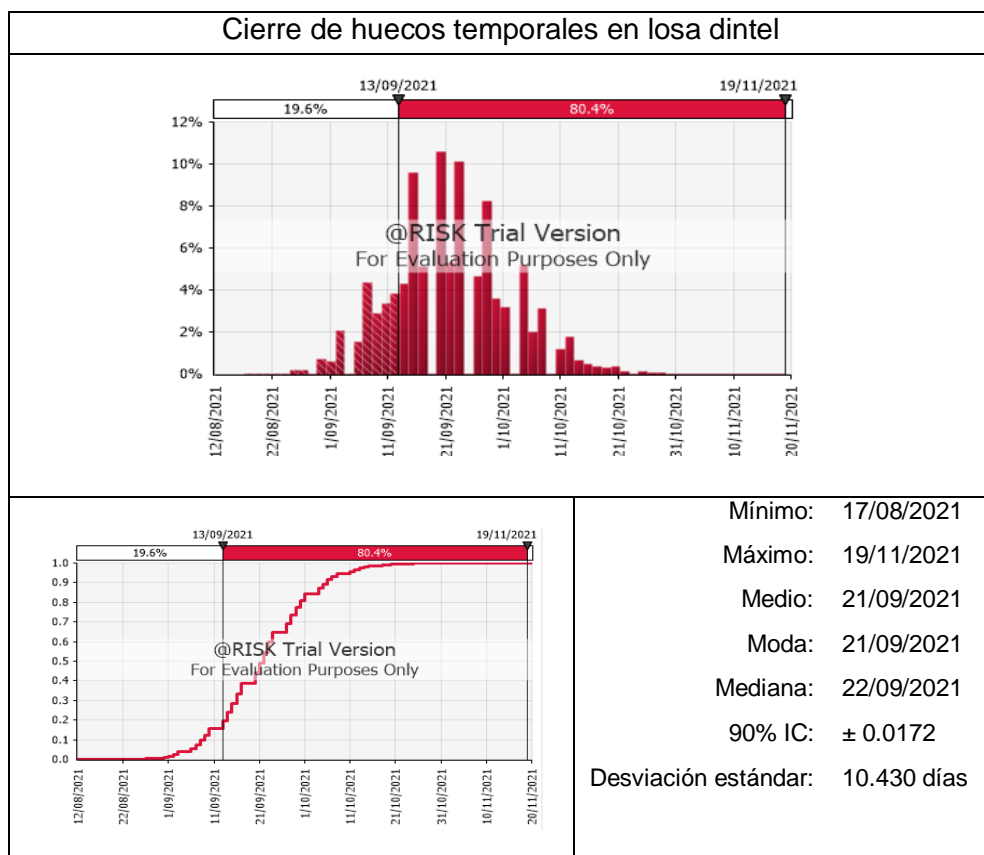
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Cierre de huecos temporales en losa dintel</b>	0.07	0.07
Construcción de Pilas de Pilotes	0.15	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.09	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.34	0.33
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.13	0.12

ACTIVIDAD	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.51	0.48
Losa de fondo (TBM)	0.42	0.39
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.50	0.50
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.32	0.32
Cierre de huecos temporales en losa de vestíbulo	0.07	0.07

Tabla N° 83: Salida de la actividad "R"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 80.4% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; se recomienda monitorear las actividades como en la actividad “cierre de huecos temporales en losa de vestíbulo”.

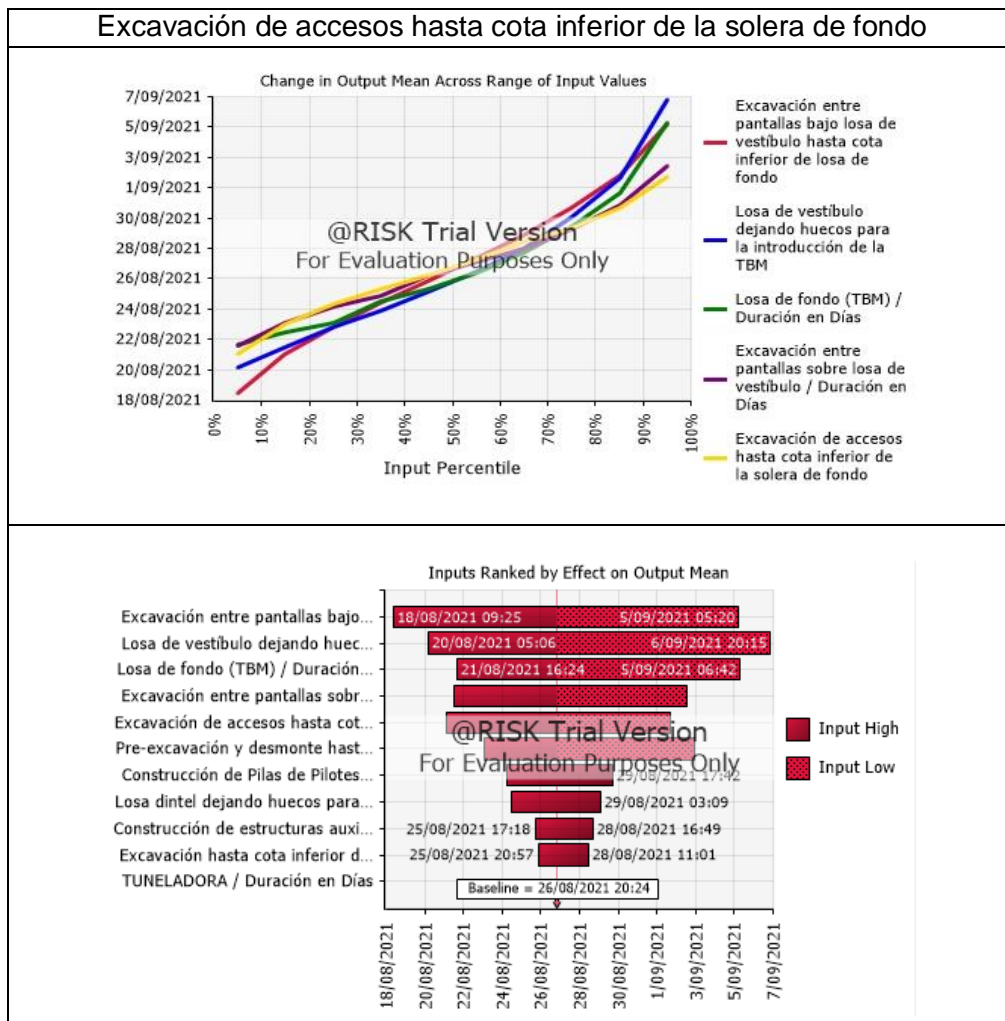
**ACTIVIDAD “S”:** “Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo”

Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “TUNELADORA”

Tabla N° 84: Actividad "S"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio:  
“Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo”

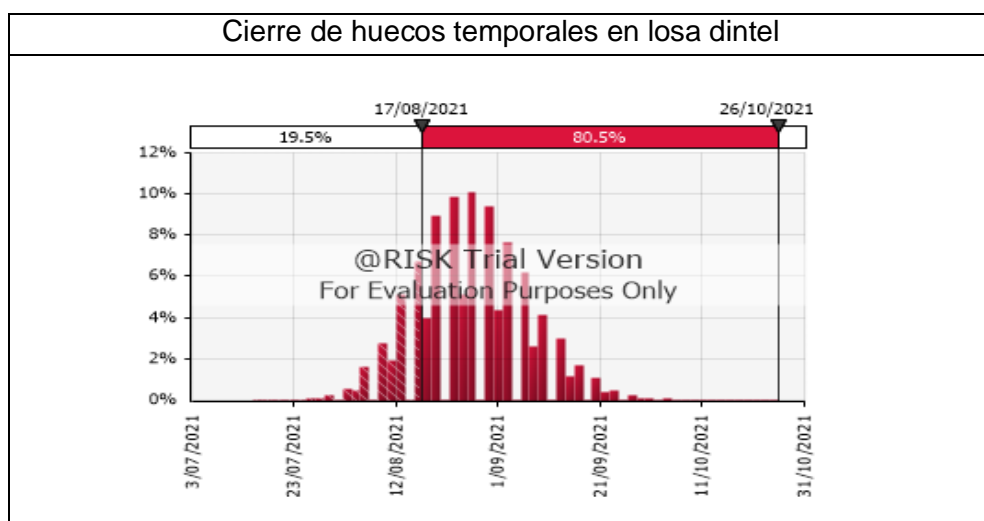
Tabla N° 85: Coeficientes actividad "S"

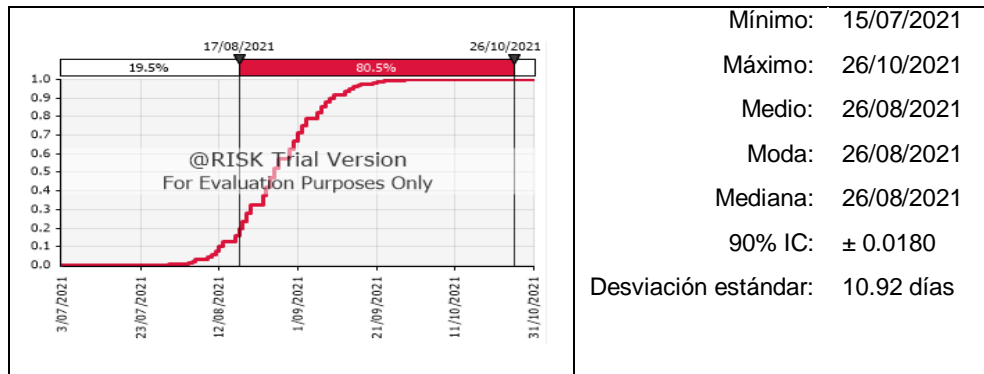
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación
<b>Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo</b>	0.31	0.31
Construcción de Pilas de Pilotes	0.14	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.08	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.32	0.32
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.12	0.12
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.48	0.46
Losa de fondo (TBM)	0.40	0.38
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.48	0.47
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.31	0.29

Tabla N° 86: Salida actividad "S"

Fuente: Elaboración Propia





Existe un 80.5% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; donde reinciden el monitoreo de las actividades: “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM “y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”

#### **ACTIVIDAD “T”:** “Vaciado de solera de accesos”

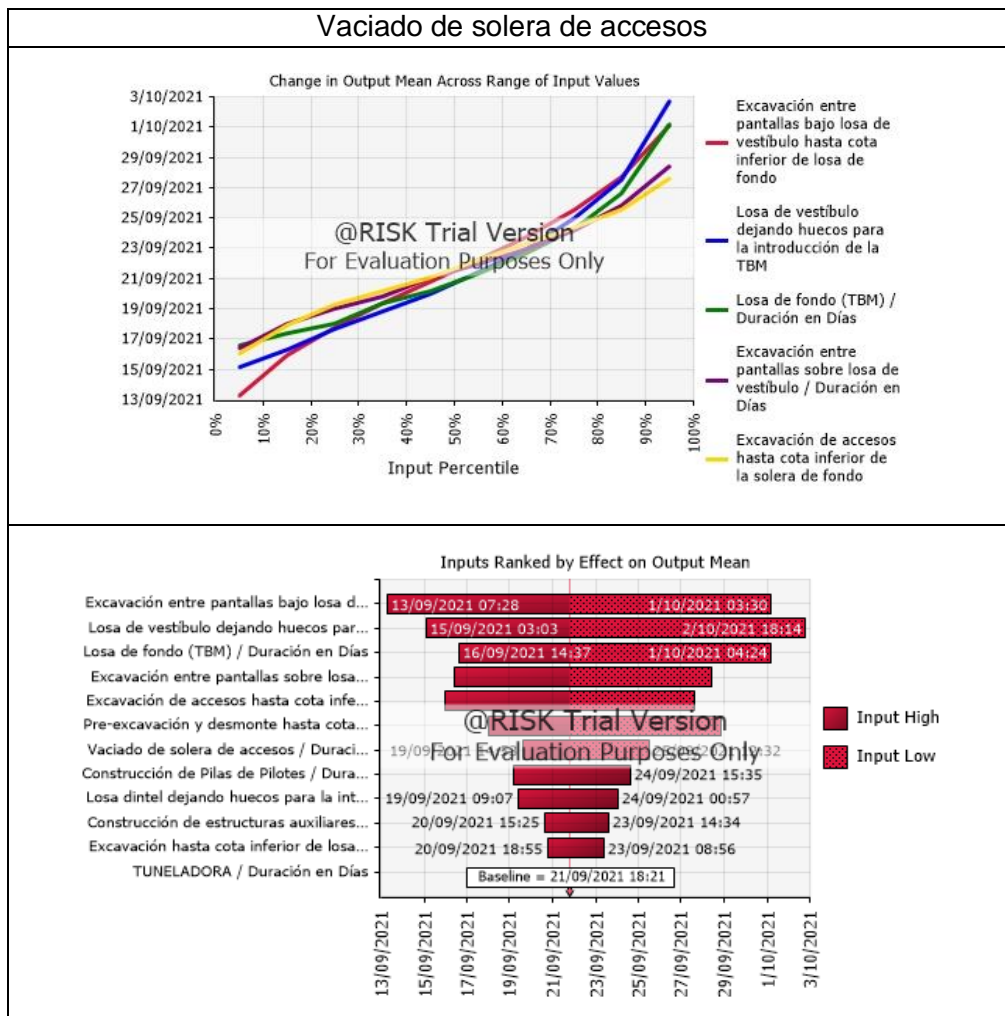
Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “TUNELADORA”
- “Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo”



Tabla N° 87: Actividad "T"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: "Vaciado de solera de accesos"

Tabla N° 88: Coeficientes actividad "T"

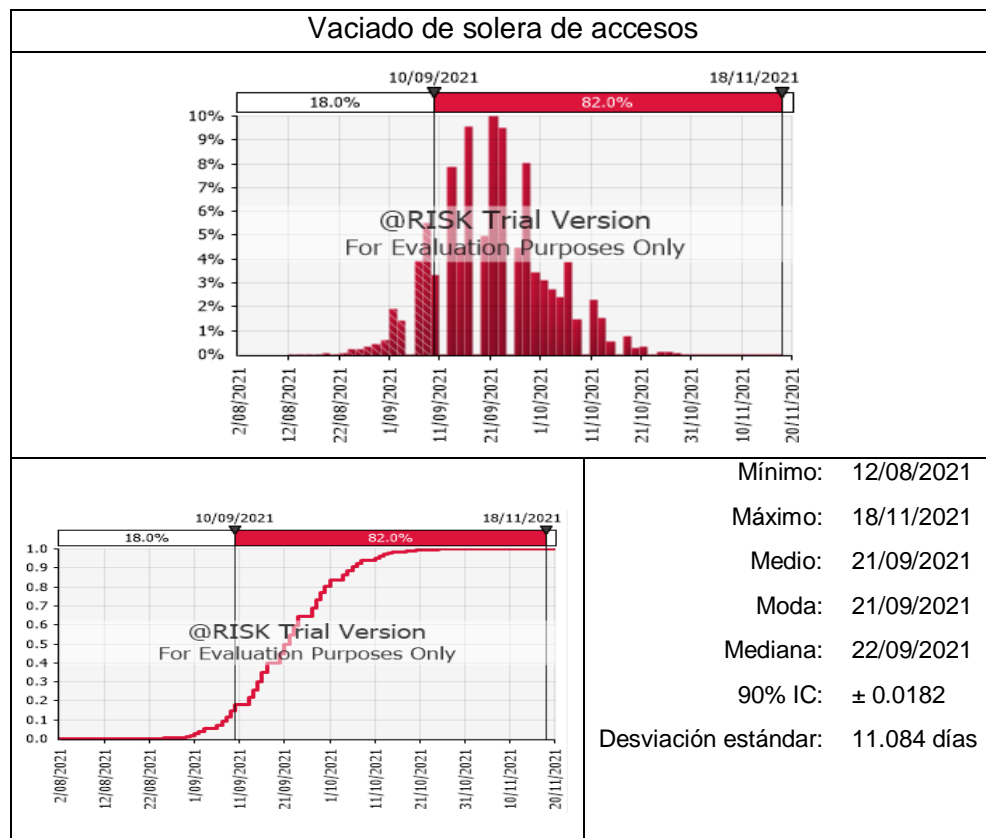
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Vaciado de solera de accesos</b>	0.16	0.15
Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo	0.31	0.30
Construcción de Pilas de Pilotes	0.14	0.14
Construcción de estructuras auxiliares	0.08	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07

ACTIVIDAD	Coficiente de regresión	Coficiente de correlación
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.32	0.31
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.12	0.12
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.48	0.45
Losa de fondo (TBM)	0.40	0.37
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.47	0.47
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.30	0.29

Tabla N° 89: Salida actividad "T"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 82.0% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; donde nuevamente reinciden para el monitoreo las actividades: “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM” y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”

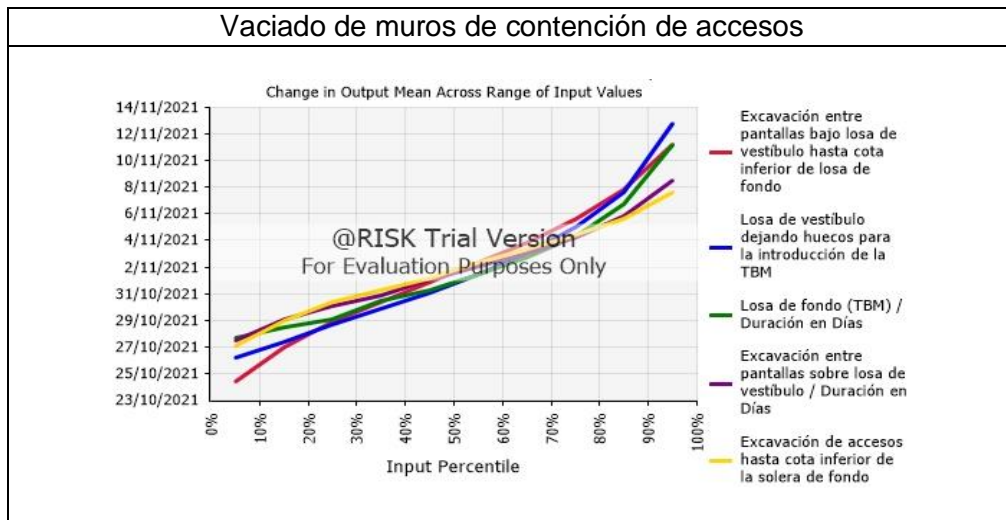
## ACTIVIDAD “U”: “Vaciado de muros de contención de accesos”

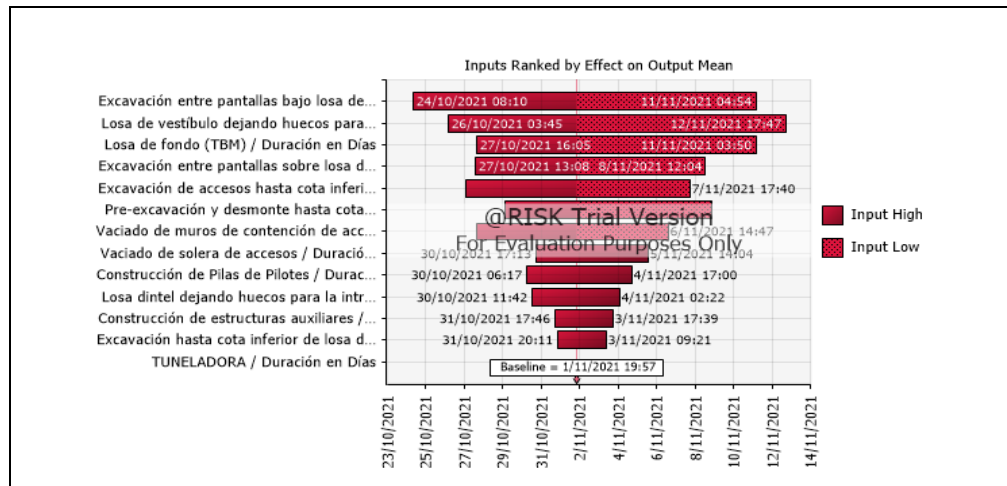
Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Vaciado de soleras de accesos”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”
- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “TUNELADORA”

Tabla N° 90: Actividad "U"

Fuente: Elaboración Propia





Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: "Vaciado de muros de contención de accesos"

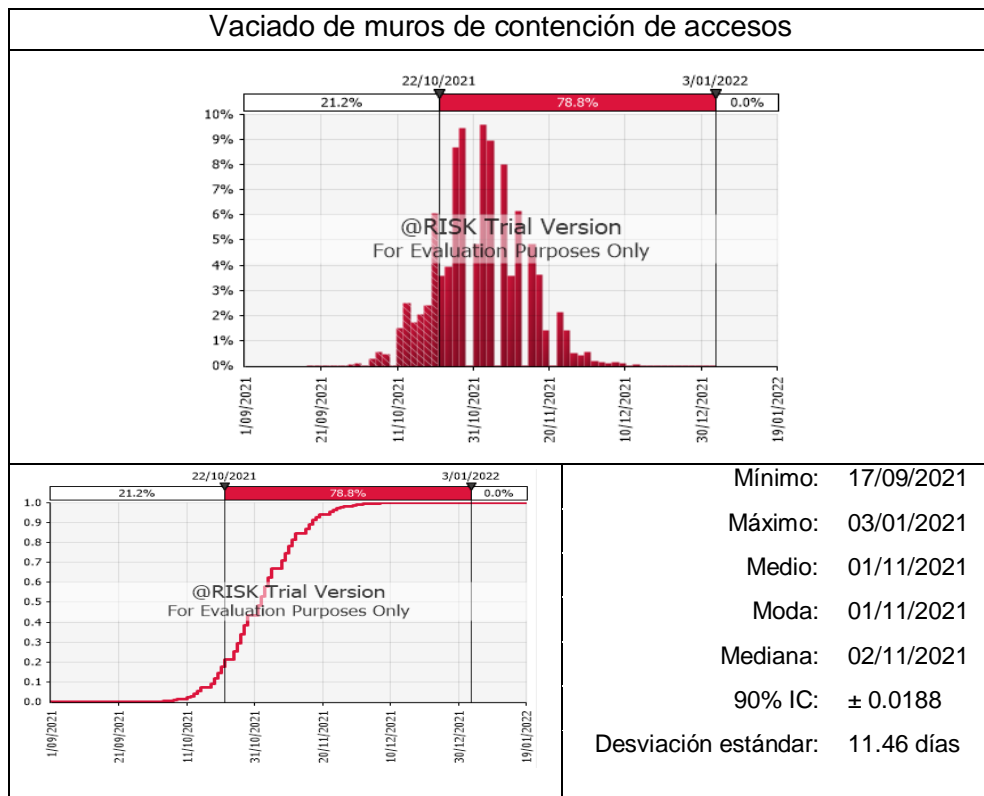
Tabla N° 91: Coeficientes actividad "U"

Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Vaciado de muros de contención de accesos</b>	0.26	0.25
Vaciado de solera de accesos	0.16	0.15
Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo	0.30	0.29
Construcción de Pilas de Pilotes	0.13	0.13
Construcción de estructuras auxiliares	0.08	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.07
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.31	0.30
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.11	0.11
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.46	0.43
Losa de fondo (TBM)	0.39	0.36
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.46	0.45
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.29	0.26

Tabla N° 92: Salida actividad "U"

Fuente: Elaboración Propia



Existe un 78.3% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; donde las actividades a monitorear son: “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM” y “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”

#### **ACTIVIDAD “V”:** “Construcción de cubierta de accesos”

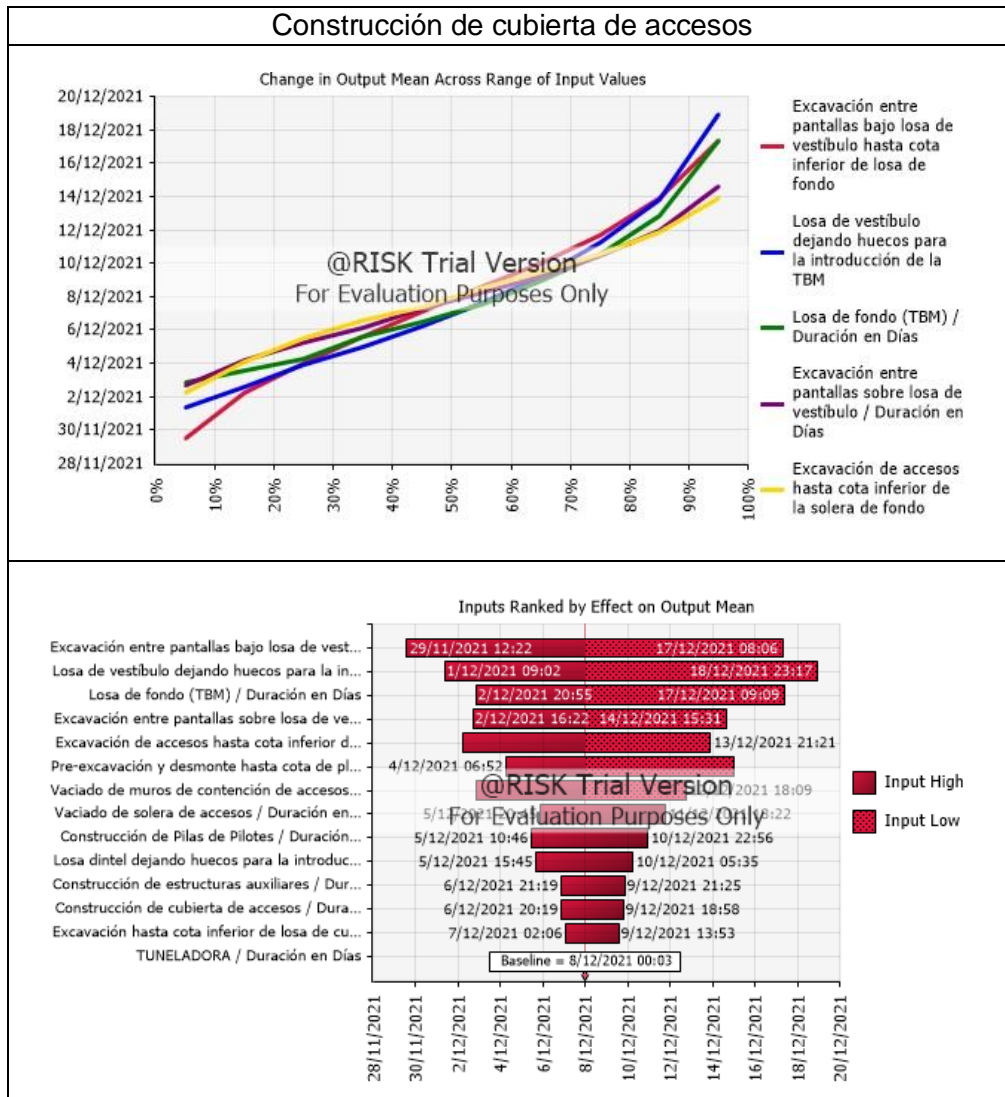
Relación directa con las actividades:

- “Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo”
- “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “Losa de fondo (TBM)”
- “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
- “Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo”
- “Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”
- “Vaciado de soleras de accesos”
- “Vaciado de muros de contención de accesos”
- “Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta”

- “Construcción de Pilas de Pilotes”
- “Construcción de estructuras auxiliares”
- “Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM”
- “TUNELADORA”

Tabla N° 93: Actividad "V"

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica de araña en la parte superior y de tornado en la inferior que muestra el impacto de algunas actividades del cronograma sobre la actividad en estudio: “Construcción de cubierta de accesos”

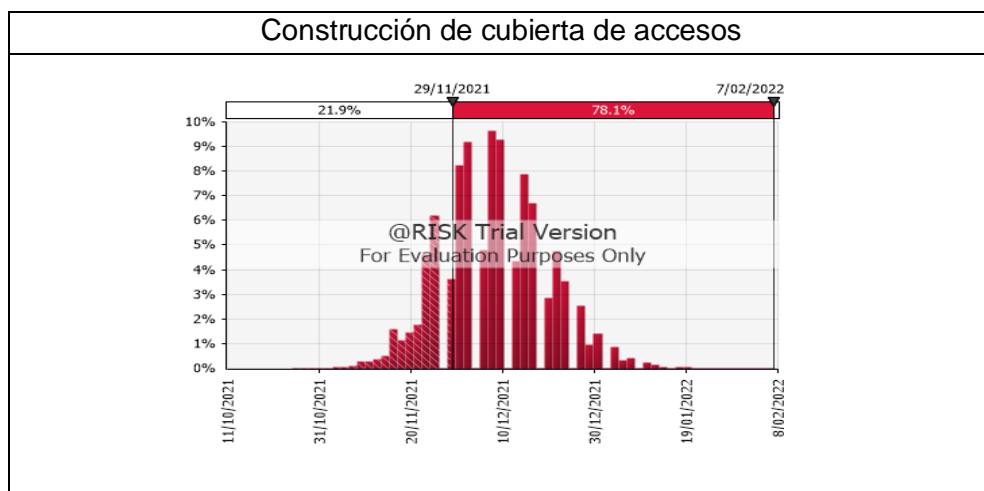
Tabla N° 94: Coeficientes actividad "V"

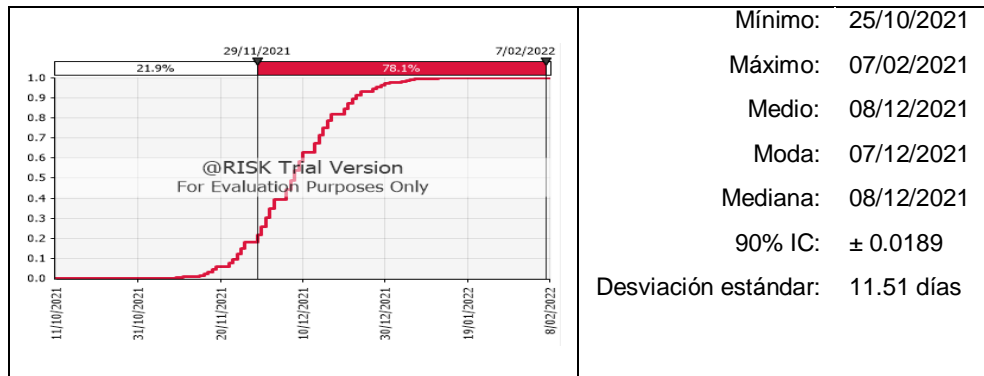
Fuente: Elaboración Propia

ACTIVIDAD	Coeficiente de regresión	Coeficiente de correlación
<b>Construcción de cubierta de accesos</b>	0.09	0.08
Vaciado de muros de contención de accesos	0.25	0.25
Vaciado de solera de accesos	0.16	0.15
Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera de fondo	0.30	0.29
Construcción de Pilas de Pilotes	0.13	0.13
Construcción de estructuras auxiliares	0.08	0.08
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	0.07	0.06
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	0.31	0.30
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la TBM	0.11	0.11
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM	0.46	0.43
Losa de fondo (TBM)	0.38	0.36
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo	0.46	0.45
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo	0.29	0.28

Tabla N° 95: Salida actividad "V"

Fuente: Elaboración Propia





Existe un 78.1% de probabilidad de sobrepasar la fecha de finalización de la actividad en estudio; se debe monitorear todas las actividades al ser esta la última actividad a realizarse dentro del cronograma.

Se concluye de las simulaciones realizadas y siguiendo el principio de Pareto, que es la regla del 80/20, se discriminan 4 actividades (20% de las 22 actividades totales del cronograma) que son las actividades de mayor impacto, dependencia y relación por los cuadros mostrados:

1. “Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM “
2. “Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”
3. “Losa de fondo (TBM)”
4. “Pre excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”

Se recomienda el monitoreo de las cuatro (04) actividades discriminadas que repercuten en el 80% de actividades restantes.

#### 5.2.4. Monitoreo y control de los riesgos

Un proceso de la gestión de riesgos es el monitoreo y control de los riesgos, para lo cual se toma como base la identificación de riesgos, el análisis cualitativo y cuantitativo de los mismos, así como los umbrales de control (capítulo V) y los niveles de riesgos (capítulo II).

##### 5.2.4.1. Umbrales de control

El control de la estructura de la estación se regirá en base a umbrales de control y dependerán de la cercanía de los edificios a la excavación, la tipología, y los



movimientos admisibles (tomando como nivel de referencia los desplazamientos estimados en el proyecto).

Criterio 1: En función de la distancia de las edificaciones a la excavación, se pueden definir los siguientes umbrales de control:

<b>VERDE</b>
• Zonas sin edificación o zonas donde los edificios están alejados más de 30 metros del trasdós de la pantalla.
<b>ÁMBAR</b>
• Edificios a una distancia entre 10 y 30 metros del trasdós de la pantalla.
<b>ROJO</b>
• Edificios situados a una distancia menor de 10 metros del trasdós de la pantalla.

Los límites establecidos para cada umbral de control son definidos en base a la herramienta juicio de expertos del PMBOK 6ta. Ed. Y en base a las experiencias registradas en el Metro de Madrid, observadas en el Anejo N° 24. Plan de Auscultación y Control de Metro Madrid S.A.

Criterio 2: En función del tipo de edificación o infraestructura, estado de conservación y tipología de cimentación se establecen los umbrales de control relacionados con asientos verticales, distorsión angular y deformación horizontal unitaria indicadas en la siguiente tabla, la cual ha sido obtenida del Trabajo de Suficiencia Investigadora de nombre “Establecimiento del nivel de control de las actuaciones geotécnicas en las obras subterráneas urbanas”, del autor F. Diez.

A la tabla presentada por F. Diez, y en base a la identificación de la realidad vista en la zona del proyecto, se define el grado de afectación en la columna de clasificación de edificio con apoyo de un patrón de colores donde verde es de menor afección, ámbar de afección a considerar y rojo que son de principal atención.

Tabla N° 96: Umbrales de control propuestos

Fuente: F. Díez (2007) con adaptación propia en la clasificación de edificio

Umbrales de control	Clasificación de edificio	Asiento admisible (mm)			Distorsión angular			Deformación horizontal		
		Unitaria (%)								
		Verde	Ámbar	Rojo	Verde	Ámbar	Rojo	Verde	Ámbar	Rojo
Zonas sin edificaciones	1	<50	50–100	>100	1/100	1/100–1/50	>1/50	<1,5	1,5–2,0	>2,0
Edificios cimentados profundos o con losa en buen estado	2	<20	20–30	>30	<1/1000	1/1000–1/500	>1/500	<0,15	0,15–0,20	>0,20
Conducciones de gas	3	<20	20–30	>30	<1/1000	1/1000–1/500	>1/500	<0,15	0,15–0,20	>0,20
Estructura subterránea o Túneles existentes	4	<15	15–25	>25	<1/2000	1/2000–1/1000	>1/1000	<0,15	0,15–0,20	>0,20
Edificios cimentados superficialmente sin daños aparentes	5	<10	10–15	>15	<1/2000	1/2000–1/1000	>1/1000	<0,15	0,15–0,20	>0,20
Edificios cimentados superficialmente con daños	6	<5	5–10	>10	<1/3000	1/3000–1/2000	>1/2000	<0,05	0,05–0,10	>0,10
Edificios monumentales	7									
Edificios con más de 10 alturas	8									
Tuberías de gas	9									
Túneles existentes	10	Asiento o levantamiento: 10 mm/10 m								

Los umbrales de control de la tabla anterior están definidos a partir de los movimientos admisibles de los distintos tipos de edificación, a los que se les aplica un coeficiente de seguridad (pues ya han experimentado una deformación desde que fue ejecutado). El movimiento máximo admitido para cada una de ellas se corresponde con el nivel de referencia. Dependiendo de la relación entre el asiento medido (que puede ser mayor que el esperable) y el máximo se definen los umbrales de control:

- Si se supera el 100% del nivel de referencia se tiene un umbral de control rojo.
- Si está entre el 70% y el 100% del nivel de referencia se tiene un umbral de control ámbar.
- Movimientos inferiores a estos valores se corresponden con un umbral de control verde.

Criterio 3: En función de los movimientos horizontales de la pantalla, se pueden definir los siguientes umbrales de control:

<b>VERDE</b>
•Movimientos por debajo del 70% del nivel de referencia
<b>ÁMBAR</b>
•Movimientos entre el 70% y 100% del nivel de referencia.
<b>ROJO</b>
•Movimientos por encima del 100% del nivel de referencia.

Como alternativa complementaria de control, durante la excavación de la estación, se deberá verificar el perfil estratigráfico del terreno, comprobando la potencia de las distintas unidades geotécnicas y sus características, así como la posición del nivel freático, que sean las previstas y detalladas en los capítulos anteriores de la presente investigación.

#### 5.4.2.2. Zonificación de la obra

Los criterios mencionados anteriormente (distancia, clasificación del edificio y el asiento máximo) permiten zonificar la obra según distintos umbrales de control.

Tabla N° 97: Zonificación de la obra  
Fuente: Elaboración Propia

NÚMERO EDIFICIO	CRITERIO 1		CRITERIO 2		CRITERIO 3		UMBRAL DE CONTROL GLOBAL
	DISTANCIA A BORDE EXCAVACIÓN (m)	UMBRAL DE CONTROL	CLASIFICACIÓN EDIFICIO	UMBRAL DE CONTROL	ASIENTO ESTIMADO (mm)	UMBRAL DE CONTROL	
9	18	ÁMBAR	5	VERDE	1,3	VERDE	ÁMBAR
10	29	ÁMBAR	5	VERDE	0,6	VERDE	ÁMBAR
11	37	VERDE	5	VERDE	0,4	VERDE	VERDE
23	25	ÁMBAR	5	VERDE	0,8	VERDE	ÁMBAR
24	19	ÁMBAR	5	VERDE	1,2	VERDE	ÁMBAR
25	17	ÁMBAR	5	VERDE	1,4	VERDE	ÁMBAR
26	15	ÁMBAR	5	VERDE	1,7	VERDE	ÁMBAR
27	20	ÁMBAR	5	VERDE	1,1	VERDE	ÁMBAR
28	15	ÁMBAR	5	VERDE	1,7	VERDE	ÁMBAR
29	15	ÁMBAR	5	VERDE	1,7	VERDE	ÁMBAR
32	28	ÁMBAR	5	VERDE	0,6	VERDE	ÁMBAR
35	27	ÁMBAR	5	VERDE	0,7	VERDE	ÁMBAR
36	28	ÁMBAR	5	VERDE	0,6	VERDE	ÁMBAR
37	28	ÁMBAR	5	VERDE	0,6	VERDE	ÁMBAR
38	29	ÁMBAR	5	VERDE	0,6	VERDE	ÁMBAR
39	30	ÁMBAR	5	VERDE	0,5	VERDE	ÁMBAR
40	31	VERDE	5	VERDE	0,5	VERDE	ÁMBAR

- El número de edificio de la tabla N° 97 es rescatado de la tabla N° A1 de anexos.

#### 5.4.2.3. Dispositivos de control

Los dispositivos usados en la etapa de vigilancia y evaluación según su naturaleza tendrán asociado los umbrales de control, así como los movimientos esperados en desplazamiento, en relación al elemento de control. Como ejemplo se pueden consultar la siguiente tabla, con los dispositivos a ser empleados en la estación Insurgentes:

La codificación de los dispositivos es una buena práctica de los sistemas de gestión que permite una rápida identificación ante alguna problemática, inventario oportuno, modelaciones, entre otros:

- Las dos primeras letras vienen en base al elemento de control asociado:  
HN: terreno  
RN: edificio o muro  
DP: pantalla
- L2 E4: L2 hace alusión a la línea 2 del metro de Lima y E4 es por la cuarta estación (la estación Insurgentes)
- Y la numeración propia del dispositivo con tres numerales.

Tabla N° 98: Movimientos esperados.  
Fuente: Elaboración Propia

DISPOSITIVO	ELEMENTO DE CONTROL	DESPLAZAMIENTO ESPERADO (mm)	TIPO	UMBRAL DE CONTROL (mm)	
				ÁMBAR	ROJO
HN L2 E4 001	Terreno	2,1	Vertical	20	30
HN L2 E4 002	Terreno	2,9	Vertical	20	30
HN L2 E4 003	Terreno	1,0	Vertical	20	30
HN L2 E4 004	Terreno	0,3	Vertical	20	30
HN L2 E4 005	Terreno	2,4	Vertical	20	30
HN L2 E4 006	Terreno	1,1	Vertical	20	30
HN L2 E4 007	Terreno	1,3	Vertical	20	30
HN L2 E4 008	Terreno	1,7	Vertical	20	30
RN L2 E4 001	Edificio 23	0,8	Vertical	10	15
RN L2 E4 002	Edificio 24	1,2	Vertical	10	15

DISPOSITIVO	ELEMENTO DE CONTROL	DESPLAZAMIENTO ESPERADO (mm)	TIPO	UMBRAL DE CONTROL (mm)	
				ÁMBAR	ROJO
RN L2 E4 003	Edificio 25	1,4	Vertical	10	15
RN L2 E4 004	Edificio 26	1,7	Vertical	10	15
RN L2 E4 005	Edificio 27	1,1	Vertical	10	15
RN L2 E4 006	Edificio 32	0,6	Vertical	10	15
RN L2 E4 007	Edificio 35	0,7	Vertical	10	15
RN L2 E4 008	Edificio 39	0,5	Vertical	10	15
RN L2 E4 009	Edificio 08	2,8	Vertical	10	15
RN L2 E4 010	Muro	2,9	Vertical	10	15
RN L2 E4 011	Edificio 09	1,3	Vertical	10	15
RN L2 E4 012	Edificio 11	0,4	Vertical	10	15
DP L2 E4 001	Pantalla sección	5,0	Horizontal	3,5	5,0
DP L2 E4 002	Pantalla sección	9,0	Horizontal	6,3	9,0

- El número de edificio de la tabla N° 33 es rescatado de la tabla N° A1 de anexos.

En el siguiente gráfico pueden consultarse los movimientos horizontales estimados en una sección representativa de los muros pantalla de la estación. El umbral rojo se corresponde con los movimientos estimados, y el umbral ámbar se alcanza cuando se han desarrollado el 70% de los movimientos previstos.

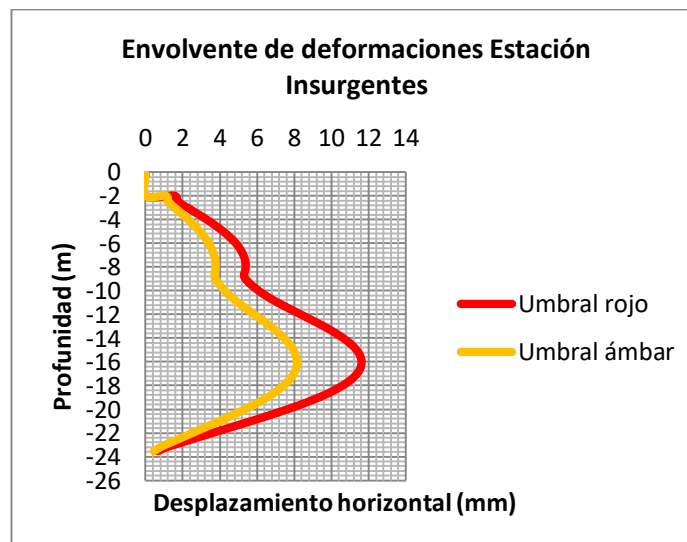


Gráfico N° 22: Desplazamientos horizontales en muros pantalla de la caja de la Estación

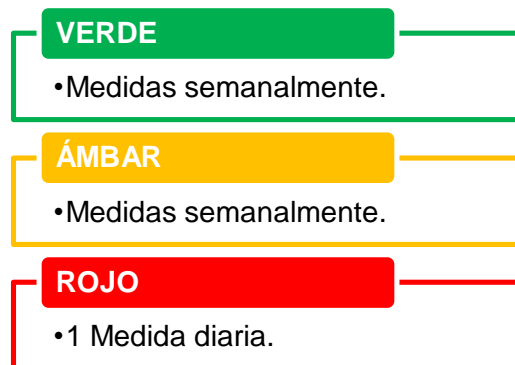
Insurgentes

Fuente: Elaboración Propia

Es importante mencionar que un riesgo en potencia a considerar en la estación por su ubicación (distrito: Callao) es el nivel freático en la zona de la estación, que se sitúa a 17 metros de profundidad, por lo que una parte de la excavación se ejecutará por debajo del nivel freático.

#### 5.4.2.4. Frecuencia de lectura y seguimiento de cada dispositivo

La toma de datos para la toma de decisiones durante el desarrollo del proyecto es parte del proceso de monitoreo y control de riesgos, el apoyo de los dispositivos es para la data de registro la cual responde a una frecuencia de lecturas, que, para el caso de la Estación Insurgentes por las peculiaridades ya presentadas, se propone sea:



La frecuencia de lectura de los piezómetros depende de la fase de excavación:

- Cuando la excavación alcance la cota del nivel freático, y hasta que se cierre la contrabóveda, los piezómetros se medirán según la frecuencia del umbral de control rojo.
- Una vez se ha cerrado la contrabóveda de la estación, los piezómetros se medirán según la frecuencia del umbral de control verde.

#### 5.4.2.5. Establecimiento de los niveles de alerta.

Como medida preventiva se establece una vigilancia de las edificaciones del entorno, y una evaluación semanalmente con un recorrido de la zona.

En caso el riesgo identificado sea que el desplazamiento esperado es mayor que el desplazamiento admisible por la estructura, será necesario realizar algún tipo

de tratamiento al terreno con la finalidad de situar esos movimientos dentro de un rango de valores admisibles.

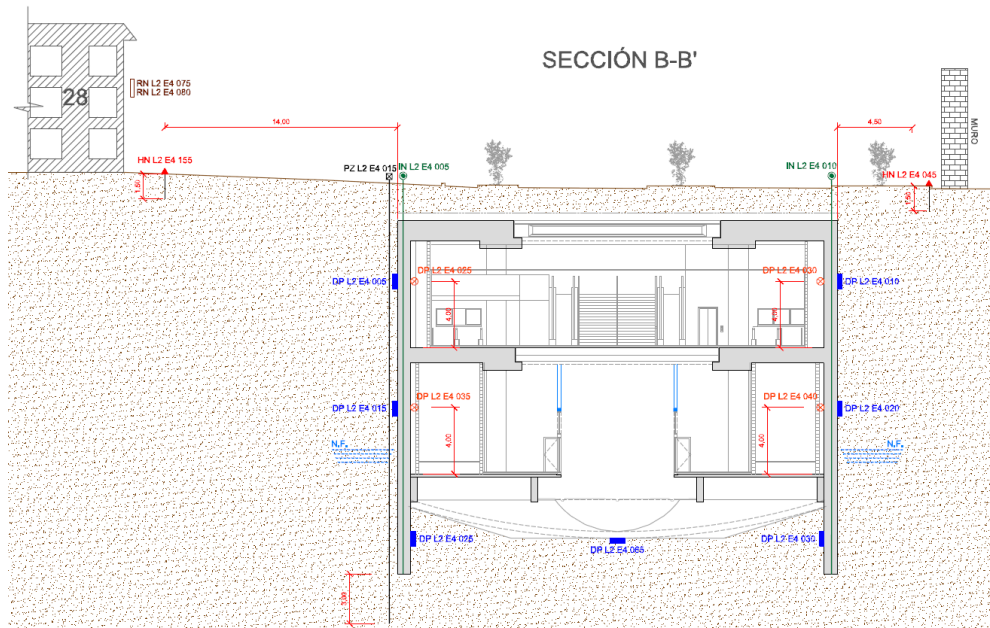


Figura N° 14: Sección de instrumentación  
Fuente: Elaboración Propia

En caso durante la evaluación se detecte alguna patología (fisuras, grietas, desplomes, etc.) como medida de mitigación se debe comunicar a la persona responsable quien actuará en respuesta al nivel de alerta presentes en la tabla N° 34. Cabe resaltar que los niveles de alerta deben establecerse para cada instrumento:

Tabla N° 99: Niveles de alerta establecidos  
Fuente: Elaboración Propia

NIVEL DE ALERTA	SITUACIÓN	MEDIDAS DE ACTUACIÓN
<b>REFERENCIA</b>	Movimientos por debajo del umbral ámbar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Continuar con la frecuencia de lecturas establecida.</li> </ul>
<b>ADVERTENCIA</b>	Movimientos por encima del nivel verde y por debajo del umbral rojo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Incrementar frecuencia de lecturas.</li> <li>■ Inspección visual.</li> <li>■ Proponer medidas de mejora o ajuste de la metodología operativa.</li> <li>■ Continuar con el proceso constructivo previsto.</li> </ul>



NIVEL DE ALERTA	SITUACIÓN	MEDIDAS DE ACTUACIÓN
<b>ALARMA</b>	Movimientos por encima del umbral rojo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Análisis específico de la situación.</li> <li>■ Implementación de los procedimientos de emergencia aprobados.</li> <li>■ Paralización del avance de excavación.</li> <li>■ Colocación de instrumentación complementaria, si es preciso.</li> <li>■ Revisión del proceso constructivo.</li> <li>■ Implementación de las medidas de mejora o ajuste de la metodología operativa.</li> </ul>

### 5.2.5. Plan de respuestas

En esta etapa se eligen y desarrollan estrategias para abordar los riesgos analizados, con el propósito de reducir las amenazas a los objetivos del proyecto.

A continuación, se recogen las medidas proactivas seleccionadas para cada riesgo identificado en la fase de desarrollo de los EDI.

Tabla N° 100: Medidas de respuesta a riesgos en EDI's  
Fuente: Elaboración Propia

<b>MEDIDAS PROACTIVAS DE RESPUESTA A RIESGOS DURANTE EL DESARROLLO DE EDI</b>		
ITEM	DEFINICIÓN RIESGO	MEDIDAS
01	Retrasos en las coordinaciones de las diferentes etapas y especialidades de la Ingeniería	Contratación de una sola empresa de ingeniería que cubra todas las especialidades de un mismo tramo. Para la coordinación entre tramos, se nombrará responsables de cada empresa que estarán en continua coordinación entre sí y con el Consorcio constructor.

ITEM	DEFINICIÓN RIESGO	MEDIDAS
02	Diferencias en los valores geotécnicos, respecto a los indicados en el estudio de pre inversión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realización de cálculos geotécnicos con un factor de seguridad superior al habitual.</li> <li>Realizar cálculos de sensibilidad variando parámetros y analizando la variación del resultado.</li> </ul>
03	Condiciones de terreno distintas a las previstas	Estudios de geológica y geotécnica previa para establecer todos los tipos de terrenos que pudieran aparecer, con el objetivo de conocerlos de forma aproximada y establecer medidas ante su hipotética aparición.
04	Identificar restos arqueológicos	Desarrollar un plan de Monitoreo Arqueológico
05	Retrasos en la revisión y aprobación de los EDI's	Fijar las exigencias y umbrales mínimos de aprobación, con penalidades de ser necesario, priorizando el trabajo cooperativo.
06	Retrasos en la liberación de las áreas para la realización de estudios y campañas de estudios de suelo	Planificar con antelación la campaña geotécnica.
07	Identificar riesgos geológicos no previstos	Estudios de riesgos geológicos de la zona (Sociedad Geológica del Perú) para establecer todos los riesgos que pudieran aparecer, con el objetivo de conocerlos de forma aproximada y establecer medidas ante su hipotética aparición.

A continuación, se recoge el resultado de la aplicación de la metodología descrita a la fase de ejecución.

Tabla N° 101: Medidas de respuesta a riesgos en ejecución  
Fuente: Elaboración Propia

<b>MEDIDAS PROACTIVAS DE RESPUESTA A RIESGOS EN LA EJECUCIÓN</b>		
<b>ITEM</b>	<b>RIESGO</b>	<b>MEDIDA</b>
01	Necesidad de realizar mayor detalle a la ingeniería desarrollada	Supervisión intensa, durante la fase de desarrollo de los EDI, de la empresa de ingeniería mediante equipos de especialistas coordinados por personal experimentado en la gestión de proyectos complejos similares.  Elección de una empresa de ingeniería experimentada en el desarrollo de proyectos complejos, para la elaboración de los EDI.
02	Identificar condiciones de terreno distintas a las previstas	Con los datos geológicos existentes y los estudios de geológica y geotécnica aplicar medidas en caso que las condiciones del terreno fueran distintas.
03	Identificar restos arqueológicos	Monitoreo arqueológico antes y durante la construcción para identificar las posibles evidencias culturales. Se darán inducciones al personal sobre el Plan de Contingencias de Hallazgos Fortuitos.
04	Retrasos por paralizaciones de gremios sociales	Programación de charlas cortas con entrega de publicaciones sencillas e ilustrativas sobre el proyecto, su avance y beneficios finales, dirigidas a los stakeholders.
05	Las municipalidades y otros entes estatales podrían retrasarse en la emisión de las licencias y autorizaciones para la ejecución de las obras	Establecer un plan para la obtención de permisos y licencias, contacto con asesores locales que aconsejen sobre los contenidos, plazos y personas clave en la Administración. Debe elaborarse un cronograma y un RAM para designar funciones específicas en las licencias y autorizaciones.

ITEM	RIESGO	MEDIDA
06	Eventos de fuerza mayor durante la construcción (terremotos, incendios)	En los métodos constructivos y en las estructuras provisionales, se tendrá en cuenta una eventual situación de fuerza mayor (terremoto).
07	Afectaciones o daños a bienes o edificaciones de terceros	Instrumentar las excavaciones de manera que se controlen las deformaciones del terreno durante y después de los trabajos. Instrumentar las edificaciones o instalaciones que pudieran verse afectadas por la ejecución del Proyecto y conocer a cabalidad sus rangos permisibles.
08	Personas ajenas al proyecto podrían sufrir caídas o accidentes	Señalización y balizamiento plasmados en un Plan de Seguridad. Instalación de barandas rígidas de seguridad en zonas potenciales de caídas.
09	Retrasos en la liberación de las áreas para la ejecución de las obras	Establecer un plan para la obtención de permisos y licencias, contando con asesores locales que aconsejen sobre los contenidos, plazos y personas clave en la Administración. Debe elaborarse un cronograma y un ram para designar funciones específicas en la tarea de liberación de áreas.
10	Identificar riesgos geológicos no previstos	Con los datos geológicos existentes y los estudios geológicos y geotécnicos aplicar las medidas establecidas en el hipotético caso que los riesgos del terreno fuera distinto.
11	Identificar interferencias adicionales no previstas	Establecer con suficiente antelación un plan de contacto con las empresas de servicio locales de manera que haya tiempo para recopilar toda la información, actual y antigua, al respecto. Bajo un monitoreo continuo por un personal designado específicamente para el monitoreo.

## CONCLUSIONES

1. Existe una carencia de investigaciones para modelos de gestión de riesgos de proyectos especiales (viales, ferroviarios, mineros, entre otros). El aporte de la tesis es proponer un modelo de gestión de riesgos técnicos para una estación subterránea en un proyecto vial de interés e impacto social como lo es la línea 2 del metro de Lima.
2. Por la naturaleza subterránea de la estación, uno de los principales riesgos a monitorear es la serie de movimientos en el terreno, a causa del cambio tensional al que es sometido el terreno por la excavación al abrigo de las pantallas necesarias para la construcción; el cambio de volumen por el empuje sobre la pantalla y por el abatimiento del nivel freático (el nivel freático en el caso aplicativo: Estación Insurgentes está a 15-17 metros de profundidad). Los movimientos deben ser controlados para asegurarse de que se sitúan dentro de un rango de valores admisibles que no supongan ningún riesgo para la construcción.
3. Un riesgo es la afectación para las viviendas cercanas, para lo cual se realiza el estudio geotécnico donde se estima un asiento máximo de 3 mm debido a la excavación, siendo nulo el asiento debido al rebaje del nivel freático. El asiento se producirá a unos 5 m de la excavación donde no existen edificaciones, las edificaciones más cercanas se encuentran a 10 m en el entorno de la estación, por ende, no se verán afectadas; el asiento total para esa distancia de 2,5 mm.
4. Tomando como base la escala de daños de Burland y un nivel límite de intensidad de daños de 1 (daños muy ligeros) en conjunto con el gráfico de Niveles de Afección propuesto por Boscarding y Cording (1989), se concluye que los daños se sitúan en el Nivel 0, correspondiente a una intensidad despreciable de afección según la escala de Burland, el mismo que es menor al límite permitido. No se estima necesario la introducción de medidas preventivas o de refuerzo, o de tratamiento de mejora del terreno para limitar las deformaciones.
5. Para el análisis de riesgos se requiere además de los resultados obtenidos una auscultación y control periódico de los posibles movimientos del

terreno con el objetivo de evaluar y verificar que los desplazamientos que se produzcan se encuentran dentro del rango estimado.

6. En el estudio geológico se define como estrato predominante en el fondo de la excavación, gravas mal gradadas con arena. En caso se detecte un material diferente como arenas predominantemente, es necesario aumentar el coeficiente de seguridad.
7. La principal herramienta usada para la estimación de tiempos (pesimista, más probable y optimista) del cronograma; fue el juicio de expertos por la falta de antecedentes regionales. Para futuros trabajos es posible tomar los ratios a registrarse en la Línea 2 del Metro de Lima.
8. La simulación de Monte Carlo es realizada con apoyo del software @Risk en su versión gratuita para estudiantes, y se concluye que existe un 78.8% de probabilidad de superar la fecha de finalización o plazo de ejecución de las principales partidas de la Estación Insurgentes, entendiéndose el plazo como la duración en días.

Con los tiempos determinísticos el plazo de ejecución era 651 días y con la simulación realizada el tiempo probabilístico en el peor de los casos es 718 días, lo que significa 67 días adicionales.

9. La influencia de los riesgos técnicos principalmente los geotécnicos para la estación insurgente representaban una probable ampliación de plazo de hasta 67 días, sin considerar los riesgos de gestión que fueron tomados como constante, los mismos que en el análisis cualitativo represento una valoración de riesgos alta. Los riesgos hidráulicos previstos al inicio de la investigación no presentan mayor implicancia según el análisis de reinyección en el terreno del caudal de bombeo (anexo 5) a causa de los factores de seguridad y las consideraciones previas consideradas por la ubicación de la estación, Callao; y el nivel freático.
10. Las actividades que deben ser monitoreadas por tener mayor impacto, dependencia y relación dentro de las dos fases de construcción de la estación, descritas en la investigación, son: "Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción de la TBM ", "Excavación entre pantallas bajo

losa de vestíbulo hasta cota inferior de losa de fondo”, “Losa de fondo (TBM)” y “Pre excavación y desmonte hasta cota de plataforma de trabajo”. Que, según el principio de Pareto y las simulaciones realizadas, repercutirían sobre las otras actividades del cronograma presentado.

11. El modelo de gestión para riesgos técnicos propuesto es aplicable para la Estación Insurgentes, y es replicable en cuanto a proceso para las otras estaciones subterráneas de la Línea 2 del metro de Lima y estaciones futuras, sin embargo, para su libre aplicación es recomendable realizar el análisis geotécnico, hidráulico y estructural (aspectos técnicos) que permita establecer los valores críticos y los umbrales de control.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda adoptar el modelo y realizar estudios para los aspectos de gestión, en los tiempos determinísticos y probabilísticos para el análisis cuantitativo. Seguir las buenas prácticas de gestión y hacer un seguimiento continuo y actualizados de las restricciones de los proyectos: alcance, costos, cronograma, recursos, calidad y riesgos.
- Se recomienda hacer seguimiento de las actividades como: liberación de terreno, trámites municipales y permisos diversos, que son riesgos de alto impacto en la construcción de líneas de metros, pero no son abordados dentro de los cronogramas de ejecución, o que múltiples veces son realizados a medida que la obra está en marcha generando una línea de riesgos no prevista en los estudios iniciales.
- Para el éxito de un proyecto se recomienda realizar una simulación a mayor detalle, realizando una simulación de Montecarlo con inputs tanto de los tiempos de ejecución como los costos relacionados de las principales partidas. @risk permite tener esa interacción, sin embargo, cada investigador puede adoptar el programa o plataforma que se le facilite, así como los tipos de riesgos que desee estudiar.
- El modelo de gestión de riesgos propuesto es aplicable para estaciones subterráneas de pasajeros de metros; sin embargo, debido a las características especiales de las diferentes infraestructuras como las carreteras, presas, puentes, centros comerciales, túneles, entre otros, es importante tratar cada una de ellas a detalle en futuras investigaciones.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia de promoción de la Inversión Privada comité de ProInversión en proyectos de infraestructura vial, infraestructura ferroviaria e infraestructura aeroportuaria- Pro Integración (octubre de 2013). *Proyectosapp.pe*. Obtenido de <https://www.proyectosapp.pe/modulos/JER/PlantillaProyecto.aspx?ARE=0&PFL=2&JER=5695>.
2. Álvarez, L., Enamorado, C., Sierra, J. y Alvarado, R. (2012). *Gestión de Riesgos en Proyectos de la Construcción de Aeropuerto en Amaratéca*. Honduras: Universidad Tecnológica Centroamericana.
3. Aparicio, M. y Durán, D. (2012). *Análisis de la Gestión de Riesgos de un proyecto de inversión pública en turismo de sol y playa durante su fase de inversión: el caso del proyecto acondicionamiento turístico de la Playa de Centro Máncora*. (Tesis de maestría) Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
4. Bermedo, Y. y Villalobos, F. (2017). *Estudio numérico preliminar de los asentamientos en superficie causada por la excavación de un túnel para el metro de Concepción*. Simposio de Habilitación Profesional. Departamento de Ingeniería Civil.
5. Boscarding, M. y Cording, E. (enero de 1989). Building Response to Excavation Induced Settlement. *Journal of Geotechnical Engineering ASCE*, 115(1).
6. Ccucho, E. (2017). *Sistema constructivo de estación de pasajeros con muros pantalla, pilas pilote para la línea 2 del metro de Lima*. (Tesis de pregrado) Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
7. Chapma, C. y Ward, S. (1996). *Project Risk management: processes techniques and insights*. Chichester, UK.: JohnWiley.
8. De los Ríos Musso, M. (2009). *Plan de Gestión de Riesgos para la construcción del túnel de conducción superior en el proyecto hidroeléctrico El Diquís del Instituto Costarricense de Electricidad*. (Tesis de maestría) San José, Costa Rica: Universidad para la Cooperación Internacional.
9. Díez, F. (2007). *Establecimiento de nivel de control de las actuaciones geotécnicas en las obras subterráneas urbanas*. (Tesis de doctorado) Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
10. Directiva N. ° 012-2017-OSCE/CD Gestión de Riesgos en la Planificación de la Ejecución de Obras. Ministerio de Economía y Finanzas.

11. Espejo, A. (2013). Aplicación de la Extensión para la Construcción de la Guía del PMBOK. (Tesis de pregrado) Arequipa: Pontificia Universidad Católica del Perú.
12. Informe económico de la Construcción N° 19 julio 2018 por CAPECO.
13. Lledó, P. (2017). Director de proyectos: Cómo aprobar el examen PMP® sin morir en el intento. USA 6ta ed.
14. Machuca, E. (2018). *Análisis comparativo de dos sistemas transporte masivo de pasajeros* (Tesis de pregrado) Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
15. Martí, J.V.; Yepes, V.; González, F.; Alcalá, J. (2012).” Técnicas de voladuras y excavación en túneles”. Apuntes de la Universidad Politécnica de Valencia. Ref. 530, 165 pp. Obtenido de: <https://victoryyepes.blogs.upv.es>
16. Martínez, G., Moreno, B., Ordoñez, J., Alegre, J., Jadraque, E. (2010). *Gestión del Riesgo del Proyecto de Campus Universitario del parque tecnológico de ciencias de la salud*. Madrid: Universidad de Granada. XIV International Congress on Project Engineering
17. Metro de Madrid S.A. *Anejo 24: Plan de auscultaciones y control*.
18. Ministerio de Economía y Finanzas. (2018). *Directivas de Formulación y evaluación de un proyecto de inversión pública*. Lima: Ministerio de Economía y Finanzas.
19. Muñoz, L. (2008). *Cap 4: Estimación de daños en edificios debidos a la excavación de túneles. Las Rozas*.
20. Narváez, M. (2014). *Gestión de riesgos en la fase de diseño para proyectos de construcción utilizando la guía PMBOK*. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
21. NFPA 101 (2012). *Life Safety Code*.
22. NFPA 130 (2014). *Standard for fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*.
23. Ou, C., Hsieh, P. y Chiou, D. (1993). *Characteristics of ground surface settlement during excavation*. Canadia Geotechnical Journal, págs. 758-767.
24. Peck, R. (1969). *Deep excavations and tunnelling in soft ground*. 7th Conference international on Soil Mechanics and Foundation Engineering, (págs. 225-290). México City
25. Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos*. Lima: Project Management Institute.

26. Saloma, D. (2018). *“Modelo de gestión de riesgos para mejorar la ejecución de intercambios viales subterráneos que utilizan el método constructivo cut and cover – top down”* (tesis de maestría) Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
27. Vílchez, W. (2006). *Modelo de Gestión de Riesgos para proyectos de construcción en el Perú*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

## ANEXOS

### ANEXO 1: INVENTARIO BASE DE LAS ESTRUCTURAS Y ELEMENTOS CONSTRUIDOS DENTRO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA (AID) DE LAS OBRAS DE LA ESTACIÓN DE INSURGENTES.

El inventario refleja el estado actual de las edificaciones y elementos, a fin de brindar un registro de la existencia de daños previos a la construcción que servirá como principal sustento ante reclamaciones de vecinos por daños en sus viviendas. El reclamo de los vecinos es un riesgo en potencia que puede impactar con una alta probabilidad, y repercutir con un impacto de serio a crítico, por lo cual el nivel de riesgo sería desde alto a muy alto. Debido a este riesgo se tienen registros de grandes atrasos en el plazo de ejecución.

A continuación, se muestra un listado de las mismas, el que responde a un código de identificación: Identificación de Elemento – Uso y tipología – Número de ficha

**Identificación de Elemento:** ED: Edificación /M: Muro /P: Poste

#### Uso y tipología:

##### Para edificaciones:

RM: Residencia Multifamiliar  
RS: Residencial Singular  
RU: Residencial Unifamiliar  
TV: Torre de Vigilancia  
A: Almacén

##### Para muros:

C.CE: Comercial Cercado Exterior  
R.CE: Residencial Cercado Exterior  
I.CE: Industrial Cercado Exterior

##### Para poste:

AP.C: Alumbrado público concreto  
AP.M: Alumbrado público metálico  
BT.C: Baja tensión concreto  
SM: Semáforo metálico

Tabla N° 102: Edificaciones e infraestructuras interferidas  
Fuente: Elaboración Propia

Código	DESCRIPCION
ED-RU-001	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-002	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-003	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-004	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-A-005	EDIFICACIÓN ALMACEN SINGULAR
ED-RU-006	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR

ED-RS-007	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL SINGULAR
ED-TV-008	EDIFICACIÓN TORRE DE VIGILANCIA
ED-RM-009	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-RM-010	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-RU-011	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RM-012	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-RU-013	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-014	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-015	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RM-016	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-RM-017	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-C-018	EDIFICACIÓN COMERCIAL SINGULAR
ED-RU-019	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-020	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-021	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RM-022	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-RS-023	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL SINGULAR
ED-RM-024	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-RS-025	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL SINGULAR
ED-RM-026	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-RU-027	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RS-028	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL SINGULAR
ED-RU-029	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-030	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-031	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-032	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-033	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-034	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-035	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RM-036	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-RU-037	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-038	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-039	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RU-040	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
ED-RM-041	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
ED-RM-042	EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
M-C.CE-043	MURO COMERCIAL CERCADO EXTERIOR
M-I.CE-044	MURO INDUSTRIAL CERCADO EXTERIOR
M-R.CE-045	MURO RESIDENCIAL CERCADO EXTERIOR
M-C.CE-046	MURO COMERCIAL CERCADO EXTERIOR
M-C.CE-047	MURO COMERCIAL CERCADO EXTERIOR
P-AP.C-048	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-049	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-050	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO

P-AP.C-051	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-052	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-053	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-054	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-055	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.M-056	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.C-057	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-061	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-063	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.M-065	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.C-067	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-069	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.M-070	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.M-074	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.M-075	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.M-076	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.C-077	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO.
P-AP.M-078	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.M-079	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.C-080	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.M-081	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.C-082	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.M-083	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.C-084	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.M-085	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-BT.C-088	POSTE DE BAJA TENSIÓN DE CONCRETO
P-BT.C-089	POSTE DE BAJA TENSIÓN DE CONCRETO
P-BT.C-090	POSTE DE BAJA TENSIÓN DE CONCRETO
P-AP.C-091	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-092	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-093	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-094	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-095	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.C-096	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-AP.M-097	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.M-098	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-AP.M-107	POSTE DE ALUMBRADO METÁLICO
P-SM-111	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-112	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-113	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-114	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-AP.C-114	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO
P-SM-115	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-AP.C-115	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CONCRETO

P-SM-116	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-AP.M-116	POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO METÁLICO
P-SM-117	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-118	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-119	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-120	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-121	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-122	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-123	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-124	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-125	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-126	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO
P-SM-127	SEMÁFORO SOBRE POSTE METÁLICO

ANEXO 2: FORMULARIO BASE PARA EL INVENTARIO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA (AID) DE LAS OBRAS DE LA ESTACIÓN DE INSURGENTES.

**DATOS GENERALES**

<b>DIRECCIÓN Y UBICACIÓN</b>	<b>PLANO DE LOCALIZACIÓN</b>
<b>NOMBRE PROPIETARIO Y/O OCUPANTE</b>	

**DESCRIPCIÓN**

USO. CLASE Y TIPOLOGÍA				
Residencial			Público	
Comercial			Ocio	
Oficinas			Mixto	
Industrial			Otros	

ENTORNO	
Sótanos	
Edificios medianeros	
Forjado en planta baja	

DIMENSIONES	
Ancho (m)	
Largo (m)	
Niveles	

**REPORTE FOTOGRÁFICO**

--	--

TIPO DE ESTRUCTURA	
Aporticada	
Muros de fábrica	
Muros de mampostería o sillería	
Prefabricada	
Mixta (confinada – pórticos)	
Mixta (pórticos de concreto y metálicos)	
Albañilería confinada	
Singular o monumental	
Otros	



ANTIGÜEDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	
Nuevo (posterior a 1970)	
Moderno (1940 a 1970)	
Viejo (1900 a 1940)	
Antiguo (anterior a 1900)	
Fecha de construcción del edificio	

COMPARTIMENTACIÓN INTERIOR
Por el tipo de edificación se deduce:
- Primer nivel: Área social.
- Segundo nivel: Área de descanso.
- Tercer nivel: Área de servicio y tendal.

ACABADOS				
EXTERIORES:				
Mampostería sin revestimiento			Metálica	
Fábrica			Mixta (acero – concreto)	
Tarrajeado y pintado			Otros	
Muros de concreto expuesto				
INTERIORES:				
Mampostería sin revestimiento			Metálica	
Muros de fábrica			Mixta (acero – concreto)	
Muros tarrajeados y pintados			Mixta (mampostería-ladrillo)	
Muros de concreto expuesto			Tabiques	
Piso de cemento pulido			Piso enchapado	
Piso sin revestimiento			Terreno natural	
Cielorraso tarrajado y pintado			Cielorraso sin revestimiento	
Cielorraso tarrajado			Cielorraso de drywall	

### ANÁLISIS TÉCNICO

### LEVANTAMIENTO GRÁFICO Y LOCALIZACIÓN DE ANOMALIAS/PATOLOGÍAS

<b>ANOMALÍAS Y PATOLOGÍAS</b>

<b>CONCLUSIÓN Y PARECER TÉCNICO</b>

<b>BIBLIOGRAFÍA, PUBLICACIONES, FUENTES Y NORMATIVA APLICABLE</b>

<b>OBSERVACIONES</b>

ANEXO 3: DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO PROPUESTO

El diagrama de flujo presentado a continuación comprende el proceso integral y las etapas de la gestión de riesgos, que tiene como punto de partida el estudio definitivo de ingeniería “EDI” hasta llevar a la consecución de la construcción del proyecto “ejecución”.

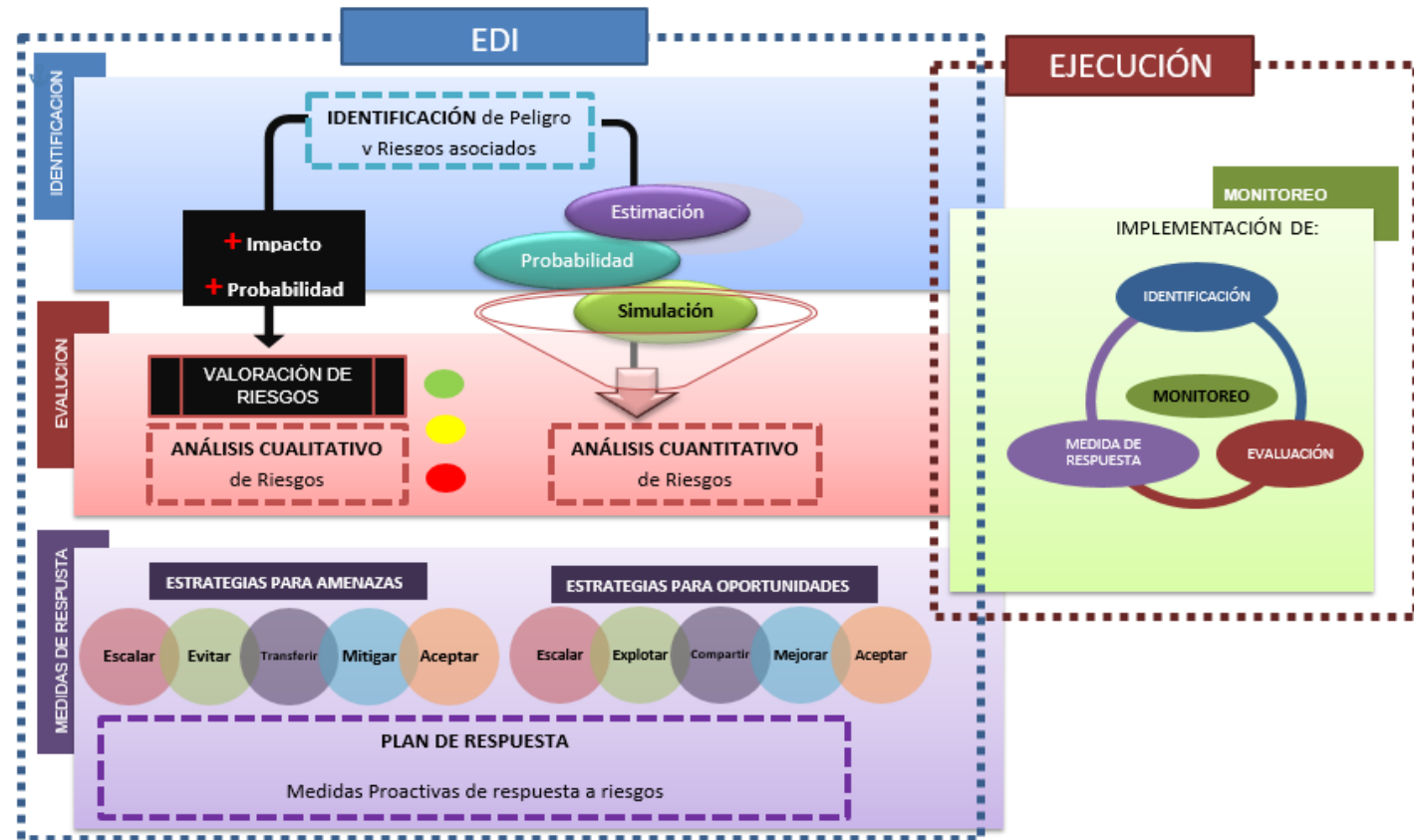


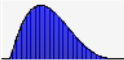

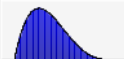
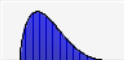
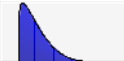






Gráfico N° 23: Diagrama de flujo de la gestión de riesgos

Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO 4: RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE MONTE CARLO.

### 4.1. Ingresos

Name	Cell	Function	Graph	Minimum	Maximum	Mean	Mode	Median	Std. Deviation	1%	99%
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma d	B3	RiskPert(9;9;25;RiskName(A3);RiskStatic(9))		9.0000	24.0142	11.6667	9.0160	11.0712	2.2537	9.0321	18.6303
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hast	B7	RiskPert(25;33;45;RiskName(A7);RiskStatic(33))		25.032	44.820	33.667	33.037	33.509	3.746	26.429	42.067
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción	B11	RiskPert(21;23;45;RiskName(A11);RiskStatic(23))		21.000	44.154	26.333	22.966	25.569	3.771	21.181	37.074
Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera	B21	RiskPert(15;21;28;RiskName(A21);RiskStatic(21))		15.041	27.974	21.167	21.024	21.127	2.454	16.192	26.432
Gierre de huecos temporales en losa dintel / Duración	B20	RiskPert(19;20;22;RiskStatic(20))		19.0028	21.9617	20.1667	19.9973	20.1274	0.5528	19.1571	21.4661
Gierre de huecos temporales en losa vestíbulo / Duraci	B19	RiskPert(19;20;22;RiskStatic(20))		19.0011	21.9599	20.1667	19.9973	20.1274	0.5528	19.1571	21.4660
Construcción de cubierta de accesos / Duración en Día:	B24	RiskPert(25;26;29;RiskStatic(26))		25.0010	28.9375	26.3333	25.9959	26.2552	0.7127	25.1307	28.1117
Construcción de estructuras auxiliares / Duración en D	B15	RiskPert(9;10;12;RiskStatic(10))		9.0027	11.9705	10.1667	9.9973	10.1274	0.5528	9.1571	11.4661
Construcción de Pilas de Pilotes / Duración en Días	B9	RiskPert(38;40;44;RiskStatic(40))		38.0056	43.9248	40.3333	39.9945	40.2549	1.1055	38.3142	42.9321
Ejecución de bombeo / recarga en estación / Duración	B4	RiskPert(14;15;20;RiskStatic(15))		14.0001	19.8540	15.6667	15.0028	15.5117	1.0157	14.1063	18.3657
Escaleras y muros / Duración en Días	B18	RiskPert(14;15;17;RiskStatic(15))		14.0020	16.9607	15.1667	14.9973	15.1274	0.5528	14.1571	16.4661

Name	Cell	Function	Graph	Minimum	Maximum	Mean	Mode	Median	Std. Deviation	1%	99%
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo / Duración en Días	B6	RiskPert(21;25;35;RiskStatic(25))		21.006	34.772	26.000	24.968	25.765	2.535	21.568	32.165
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta / Duración en Días	B5	RiskPert(5;6;8;RiskStatic(6))		5.0019	7.9691	6.1667	5.9973	6.1274	0.5528	5.1571	7.4661
Losa de andén. Forjado placa autoportante alveolada / Duración en Días	B17	RiskPert(29;30;33;RiskStatic(30))		29.0006	32.9471	30.3333	29.9959	30.2552	0.7127	29.1307	32.1117
Losa de fondo / Duración en Días	B13	RiskPert(34;36;45;RiskStatic(36))		34.0007	44.7391	37.1667	35.9906	36.8950	1.8825	34.2210	42.1101
Losa de fondo (TBM) / Duración en Días	B12	RiskPert(14;15;35;RiskStatic(15))		14.000	33.990	18.167	14.993	17.447	3.165	14.097	27.484
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la pantalla / Duración en Días	B10	RiskPert(21;23;26;RiskStatic(23))		21.0079	25.9701	23.1667	23.0092	23.1274	0.9365	21.3573	25.2668
Pantalla excavada con cuchara de 0.80 de ancho / Duración en Días	B8	RiskPert(50;65;80;RiskStatic(65))		50.092	79.888	65.000	65.080	65.000	5.669	53.169	76.831
Relleno sobre cubierta hasta nivel de superficie / Duración en Días	B16	RiskPert(19;20;22;RiskStatic(20))		19.0022	21.9618	20.1667	19.9973	20.1274	0.5528	19.1571	21.4660
TUNELADORA / Duración en Días	B14	RiskPert(180;180;180;RiskStatic(180))		180.0000	180.0000	180.0000	180.0000	180.0000	0.0000	180.0000	180.0000
Vaciado de muros de contención de accesos / Duración en Días	B23	RiskPert(24;30;35;RiskStatic(30))		24.0656	34.9671	29.8333	30.0189	29.8727	2.0750	25.3575	34.0180
Vaciado de solera de accesos / Duración en Días	B22	RiskPert(17;18;25;RiskStatic(18))		17.0002	24.8087	19.0000	18.0077	18.7690	1.3093	17.0963	22.5980

## 4.2. Salidas

Name	Cell	Function	Graph	Minimum	Maximum	Mean	Mode	Median	Std. Deviation	1%	99%
Pre-excavación y desmonte hasta cota de plataforma d	D3	RiskOutput(A3)		11/03/2020 00:00	20/03/2020 00:00	14/03/2020 09:54	12/03/2020 00:00	13/03/2020 00:00	2/01/1900 18:26	11/03/2020 00:00	20/03/2020 00:00
Ejecución de bombeo / recarga en estación	D4	RiskOutput(A4)		9/06/2020 00:00	7/08/2020 00:00	4/07/2020 13:02	3/07/2020 00:00	3/07/2020 00:00	8/01/1900 17:27	16/06/2020 00:00	23/07/2020 00:00
Excavación hasta cota inferior de losa de cubierta	D5	RiskOutput(A5)		20/05/2020 00:00	18/06/2020 00:00	28/05/2020 04:25	26/05/2020 00:00	28/05/2020 00:00	4/01/1900 04:26	21/05/2020 00:00	9/06/2020 00:00
Excavación entre pantallas sobre losa de vestíbulo	D6	RiskOutput(A6)		17/07/2020 00:00	1/09/2020 00:00	3/08/2020 13:39	3/08/2020 00:00	4/08/2020 00:00	5/01/1900 15:36	23/07/2020 00:00	18/08/2020 00:00
Excavación entre pantallas bajo losa de vestíbulo hast	D7	RiskOutput(A7)		24/09/2020 00:00	15/12/2020 00:00	25/10/2020 04:09	23/10/2020 00:00	26/10/2020 00:00	9/01/1900 08:38	6/10/2020 00:00	18/11/2020 00:00
Pantalla excavada con cuchara de 0.80 de ancho	D8	RiskOutput(A8)		20/05/2020 00:00	17/07/2020 00:00	13/06/2020 07:11	12/06/2020 00:00	12/06/2020 00:00	8/01/1900 14:32	26/05/2020 00:00	2/07/2020 00:00
Construcción de Pilas de Pilotes / Final	D9	RiskOutput(A9)		13/05/2020 00:00	10/06/2020 00:00	20/05/2020 04:23	18/05/2020 00:00	20/05/2020 00:00	4/01/1900 02:49	13/05/2020 00:00	1/06/2020 00:00
Losa dintel dejando huecos para la introducción de la	D10	RiskOutput(A10)		18/06/2020 00:00	22/07/2020 00:00	28/06/2020 20:11	26/06/2020 00:00	29/06/2020 00:00	4/01/1900 08:35	22/06/2020 00:00	10/07/2020 00:00
Losa de vestíbulo dejando huecos para la introducción	D11	RiskOutput(A11)		17/08/2020 00:00	22/10/2020 00:00	8/09/2020 17:45	8/09/2020 00:00	8/09/2020 00:00	7/01/1900 17:48	25/08/2020 00:00	29/09/2020 00:00
Losa de fondo (TBM) / Final	D12	RiskOutput(A12)		14/10/2020 00:00	11/01/2021 00:00	18/11/2020 22:04	17/11/2020 00:00	18/11/2020 00:00	10/01/1900 08:29	28/10/2020 00:00	15/12/2020 00:00
Losa de fondo / Final	D13	RiskOutput(A13)		1/12/2020 00:00	10/03/2021 00:00	9/01/2021 06:07	8/01/2021 00:00	8/01/2021 00:00	10/01/1900 16:32	17/12/2020 00:00	4/02/2021 00:00
TUNELADORA / Final	D14	RiskOutput(A14)		23/06/2021 00:00	20/09/2021 00:00	28/07/2021 22:04	27/07/2021 00:00	28/07/2021 00:00	10/01/1900 08:29	7/07/2021 00:00	24/08/2021 00:00

Name	Cell	Function	Graph	Minimum	Maximum	Mean	Mode	Median	Std. Deviation	1%	99%
Construcción de estructuras auxiliares / Final	D15	RiskOutput(A15)		27/02/2020 00:00	2/03/2020 00:00	27/02/2020 19:51	28/02/2020 00:00	28/02/2020 00:00	1/01/1900 01:24	27/02/2020 00:00	2/03/2020 00:00
Relleno sobre cubierta hasta nivel de superficie / Final	D16	RiskOutput(A16)		25/10/2021 00:00	24/01/2022 00:00	30/11/2021 23:32	30/11/2021 00:00	1/12/2021 00:00	10/01/1900 10:12	9/11/2021 00:00	28/12/2021 00:00
Losa de andén. Forjado placa autoportante alveolada	D17	RiskOutput(A17)		3/08/2021 00:00	1/11/2021 00:00	8/09/2021 16:32	7/09/2021 00:00	8/09/2021 00:00	10/01/1900 09:46	18/08/2021 00:00	5/10/2021 00:00
Escaleras y muros / Final	D18	RiskOutput(A18)		9/08/2021 00:00	12/11/2021 00:00	16/09/2021 09:11	15/09/2021 00:00	16/09/2021 00:00	10/01/1900 22:47	24/08/2021 00:00	13/10/2021 00:00
Gierre de huecos temporales en losa vestíbulo / Final	D19	RiskOutput(A19)		20/07/2021 00:00	18/10/2021 00:00	25/08/2021 10:48	24/08/2021 00:00	25/08/2021 00:00	10/01/1900 09:20	4/08/2021 00:00	21/09/2021 00:00
Cierre de huecos temporales en losa dintel / Final	D20	RiskOutput(A20)		17/08/2021 00:00	15/11/2021 00:00	21/09/2021 23:31	21/09/2021 00:00	22/09/2021 00:00	10/01/1900 10:13	31/08/2021 00:00	19/10/2021 00:00
Excavación de accesos hasta cota inferior de la solera	D21	RiskOutput(A21)		19/07/2021 00:00	25/10/2021 00:00	26/08/2021 20:27	25/08/2021 00:00	26/08/2021 00:00	10/01/1900 21:59	4/08/2021 00:00	23/09/2021 00:00
Vaciado de solera de accesos / Final	D22	RiskOutput(A22)		11/08/2021 00:00	17/11/2021 00:00	21/09/2021 18:23	21/09/2021 00:00	22/09/2021 00:00	11/01/1900 01:44	30/08/2021 00:00	19/10/2021 00:00
Vaciado de muros de contención de accesos / Final	D23	RiskOutput(A23)		17/09/2021 00:00	31/12/2021 00:00	1/11/2021 19:59	2/11/2021 00:00	2/11/2021 00:00	11/01/1900 10:58	8/10/2021 00:00	30/11/2021 00:00
Construcción de cubierta de accesos / Final	D24	RiskOutput(A24)		26/10/2021 00:00	4/02/2022 00:00	8/12/2021 00:03	8/12/2021 00:00	8/12/2021 00:00	11/01/1900 12:08	12/11/2021 00:00	5/01/2022 00:00
Duración en Días	B25	RiskOutput()		618.000	718.000	660.188	660.000	660.000	11.372	637.000	688.000
Final	D25	RiskOutput()		27/10/2021 00:00	4/02/2022 00:00	8/12/2021 04:31	8/12/2021 00:00	8/12/2021 00:00	11/01/1900 08:55	15/11/2021 00:00	5/01/2022 00:00

## ANEXO 5: Reinyección en el terreno del caudal de bombeo

### 5.1. Inyección en el trasdós de la pantalla (5 m desde el trasdós)

Se muestra a continuación la salida del modelo numérico preparado para este análisis. Las características del pozo de recarga son las siguientes:

- Pozo de 20 m de profundidad y a 5 m de distancia de la excavación
- Se considera una reinyección de caudal distribuida a lo largo de la longitud del pozo

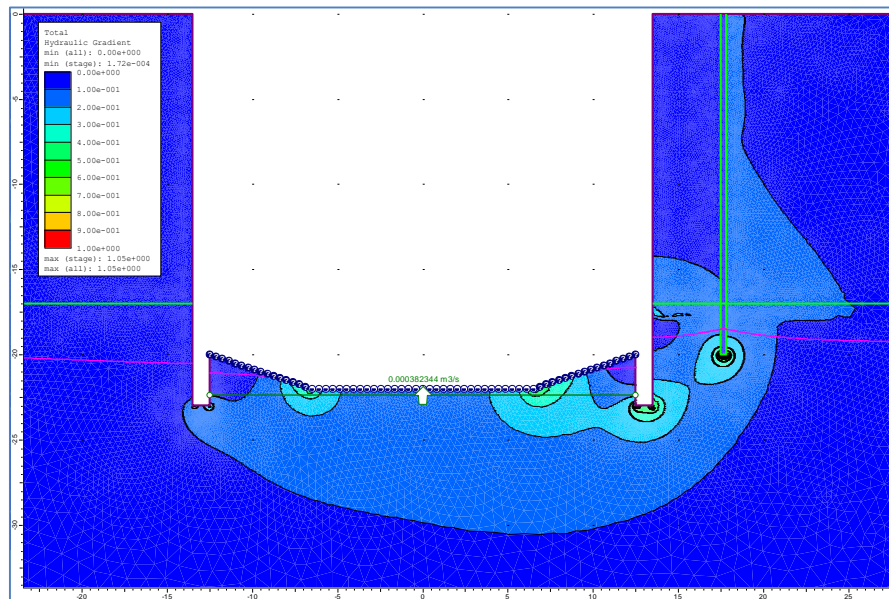


Figura N° 15: Reinyección de caudal en el trasdós (5 m desde el trasdós)

Fuente: Elaboración Propia

En base a los resultados obtenidos se pueden indicar las siguientes consideraciones:

- Aumento de gradientes en el trasdós y el pie de pantallas (de  $i=0,12$  a  $i=0,34$ )
- Aumento de caudales a bombear (de  $Q=23$  m<sup>3</sup>/día a  $Q=33$  m<sup>3</sup>/día por metro de estación)
- El flujo descendente de agua en el trasdós puede producir un aumento de las tensiones efectivas que a su vez puede conllevar asientos adicionales en superficie.
- Velocidades altas de flujo que pueden generar arrastre y lavado de materiales finos en la zona del trasdós de la pantalla, lo que puede generar modificación en los parámetros resistentes del mismo.



- El ascenso del nivel freático, por encima del nivel considerado en el cálculo estructural, en el trasdós de la pantalla genera mayores empujes a los estimados.

### 5.2. Inyección a 50 m de la excavación

En este segundo caso se plantea la reinyección de caudal a 50 m de distancia desde la excavación, con las siguientes características para la recarga:

- Pozo de 20 m de profundidad y a 50 m de distancia de la excavación
- Se considera una reinyección de caudal distribuida a lo largo de la longitud del pozo

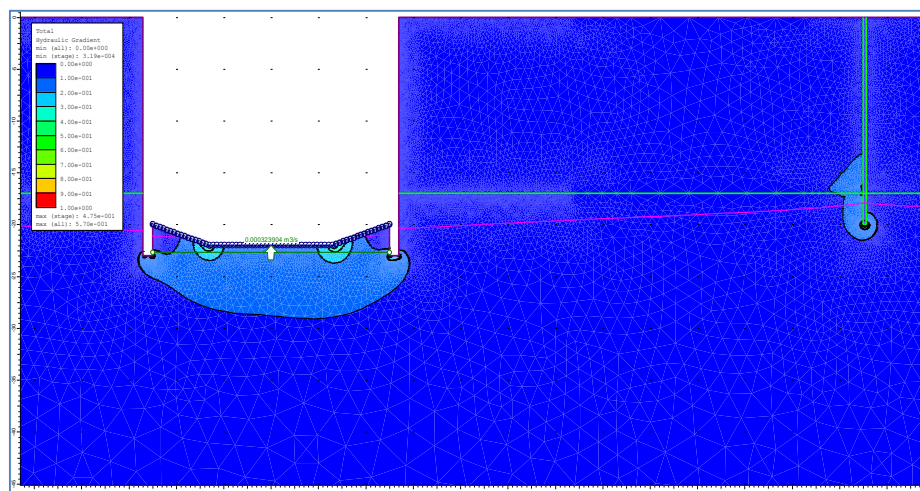


Figura N° 16: Reinyección de caudal a 50 m de la excavación

Fuente: Elaboración Propia

En base a los resultados que se obtienen se consideran las siguientes conclusiones:

- El aumento de gradientes en el trasdós y el pie de pantalla es despreciable
- Se aumenta el caudal a bombear (de  $Q=23$  m<sup>3</sup>/día a  $Q=28$  m<sup>3</sup>/día por metro de estación)
- No existe flujo descendente de agua en el trasdós de la pantalla
- El ascenso del nivel freático en el trasdós de la pantalla es despreciable

### 5.3. Inyección a 100 m de la excavación

Esta alternativa plantea la reinyección a 100 m de distancia. Las características de la recarga son iguales a los dos casos anteriores exceptuando la distancia de reinyección:

- Pozo de 20 m de profundidad a 100 m de distancia de la excavación

- Se considera una reinyección de caudal distribuida a lo largo de la longitud del pozo

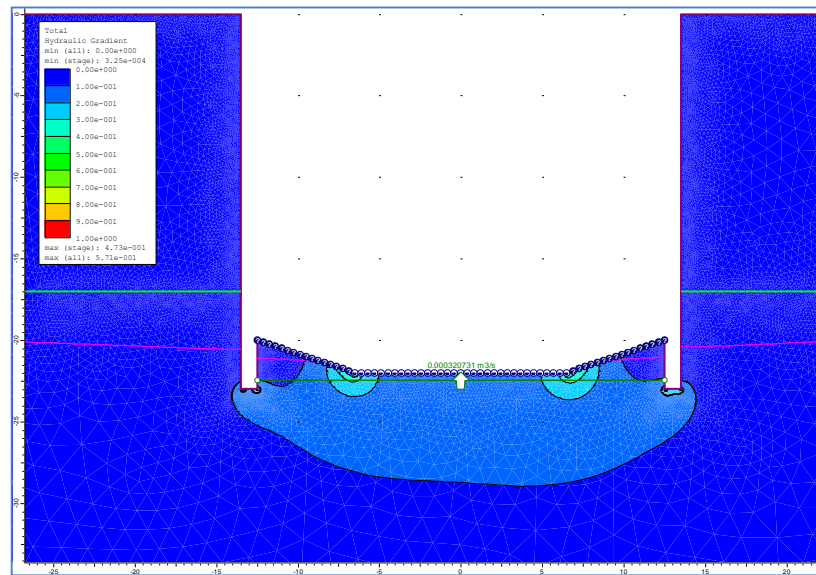


Figura N° 17: Reinyección de caudal en el trasdós (100 m desde la excavación)

Fuente: Elaboración Propia

En base a los resultados obtenidos se consideran las siguientes conclusiones:

- No se modifican los gradientes hidráulicos en el trasdós de la pantalla
- Se aumenta el caudal a bombear (de  $Q=23$  m<sup>3</sup>/día a  $Q=27$  m<sup>3</sup>/día por metro de estación)
- No existe flujo descendente de agua en el trasdós de la pantalla
- No existe ascenso del nivel freático en el trasdós de la pantalla

#### 5.4. Inyección a 250 m de la excavación

Por último, se plantea la reinyección a 250 m de la excavación, esta distancia se corresponde aproximadamente con el radio de influencia por lo que, como se comprueba con el modelo de cálculo, no genera variaciones del medio en las proximidades de la excavación. Las características de la recarga son iguales a los dos casos anteriores exceptuando la distancia de reinyección:

- Pozo de 20 m de profundidad y a 250 m de distancia de la excavación
- Se considera una reinyección de caudal distribuida a lo largo de la longitud del pozo

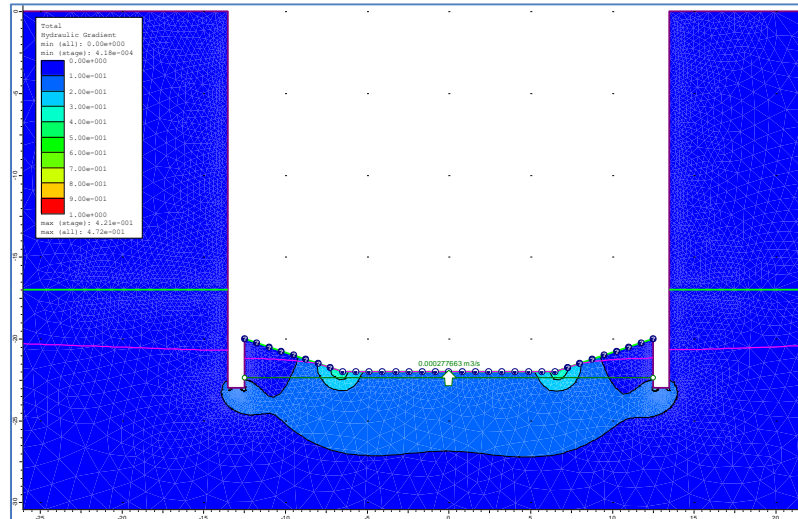


Figura N° 18: Reinyección de caudal en el trasdós (250 m desde la excavación)

Fuente: Elaboración Propia