UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

ESCUELA DE POSTGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Aplicación de la metodología Top Down en la construcción de estaciones de metro

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para optar el grado académico de Maestro en Dirección de la Construcción

AUTOR(ES)

Chiri Reyes, Luis Alexander (0000-0002-6354-6954)

Mendoza Carreño, Paul (0000-0001-8096-3162)

Poma Ancasí, Edison (0000-0002-8159-5741)

ASESOR

Muñoz Aznaran, Roberto Manuel (0000-0003-1863-4063)

Lima, 22 de Marzo de 2019

DEDICATORIA

*A nuestros familiares que nos han apoyado durante todo este tiempo en el que hemos
elaborado este trabajo.*

*A nuestros colegas que nos brindaron información y asesoramiento sobre algunos
procesos constructivos.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Ciencias Aplicadas y nuestro compañero Paul Mendoza quienes nos proporcionaron un ambiente adecuado para reuniones de grupo, con nuestro asesor y de esta forma poder consolidar la tesis que presentamos a continuación.

A los Gerentes de Proyecto y equipo de dirección de Proyecto de nuestras empresas, con que quienes hemos compartido opiniones referentes a diferentes criterios para direccionar nuestro trabajo de tesis.

A nuestro asesor quien nos ha guiado durante todo este tiempo y nos brindó las pautas necesarias para concretar nuestra tesis

RESUMEN

El presente trabajo permitirá dar a conocer sobre la metodología Top – Down y sus beneficios, la cual se utiliza actualmente en la Construcción de Estaciones para la Línea 2 del Metro de Lima.

Planteamos la investigación, considerando la utilización de esta nueva metodología como consecuencia del caos vehicular que presenta el país, lo cual conllevó a la construcción de la Línea 2 del Metro, buscando nuevas tecnologías que causen el menor impacto social, reduciendo el plazo de ejecución y reduciendo el tiempo de restablecimiento de la vía intervenida.

La investigación se realizó a través de consultas, recolección de información de diferentes tipos de proyectos sobre esta nueva metodología Top Down, comparando con el proceso constructivo tradicional Bottom Up, considerando diferentes criterios como plazos, costos, TIR, VAN, tiempo de restablecimiento vehicular, seguridad para la construcción de una de las estaciones (E-23 Hermilio Valdizán) evaluando cuál es más favorable.

Palabras clave: Top down; estación; metro; re-establecimiento; reducción de plazo.

Application of the Methodology Up Down in the Construction of Metro Stations

ABSTRACT

This work will make known about the Top - Down methodology and its benefits, which is currently used in the Construction of Stations for Line 2 of the Lima Metro.

We propose the investigation, considering the use of this new methodology as a consequence of the vehicular chaos that the country presents, which led to the construction of Line 2 of the Metro, looking for new technologies that cause the least social impact, reducing the execution period and reducing the restoration time of the intervened road.

The research was carried out through consultations, gathering information on different types of projects on this new Top Down methodology, comparing with the traditional Bottom Up construction process, considering different criteria such as terms, costs, TIR, VAN, vehicle restoration time, security for the construction of one of the stations (E-23 Hermilio Valdizán) evaluating which is more favorable.

Keywords: Top down; station; metro; re-establishment; reduction of term.

TABLA DE CONTENIDOS

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	8
1.6. TIPO DE INVESTIGACIÓN	9
1.7. ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.9. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	10
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	12
2.2. BENEFICIOS	13
2.3. ESTRUCTURAS DE CONCRETO	13
2.3.1. METODOLOGÍA TRADICIONAL	13
2.4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	21
2.4.1. ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTI CRITERIO	21
2.4.2. ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)	23
2.4.3. WEIGHTED SCORING METHOD (WSM)	23
2.5. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	24
2.6. JUICIO DE EXPERTOS	26
3. METODOLOGÍA	27
3.1. ANTECEDENTES	27
3.1.1. METROS A NIVEL MUNDIAL	27
3.1.2. METROS A NIVEL AMÉRICA - LATINOAMÉRICA:	30
3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	33
3.2.1. CASO DE ESTUDIO: LÍNEA 2 METRO DE LIMA – CALLAO, PERÚ	33
3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ETAPA 1A	33
3.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTACIÓN E-23 HERMILIO VALDIZAN	34
3.5. DISEÑO FUNCIONAL Y ARQUITECTÓNICO	36

3.6.	ASPECTOS BÁSICOS DEL ESTUDIO DE INGENIERÍA	39
3.6.1.	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA	39
3.6.2.	HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA	41
3.7.	PROCESO CONSTRUCTIVO, PLANEAMIENTO Y EJECUCIÓN METODOLOGÍA TOP – DOWN	41
3.7.1.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL TOP DOWN	51
3.8.	PROCESO CONSTRUCTIVO CON METODOLOGÍA TRADICIONAL (BOTTOM Up), PLANEAMIENTO DE LA EJECUCIÓN	53
3.8.1.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TIPO TRADICIONAL (BOTTOM Up).....	57
3.9.	PROGRAMACIÓN Y PLAZOS DE EJECUCIÓN EN CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN E-23 HERMILIO VALDIZAN, MEDIANTE MÉTODO TRADICIONAL (BOTTOM Up) Y TOP DOWN.	59
3.9.1.	PROGRAMACIÓN GENERAL DE OBRA	59
3.9.1.1.	PROGRAMACIÓN TRADICIONAL:	59
3.9.1.2.	PROGRAMACIÓN TOP DOWN:.....	60
4.	EVALUACIÓN DE PROCESO CONSTRUCTIVO	61
4.1.	ANÁLISIS DE PLAZOS DE EJECUCIÓN	61
4.2.	ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS.....	64
4.2.1.	ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS MEDIANTE METODOLOGÍA TOPDOWN	64
4.2.2.	ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS MEDIANTE METODOLOGÍA TRADICIONAL (BOTTOM Up)	66
4.2.3.	ANÁLISIS DE BRECHAS.....	68
4.3.	ANÁLISIS EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE RESTABLECIMIENTO	68
4.4.	ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DEL PROYECTO	69
4.4.1.	VALOR ACTUAL NETO (VAN)	69
4.4.2.	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	70
4.5.	ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD	71
4.6.	EVALUACIÓN DE CRITERIOS	73
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
6.	REFERENCIAS	77
7.	ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de Valoración de parámetros por método Constructivo	24
Tabla 2. Análisis de Juicio de Expertos.....	26
Tabla 3. Rasantes estación E-23 Hermilio Valdizan	36
Tabla 4. Parámetros geotécnicos de cálculo para la estación Hermilio Valdizán.	40
Tabla 5. Cálculo de Caudal.....	41
Tabla 6. Cuadro Comparativo de duración de cada método constructivo.....	61
Tabla 7. Cuadro Tiempo de Puesta en Marcha Etapa 1A.....	63
Tabla 8. Presupuesto Construcción de la E.23 Método Top Down.....	64
Tabla 9. Presupuesto Construcción de la E. 23 Método Tradicional (Bottom Up).....	66
Tabla 10. Análisis de Brechas entre Método Tradicional y Top Down	68
Tabla 11. Costo de Funcionamiento Etapa 1A x día	68
Tabla 12. Costo de Funcionamiento Etapa 1A x 2 meses	69
Tabla 13. Costo de Funcionamiento Etapa 1A x 1 mes	70
Tabla 14. Resultado del Cálculo del VAN – Periodo 25 años	70
Tabla 15. Resultado del Cálculo del TIR – Periodo 25 años.....	70
Tabla 16. Cuadro de Evaluación de Criterios.....	73
Tabla 17. Cuadro de Índice de Criterios según metodología WSM.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología Tradicional Bottom – Up mediante calzada y/o muros anclados.	14
Figura 2. Calzada por franjas horizontales.....	15
Figura 3. Muros Anclados. Fuente: Sistema de estabilización del terreno para el caso de excavaciones de edificios con sótano.	17
Figura 4. Cronograma según metodologías Top Down y Tradicional.	21
Figura 5. Tren Urbano de San Juan, Puerto Rico	30
Figura 6. Metro de la Ciudad de México, México.....	31
Figura 7. Metro de Santo Domingo, República Dominicana	32
Figura 8. Situación en planta de la estación Hermilio Valdizan	34
Figura 9. Planta nivel de andén de la estación E-23 Hermilio Valdizan.....	35
Figura 10. Sección longitudinal de la estación E-23 Hermilio Valdizan	35
Figura 11. Planta nivel de pre vestíbulo de la estación E-23 Hermilio Valdizan.....	36
Figura 12. Sección Transversal de la estación Hermilio Valdizan.....	37
Figura 13. Planta de Pre vestíbulo estación Hermilio Valdizán	38
Figura 14. Planta de Vestíbulo estación Hermilio Valdizán	39
Figura 15. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase A	42
Figura 16. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase A	42
Figura 17. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase B.....	43
Figura 18. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase B.....	43
Figura 19. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase C.....	44
Figura 20. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase C.....	44
Figura 21. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase D	45
Figura 22. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase D	45
Figura 23. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase E.....	46
Figura 24. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase E.....	46
Figura 25. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase F	47
Figura 26. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase F	47
Figura 27. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase G	48
Figura 28. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase G	48
Figura 29. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase H	49
Figura 30. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase H	49
Figura 31. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase I.....	50

Figura 32. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase I.....	50
Figura 33. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase J.....	51
Figura 34. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase J.....	51
Figura 35. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase A	53
Figura 36. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase B	54
Figura 37. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase C	55
Figura 38. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase D	56
Figura 39. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase E.....	56
Figura 40. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase F.....	57
Figura 41. Diagrama Espacio – Tiempo Método Top Down Etapa 1A	62
Figura 42. Diagrama Espacio – Tiempo Método Tradicional (Bottom Up) Etapa 1A	63
Figura 43. Gráfico Comparativo de TIR para el método Tradicional y TOP DOWN	71
Figura 44. Criterio de Consecuencias y Probabilidades de Riesgo	71
Figura 45. Análisis de seguridad entre método Tradicional (Bottom Up) y Top Down.	72

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La ciudad de Lima es la capital de la República del Perú, la cual se sitúa en la costa central del país, a orillas del océano pacífico, conformando una extensa y populosa área urbana conocida como Lima Metropolitana.

Actualmente el caos vehicular es uno de sus más grandes problemas, según (Marketwin, 2017), revela que el 92% de los limeños sufre de estrés por el tráfico urbano, entre los que se encuentran el incremento desmesurado del parque automotor y la carencia de nuevas vías y/o alternativas de transporte. Ante este creciente problema, se propuso la construcción de las 5 líneas de metro.

La construcción de la línea 01 del metro de Lima, evidenció nuevas dificultades y deficiencias con el método constructivo tradicional “Bottom Up”, como el cierre por largos periodos de las principales vías de nuestra capital, larga duración del proyecto debido a que no se podía tener un tren de avance sin interrupción, grandes costos en Stand by y otros que al inicio sólo acrecentaron el problema principal y generaron malestar en la población. Ante esta nueva dificultad, en otros países se ha aplicado con éxito el método constructivo Top Down.

Según (David, 2014) menciona que se puede reducir hasta en un 30 % aproximadamente el plazo de ejecución de un proyecto.

La construcción de la línea 02 del metro de Lima, hace uso de esta nueva metodología reduciendo significativamente el tiempo de re-establecimiento del servicio de tránsito vehicular durante su ejecución, disminuyendo la duración del proyecto y generando menores costos de Stand by, esta nueva metodología es un método constructivo innovador en nuestro país y también es aplicable en edificaciones, estacionamientos, plantas industriales, etc. Así mismo, pese a generar mayores costos iniciales, permitirá mantener la

rentabilidad del proyecto, mediante una evaluación del costo de construcción versus las rentas provenientes de la puesta en funcionamiento.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo evaluar de forma integral la metodología Top Down en la Construcción del casco de concreto de una estación de metro subterráneo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Proponer la metodología Top Down en la Construcción del casco de concreto de una estación de metro subterráneo para la reducción del plazo de construcción. Caso: Estación E – 23 – Hermilio Valdizan del Metro 2 de Lima.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Análisis y evaluación del plazo del casco de concreto de una estación de metro subterráneo entre el método constructivo Top Down y el método tradicional.
- ✓ Análisis y evaluación de los costos directos del casco de concreto de una estación de metro subterráneo entre el método constructivo Top Down y el método tradicional.
- ✓ Análisis y evaluación del tiempo de restablecimiento de la estación de metro subterráneo entre la metodología Top Down y el método tradicional.
- ✓ Análisis y evaluación de los índices de seguridad en la construcción de una estación de metro subterráneo entre el método constructivo Top Down y el método tradicional.

1.4. Justificación de la investigación

La investigación descriptiva, se justifica porque en nuestro país es un método innovador, que puede ser aplicado en edificaciones con sótanos profundos, estacionamientos subterráneos, plantas industriales, centros comerciales con sótanos.

En la actualidad la ciudad de Lima tiene previsto la construcción de 5 líneas de metro de los cuales hasta el momento solamente se construyó la Línea 1 y la línea 2 que se encuentra en ejecución, la línea 4 se encuentra actualmente el proceso de perfil de inversión, como se menciona queda pendiente la construcción de las líneas 2, 3 y 4, los cuales se van a realizar con la metodología de la línea 2.

Según (Mapcity, 2016), en la actualidad Lima se encuentra con un déficit de 15% centros comerciales, este déficit se encuentra en aumento debido al proceso migratorio de las personas hacia la capital, por lo que se tendrá que construir nuevos centros comerciales en los próximos años, de igual manera según la consultora (HGPGGroup, 2017) en la ciudad de Lima se encuentra un déficit de 59% de departamentos, que de igual manera se tiene que cubrir este déficit por lo cual se puede aplicar la metodología Top Down en estos futuros proyectos.

1.5. Formulación de la hipótesis

La metodología Top Down reduce el plazo en la construcción del casco de concreto de la estación de metro subterráneo. Caso: Estación E – 23 – Hermilio Valdizan del Metro de la Línea 2 de Lima.

1.6. Tipo de Investigación

De acuerdo con el propósito planteado de la investigación, naturaleza de los problemas y objetivos formulados en el trabajo, el presente estudio reúne las condiciones suficientes para ser calificado como una investigación descriptiva.

1.7. Organización de la Investigación

Para alcanzar los objetivos planteados se ha dividido el presente trabajo de investigación en los siguientes capítulos:

En el capítulo I, se define el problema, objetivos e hipótesis de la investigación, se detalla la justificación de la investigación, se describe los aspectos metodológicos y se definen el alcance y las limitaciones de la investigación.

En el capítulo II, se describe el marco teórico, los beneficios de la aplicación de la metodología Top Down, las bases teóricas y la metodología de evaluación.

En el capítulo III, se define el área de estudio, se detalla la descripción general de proyecto, se explican los aspectos básicos sobre el estudio, alcances del caso estudiado, proceso constructivo tipo Top Down aplicado al estudio, se procesa la información para ambas metodologías Top Down y tradicional Bottom up.

En el capítulo IV, analiza los criterios de valoración definidos para ambas metodologías Top Down y tradicional Bottom up, se procesa la información para ambas metodologías Top Down y tradicional Bottom up, obteniendo mediante la valoración WSM.

En el capítulo V, se exponen los resultados, se brinda recomendaciones acordes a la información procesada y se detallan las referencias bibliográficas.

1.8. Metodología de la Investigación

La metodología del proyecto contempló:

- ✓ Primera Fase: Recopilar información de diversas fuentes.
- ✓ Segunda Fase Definir los criterios de evaluación de ambas metodologías.
- ✓ Tercera Fase: Analizar y procesar los datos correspondientes a los criterios definidos en la metodología Top Down en la construcción del casco de concreto de construcción de la estación E – 23 – Hermilio Valdizan.
- ✓ Cuarta Fase: Preparación del caso hipotético bajo la metodología tradicional y estimar los datos correspondientes a los criterios de evaluación para su comparación con la metodología Top Down en la construcción del casco de concreto de la estación E – 23 – Hermilio Valdizan.
- ✓ Quinta Fase: Aplicar la metodología WSM (Weighted Scoring Model) para realizar un comparativo de los criterios de evaluación entre ambas metodologías y definir la alternativa más conveniente.
- ✓ Sexta Fase: Análisis Integral de los resultados obtenidos con la metodología en la construcción del casco de concreto en una estación de metro subterráneo.
Caso: Estación E – 23 – Hermilio Valdizan.

1.9. Limitaciones de la Investigación

La investigación descriptiva se limita a:

- ✓ El estudio se realizó solamente para el casco de concreto de la estación de pasajero de metro subterráneo ubicado en la ciudad de Lima, asumiéndose que los trabajos preliminares y trabajos posteriores a la construcción del casco de concreto no eran afectadas.
- ✓ No se realizó la evaluación a detalle de toda la línea del metro (Pozos de

Ventilación, Túneles y Arquitectura y Equipamiento Electromecánico), los cuales son parte de la Etapa 1A de la Línea 2 del Metro de Lima, asumiendo que la construcción del túnel no es parte de la ruta crítica.

- ✓ Se excluyó cualquier impacto por vicios ocultos en el terreno a la hora de la ejecución.
- ✓ La evaluación económica se realizó sin considerar los costos indirectos y gastos generales del proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Internacionalmente existe variada experiencia en el empleo del sistema Top Down. Se estima que este método nació en la década de 1950 en Italia, como una solución a la construcción de una estación de metro. A partir de allí comienza a perfeccionarse en el resto de Europa y Japón. En estados unidos, en la década de 1980 surgió un auge en la construcción de subterráneos, por lo que este sistema llegó en ese entonces como alternativa para agilizar sus construcciones.

Según (Marambio Soto & Rubio Meneses, 2013), para la ampliación de un centro comercial ubicado en el sector oriente de la región metropolitana de Chile, el cual incluye 9 niveles de subterráneos y 4 de planta superior, además de la demolición y cambio de una tienda comercial, entre los métodos Tradicional y Top Down ($\Delta = 14,622.61$ MM\$), es conveniente emplear el método Top Down solamente en los escenarios optimistas (18,167.58 MM\$, $r=13$ %) y normal (15,797.26 MM\$, $r=11$ %); sin embargo, para un escenario pesimista (13,291.78 MM\$, $r=9$ %) no es conveniente. Esto es debido a la reducción en el plazo desde 56 meses (Método Tradicional) hasta 40 meses (Método Top Down), siendo posible comenzar a vender 16 meses antes de su construcción total.

Según (David, 2014), para un edificio con área techada de 27,948.77 m² y 13,929.34 m² de área destinada a oficinas y usos comunes (Edificio Real 2) en Perú, entre los métodos Tradicional y Top Down ($\Delta = S/. 3'553,960.13$) es conveniente emplear el Método Top Down debido al beneficio por rentas anticipadas (S/. 4'485,247.48). Esto es debido a la reducción en el plazo desde 22 meses (Método Tradicional) hasta 17 meses (Método Top Down), siendo posible comenzar a vender 16 meses antes de su construcción total.

Según (Integralia, 2017), el método Top Down ahorra hasta en un 30 % los costos y tiempo de ejecución, siendo ideal para aquellas obras que constan tanto de una estructura superior como subterránea.

2.2. Beneficios

Dentro de los beneficios que se pueden encontrar es que esta metodología permite acelerar la construcción de estructuras enterradas ya que permite su construcción de arriba (superficie) hacia abajo, lo cual nos genera una reducción significativa en los plazos de ejecución.

A pesar de ser una metodología poco conocida, no requiere de grandes implementaciones en las técnicas tradicionales en la construcción de edificación, además se tiene la ventaja de que, en condiciones meteorológicas adversas como lluvias, estas no retardaría los trabajos de excavación, ya que se seguiría trabajando en el interior del casco de concreto. (Marambio Soto & Rubio Meneses, 2013)

2.3. Estructuras de Concreto

2.3.1. Metodología Tradicional

Este método constructivo es la forma tradicional que utilizamos para la ejecución de sótanos en edificaciones en general. Donde se realiza la excavación de forma completa hasta llegar al nivel mayor profundidad y desde allí se empieza a realizar la construcción de los sótanos desde abajo hacia arriba.

Actualmente contamos con dos procesos constructivos para realizar esta excavación: mediante calzadura y/o muros pantalla.

Figura 1. Metodología Tradicional Bottom – Up mediante calzadura y/o muros anclados.

a. Calzaduras

- Excavación masiva: Se hace por tramos, a medida que se van terminando los anillos planteados en los planos se va excavando la altura del anillo siguiente.
- Excavación Manual de banquetta y de calzadura: Se realiza como continuación de la excavación masiva, y excavando alternadamente o en frentes separados.
- Encofrado de Calzadura: En esta etapa se tapan o encofran los espacios dejados de las calzaduras, dejando una abertura en la parte superior para el respectivo vaciado.
- Vaciado de calzadura: El proceso de vaciado se realiza mediante buguis y abastecidos por una mezcladora.
- Desencofrado: Se puede realizar al día siguiente, tratando de no maltratar la madera para poder usarlo la mayor cantidad de veces posible.
- Se repiten los pasos anteriores del 1 al 6 hasta alcanzar la profundidad deseada.

Figura 2. Calzadura por franjas horizontales.

b. Muros colgados o anclados

Este método se caracteriza por la rapidez de ejecución de los muros de subterráneo a medida que se realiza la excavación. La modalidad consiste en la construcción del muro perimetral a través de paños independientes, con excavaciones parciales en la zona de esos paños. Una vez terminada la excavación del paño se procede a encofrar y disponer la armadura del paño de muro. Enseguida se procede a vaciar el paño. Una vez terminado el vaciado del paño se realiza el desencofrado y se continúa con la instalación del anclaje del paño. Al completar la totalidad de paños perimetrales que cubren el primer subterráneo, se pasa a repetir el procedimiento en una segunda fila.

Los paños son normalmente de 3 metros de altura por 4,5 a 5 metros de largo. Los fierros verticales y horizontales sobresalen hacia abajo y hacia los costados, aproximadamente 50 cm, para hacer el empalme con el paño adyacente y posteriormente con el paño de la fila inferior. Cuando hay una construcción

vecina lo recomendable es hacer la primera fila de paños con longitudes menos de máximo 2,5 metros de altura. Además, en general en la primera fila de anclajes se deja una separación de 2,5 metros, mientras que en las siguientes filas se deja una separación de 5 metros. (Antonio, 2015)

- Excavación masiva: En esta etapa es similar a la de calzaduras, se hace por etapas a medida que se va profundizando.
- Excavación manual de banquetta y perfilado.
- Colocación de armadura de muro.
- Encofrado de muro: se inicia con la colocación de las soleras para apoyar las primeras planchas de encofrado.
- Vaciado de muro: se realiza con concreto premezclado o mezcladora y buguis.
- Desencofrado de muro: procedimiento convencional realizado al día siguiente del vaciado.
- Instalación de anclajes postensados.
- Tensado de anclajes.
- Se repiten los pasos anteriores del 1 al 8 hasta alcanzar la profundidad deseada. (Cabellos Gavidia, 2012)

Figura 3. Muros Anclados. Fuente: Sistema de estabilización del terreno para el caso de excavaciones de edificios con sótano.

2.1.1. Método Top Down

Este método constructivo consiste construir inicialmente los muros o paredes perimetrales y columnas de soporte de la estructura con muros pantalla o pilotes excavados, luego se excava hasta la cota inferior de losa y se vacía las vigas y la losa directamente sobre el terreno, repitiendo este proceso en cada nivel bajo la superficie, excavando y vaciando sobre terreno, se completa así la estructura bajo la superficie (descendente) mientras la estructura superior (ascendente) puede comenzar a construirse en forma independiente a medida que avanza el proceso.

Tradicionalmente, el sistema constructivo de edificaciones con sótanos es de abajo hacia arriba. Es decir, se comienza por el fondo del nivel del sótano, hasta la parte superior del edificio, este método es simple en diseño y en construcción, pero para proyectos de gran envergadura, y con el tiempo limitado, este proceso deja de ser factible.

Al aplicar la metodología Top-down cambia la ruta crítica del proyecto,

disminuyendo el tiempo de ejecución.

El proceso consta de los siguientes pasos a seguir, los cuales pueden tener alguna variación: (David, 2014)

- Vaciar pilotes perimetrales y muros pantalla in situ, cuidando que tengan un buen acabado y que estén aplomadas.

- Instalar los pilotes centrales, los que pueden ser de concreto o de perfiles de acero estructural.

- Vaciar la losa a nivel de terreno para confinar los pilotes y muros pantalla.

- Comenzar la construcción sobre la superficie. Después que la losa de concreto ha alcanzado cierta resistencia, puede comenzar la excavación. La excavación debajo de la primera losa es similar al proceso minero, el cual requiere equipos de limpieza de sobrecarga, una banda transportadora vertical de acarreo sería muy conveniente debido al poco espacio disponible.

- Continuar con la excavación y construcción de los niveles inferiores hasta llegar a la cota de fondo requerida.

Mientras que con el proceso constructivo tradicional, la construcción de una edificación comienza con el movimiento de tierras, excavación masiva y eliminación de material excedente, al mismo tiempo que se lleva a cabo la estabilización de los taludes mediante muros pantalla, soil nailing, etc., para luego comenzar con la construcción de la subestructura desde el fondo hasta el final de la superestructura (Bottom Up); utilizando este método constructivo, podemos construir una edificación literalmente en dos direcciones, de arriba abajo (Top – down), en el caso de los sótanos y de abajo a arriba (Bottom – up) en el caso de la construcción sobre la rasante (superestructura).

Es importante tener en cuenta que esto significa tener dos frentes de trabajo, lo que aumentaría la cantidad de personal obrero, staff y las obras y servicios provisionales necesarios para ambos frentes. Los siguientes esquemas de planeamiento muestran la diferencia de plazo que existe entre el método tradicional y el “Top – Down”: (David, 2014).

Cronograma según método tradicional Bottom Up (22 meses)

Cronograma según método "Top – Down" (17 meses).

Figura 4. Cronograma según metodologías Top Down y Tradicional.

2.4. Metodología de Evaluación

2.4.1. Análisis de Decisión Multi criterio

a. Goal-programming and multi-objective optimization methods.

- **Programación por metas**

Según (Torres, 2009), ha sido uno de los métodos más divulgados en el análisis multi objetivo. Fue desarrollado por Charnes, Cooper y Ferguson (1955) y tiene como propósito minimizar el nivel de desviación entre la meta lograda del objetivo y una meta inicialmente propuesta por el decisor.

Según (IEEE, 1999), la programación de objetivos es una técnica utilizada a menudo en las actividades de diseño de ingeniería principalmente para encontrar una solución comprometida que satisfaga simultáneamente una serie de objetivos de diseño.

- **Programación por compromiso**

Según (Torres, 2009), este método fue propuesto inicialmente por Zeleny (1973), quien propuso hallar una solución o conjunto de ellas que estén más cercana a un punto ideal propuesto por el decisor. Este punto representa lo que el decisor desea obtener en cada objetivo y por lo general, debido al conflicto entre los objetivos, es un punto inalcanzable.

- **Funciones de utilidad o de valor multi-atributo**

Según (Torres, 2009), una función de utilidad o de valor individual es una función que convierte el valor de un objetivo o atributo en otro que representa la preferencia del individuo con relación a ese valor.

La función de valor se diferencia de las de utilidad, porque las primeras se definen en un contexto determinístico y las segundas en uno probabilístico. En el caso de las funciones de valor, el decisor la definirá teniendo en cuenta la importancia que le da a la función objetivo que esté evaluando, en cambio que la función de utilidad la construye determinando las preferencias del decisor ante varios escenarios. Halladas las funciones de utilidad o de valor para cada objetivo, se puede hallar la función de utilidad o de valor multi-atributo.

b. Value-based methods (AHP and WSM)

Según (Pallarés, 2015), cuando se usa este tipo de metodologías se asocia una puntuación numérica o valor a cada alternativa, de forma de producir un orden de preferencia, consistente con los juicios de valor expresados por los participantes.

2.4.2. Analytic Hierarchy Process (AHP)

Según (Anil Jadhav, 2009), fue propuesto por el Dr. Thomas Saaty a finales de 1970 y se ha aplicado en una amplia variedad de aplicaciones en diversos campos. Este método permite la consideración de factores subjetivos al seleccionar la segunda alternativa. La metodología se basa en tres principios: descomposición, juicios comparativos; y síntesis de prioridades.

Según (Singh, 2014), este método permite considerar factores cuantitativos y cualitativos para seleccionar la mejor alternativa.

2.4.3. Weighted Scoring Method (WSM)

Según (Singh, 2014), es una de las técnicas más antiguas utilizadas para la evaluación y selección de los paquetes de software, fue propuesta por el Dr. Thomas Saaty a finales de 1970. Como es un Enfoque MCDM, esta técnica se aplica a aquellas situaciones en las que hay 'n' número de variables y 'm' número de criterios de evaluación. Para seleccionar la mejor opción, utilizando WSM, se toman cinco pasos:

- Identificar criterios importantes para la selección.
- Asignar pesos/porcentajes a cada criterio, la suma debe ser 100 %.
- Asignar puntuaciones a cada criterio por cada variable.
- Multiplicar puntuaciones por pesos/porcentajes.
- La variable con el mayor valor acumulado es la mejor.

Para la presente investigación se hará uso de la metodología WSM, debido a que se tiene varios criterios de evaluación y variables. A continuación, se detalla el cuadro de criterio de evaluación, que nos permitirá determinar el método constructivo eficiente para este tipo de proyectos, para lo cual se evaluará diferentes parámetros en función a porcentajes

de incidencia y valoraciones que hemos obtenido mediante juicio de expertos (consulta realizada a gerentes y jefes de diferentes empresas constructoras):

Tabla 1. Cuadro de Valoración de parámetros por método Constructivo

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	INCIDENCIA	TOP - DOWN		TRADICIONAL		VARIACIÓN
				VALOR	(1)	VALOR	(2)	
1	PLAZO	Meses	18%					0
2	COSTO	Soles	18%					0
3	VIABILIDAD (VAN/TIR)	Porcentaje	40%					0
4	SEGURIDAD	Índice de Riesgo	24%					0
			RATIO	0	0	0	0	

2.5. Parámetros de Evaluación

- a. Plazo: Se realizó mediante la evaluación de cronogramas para ambos métodos.
- b. Costo: Se realizó mediante la evaluación de los costos directos de los presupuestos para ambos métodos considerando las partidas más incidentes, las cuales detallamos a continuación:

- Movimiento de tierras y eliminación:
 - Excavación de Pantallas.
 - Excavación de Pilotes.
 - Excavación Interior Caja.
 - Eliminación de Material.
 - Murete Guía:
 - Pantallas.
 - Pilotes.
- Encofrado:
 - Losa de Cubierta.
 - Losa de Vestíbulo.
 - Pila pilote.

- Acero de Refuerzo:
 - Pantallas.
 - Losa de Cubierta.
 - Losa de Vestíbulo.
 - Losa bajo anden.
 - Pila de Pilote.
 - Concreto:
 - Pantallas.
 - Losa de Cubierta.
 - Pila de Pilote.
 - Losa de Vestíbulo.
 - Losa Bajo Andén.
 - Anclajes:
 - Losa de cubierta.
 - Losa de vestíbulo.
 - Pila de pilote.
 - Otros:
 - Pantallas Estación.
 - Losa de cubierta.
 - Pila pilote.
 - Drenaje bajo losa.
- c. Viabilidad (TIR/VAN): Se determinó la tasa interna de retorno (%) y valor actual neto (Soles) según cronograma y presupuesto para ambos métodos.
- d. Seguridad: Se realizó mediante la evaluación de los índices de riesgo (Severidad x Probabilidad) de los peligros para ambos métodos.

2.6. Juicio de expertos

Para el juicio de expertos los datos obtenidos fueron validados por jefes, ingenieros de producción, seguridad, oficina técnica y planeamiento las empresas:

- INMAC Perú SAC
- Mota Engil Perú SAC
- COSAPI SA

Tabla 2. Análisis de Juicio de Expertos

ITEM	PARÁMETRO	COSAPI	INMAC PERU SAC	MOTA ENGIL	PROMEDIO
1	PLAZO	18%	22%	14%	18%
2	COSTO	14%	18%	22%	18%
3	VIABILIDAD (VAN/TIR)	45%	35%	40%	40%
4	SEGURIDAD	24%	24%	24%	24%

3. METODOLOGÍA

3.1. Antecedentes

Con el fin de conocer la Organización de la empresa que viene implementando esta metodología en el país, presentamos a La Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2 S.A. quien posee la concesión para el proyecto relacionado con el diseño, financiamiento, construcción, operación y mantenimiento de la Línea 2 del sistema Metro Lima y Callao, que tiene una extensión de 27Km. El contrato también incluye el ramal Avenida Faucett – Avenida Gambetta, de 8 Km., parte de la Línea 4, así como el suministro del material rodante y equipos electromecánicos. La entidad de propósito especial construirá 27 estaciones de metro en la Línea 2 y ocho en la Línea 4, aproximadamente 34 Km. De tuneles subterráneos y operará el proyecto durante 35 años. Esta sección del metro tendrá capacidad para transportar 1,2 millones de pasajeros por día. La primera etapa del proyecto comenzó en 2015 y beneficiará a 13 distritos de Lima. La sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2 es un consorcio integrado por las empresas COSAPI, Iridium, FCC, Salini Impregilo, Ansaldo STS, Ansaldo Breda. La compañía firmó un contrato EPC con un consorcio formado por sus mismos accionistas para la ejecución del proyecto de construcción. Su sede se encuentra en Lima.

3.1.1. Metros a Nivel Mundial

Internacionalmente existe variada experiencia en el empleo del sistema Top Down. Se estima que este método nació en la década de 1950 en Italia, como una solución a la construcción de una estación de metro. A partir allí comienza a perfeccionarse en el resto de Europa y Japón. En estados unidos, en la década de 1980 surgió un auge en la construcción de subterráneos, por lo que este sistema llegó en ese entonces como alternativa para agilizar sus construcciones.

A continuación, mencionamos las Top 10 líneas de Metro del mundo:

✓ **Londres, Inglaterra**

El metro londinense es el complejo subterráneo más grande de Europa, así como el más viejo del mundo (inaugurado en 1863). Cubre 253 millas y transporta a 976 millones de personas al año. El metro también está conectado a una serie de ferrocarriles interurbanos, e incluso un tren (el Eurostar) que conecta Londres con París.

✓ **París, Francia**

El metro de París es el segundo más antiguo del mundo (su origen data de 1900). Tiene 133 millas, cubriendo gran parte de la ciudad. La mayoría de sus estaciones fueron construida con un estilo único: el nouveau.

✓ **Moscú, Rusia**

El Metro de Moscú es simplemente el más usado en el mundo, con cerca de 3,2 billones de usuarios al año, viajando en 12 líneas y 172 estaciones. En total, el metro de Moscú cubre 178 millas. En un fin de semana promedio, el metro ruso lleva 8,2 millones de pasajeros. La mayoría de las líneas son subterráneas, sin embargo; hay un par que van en paralelo con puentes y túneles y que permiten la hermosa vista del río Moskva y Yauza.

✓ **Madrid, España**

El metro de Madrid es el segundo más grande de Europa. Tiene 141 millas de extensión. El metro de Madrid es el más densamente poblado del mundo.

✓ **Tokio, Japón**

El metro de Tokio es el sistema de transporte de 2,8 billones de usuarios al año. Tiene 282 estaciones. En adición, el sistema de transporte nipón también incluye el tren Toden Arakawa y el monorriel Ueno Zoo.

✓ **Seúl, Korea**

El metro de Seúl es uno de los más usados en el mundo, con cerca de 8 millones de pasajeros al día. También es uno de los más grandes, con 179 millas de extensión. 70% es bajo tierra y 30% sobre la superficie terrestre.

✓ **Nueva York, USA**

El metro neoyorquino es uno de los más caros del mundo. Ha crecido de 28 estaciones en 1904 a las actuales 462 estaciones. El metro transporta 4,9 millones de personas al día.

✓ **Montreal, Canadá**

El metro de Montreal es un moderno sistema que fue inaugurado en 1966 (37 millas alcanzando a 65 estaciones en cuatro líneas). Su sistema fue inspirado en el metro de París.

✓ **Beijing, China**

Este metro es relativamente nuevo, porque fue inaugurado en 1969 en Beijing y los suburbios aledaños. El metro estuvo en periodo de expansión con un presupuesto de 7,60 billones de dólares. Esto ha hecho que en la actualidad cuente con 300 millones.

✓ **Hong Kong, China.**

También es conocido como el Mass Transit Railway. Fue fundado en 1979. A pesar de su relativamente baja extensión (56 millas), este metro es de los más usados con cerca de 2,46 millones de pasajeros al día. El Hong Kong metro está inspirado en el británico.

3.1.2. Metros a Nivel América - Latinoamérica:

✓ Tren Urbano de San Juan, Puerto Rico:

Figura 5. Tren Urbano de San Juan, Puerto Rico

Longitud: 17.2 km

Número de Estaciones: 16

Costo de Referencia: El costo total real de 17.2 kilómetros de red es de USD 2,300 millones. Costo por kilómetro de USD 133.72 millones

✓ Metro de la Ciudad de México, México:

Figura 6. Metro de la Ciudad de México, México

Longitud: 226 km

Número de Estaciones: 195

Costo de Referencia: Ampliación de 178 kilómetros fue de USD 12,000 millones.

Costo por kilómetro de USD 67.4 millones

✓ **Metro de Santo Domingo, República Dominicana:**

Figura 7. Metro de Santo Domingo, República Dominicana

Longitud: 48.5 km (Línea 01: 14.5 Km – Línea 02: 34 Km)

Número de Estaciones: 30

Costo de Referencia: Costo total de la primera línea se ha estimado en USD 750 millones, según el gobierno.

Es el sistema ferroviario más extenso de Centroamérica y el Caribe.

3.2. Descripción General del Proyecto

3.2.1. Caso de Estudio: Línea 2 Metro de Lima – Callao, Perú

El que 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.	

3.3. Descripción General de la Etapa 1A

El primer tramo de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao que se pondrá en funcionamiento será el correspondiente al tramo definido como Etapa 1A. La Etapa 1A corresponde al Tramo 5, comprendido entre las estaciones de Evitamiento y Mercado Santa Anita, y cuenta con 5 estaciones y 4 pozos de ventilación y emergencia. Adicionalmente, y para compatibilizar la construcción de los Tramos 4 y 6 con la explotación de la Etapa 1A, se prevé construir también en esta etapa los tramos comprendidos entre:

- ✓ La Estación de Evitamiento hasta el pozo de ventilación PV-19bis
- ✓ La Estación de Mercado Santa Anita hasta el pozo de ventilación PV-24

A continuación, se presenta una breve descripción con las principales características de la Etapa 1A:

✓ Progresivas:	Inicio: 18+600
	Final: 24+100
✓ Longitud del tramo	5.500 m
✓ Estaciones	5
✓ Pozos de ventilación	6 pozos
✓ Patio Taller	1 (Patio Taller Santa Anita)

3.4. Descripción General de la Estación E-23 Hermilio Valdizan

A continuación, se presenta una breve descripción de la estación E-23 Hermilio Valdizan correspondiente a la Etapa 1A.

La estación se ubica en la progresiva central de andén 22+622,377 de la línea 2, bajo la Carretera Central en su intersección con la Av. La Cultura, frente al hospital Hermilio Valdizan.

Figura 8. Situación en planta de la estación Hermilio Valdizan

La Estación de Hermilio Valdizan es una estación que se desarrolla en la vertical del eje del túnel. Se ubica en la progresiva 22+622,377 con inicio de andén en la progresiva 22+560,127 y final en la progresiva 22+684,627. En este tramo la alineación del túnel de línea discurre bajo la Carretera Central.

Figura 9. Planta nivel de andén de la estación E-23 Hermilio Valdizan

La estación se desarrolla en dos niveles con un nivel intermedio de mezzanine para los accesos desde el nivel de la calle.

Figura 10. Sección longitudinal de la estación E-23 Hermilio Valdizan

El nivel intermedio de mezzanine permite facilitar los recorridos de salida y acceso a la estación.

Figura 11. Planta nivel de pre vestíbulo de la estación E-23 Hermilio Valdizan

Los distintos niveles de la estación E-23 Hermilio Valdizan se describen en la siguiente tabla:

Tabla 3. Rasantes estación E-23 Hermilio Valdizan

NIVEL	RASANTE
Riel	+268.86
Planta de andén	+269.91
Planta de vestíbulo	+277.05
Planta de pre-	+280.62
Salida	+286.92 /

Esta estación tiene una profundidad de 19.68 m hasta la cota de riel y unas dimensiones interiores de 128.90 m de longitud por 27.80 m de anchura. La cota de riel se sitúa a +268.86.

3.5. Diseño Funcional y Arquitectónico

Formalmente la estación se compone de un volumen paralelepípedo, con una longitud máxima de 130.50 m y un ancho de 29.40 m.

La estación se construye mediante la metodología “Top Down”, y cuenta con tres niveles. Estructuralmente la estación se resuelve con losas que apoyan en las pantallas laterales y en dos hileras intermedias de pilares de 1.2 m de diámetro colocados de tal forma que se respetan los gálibos en andén. Dichos pilares se separan dejando las vías en medio con un vano a ejes de 15.00 m, y de 12 a 14 m en dirección longitudinal a la estación.

Figura 12. Sección Transversal de la estación Hermilio Valdizan

En el nivel de la calle la estación tiene dos accesos principales para el público que están ubicados en la proximidad de las intersecciones de vías principales. Los accesos también sirven como cruce subterráneo, por lo que las estaciones poseen como mínimo un acceso a cada lado de la vía en la que se ubican.

Los accesos públicos 1 y 2 se ubican cada uno a un lado de la Avenida Carretera Central, entre las calles de Hermilio Valdizan y Huarochirí. Ambas entradas están descubiertas merced a la escasa pluviometría de la ciudad. El Acceso 1 está en el lado norte de la Av. Carretera Central, sobre un ensanchamiento de la vereda, con el elevador al este de la salida. Cuenta con una escalera fija y dos escaleras mecánicas. El Acceso 2 está situado en la vereda ubicada en la esquina suroeste de la Carretera Central, y dispone también de elevador. Este acceso tiene una escalera fija y una escalera mecánica. Se han dimensionado las salidas para mantener los niveles exigidos tanto para servicio como para evacuación.

En esta estación las escaleras de evacuación se sitúan en ambos extremos de los andenes. Algunas escaleras tienen su salida sobre las veredas laterales de la Carretera Central

próximas al cruce con la calle de La Cultura. Y otras escaleras desembarcan en el pre vestíbulo.

En el extremo este de la estación, se encuentran las rejillas de ventilación. Ambas, la de impulsión y la de extracción se han colocado sobre la vereda del lado sur de la vía, respetando los criterios de diseño que obligan a guardar una distancia mínima que impida la contaminación de flujos en función del viento dominante.

El primer nivel, denominado pre vestíbulo, se sitúa aproximadamente a 6 m bajo terreno, entre el nivel de la calle y el nivel del vestíbulo de entrada a la estación. Sirve como transición entre las entradas desde calle y el vestíbulo y, como se ha indicado, también para cruzar de un lado al otro de la calle, sin entrar en la zona de pago de la estación.

Figura 13. Planta de Pre vestíbulo estación Hermilio Valdizán

Según se descende, el vestíbulo constituye el segundo nivel. Se sitúa más profundo que el nivel de pre vestíbulo, y erigiéndose el nivel principal de la estación en el que el pasajero busca su destino. Aquí se encuentran la venta de billetes y los tornos, que separan la zona de pago de la estación de la de no pago.

- ✓ Área no paga, donde hay libre acceso y circulación
- ✓ Área paga, zona accesible solo después haber validado el billete

- ✓ Área técnica
- ✓ Área de operaciones

El tercer y último nivel es el de andenes. 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.

3.6.1. Geología y Geotecnia

Desde un punto de vista geológico la zona de estudio es afectado mayoritariamente por materiales granulares gruesos que constituyen el denominado aglomerado de Lima. Estos depósitos cuaternarios aluviales del cono deyectivo del río Rímac se encuentran formados por cantos rodados (gravas subredondeadas de naturaleza ígnea y volcánica), arenas y, en menor medida, arcillas y limos, dispuestos de forma desordenada. Superpuestos a estos materiales se encuentran los depósitos de terraza más modernos del río Rímac, los cuales

aparecen con la misma granulometría, pero con un mayor orden interno. Sobre estos materiales gravosos se encuentran niveles métricos de arcillas y limos, sin gravas, con relativa plasticidad y poco consistentes. Superficialmente se pueden encontrar rellenos de origen antrópico contaminado de espesor variable entre 1 y 5 m.

A partir de la caracterización geotécnica de los materiales reconocidos se establecen los parámetros geotécnicos en la Tabla N° 03, mostrada a continuación, según la distribución de unidades geotécnicas presentes en la estación Hermilio Valdizán.

Tabla 4. Parámetros geotécnicos de cálculo para la estación Hermilio Valdizán.

Estación	Columna estratigráfica representativa				Propiedades de cálculo												
	Punto Medio (PROG. 22+625)																
	Prof. Inicio (m)	Prof. Fin (m)	Long. (m)	Unidad	(KN/m³)	(KN/m³)	W (%)	% Finos	c (KPa)	(°)	□	E (MPa)	G (MPa)	K _v (t/m³)	K _h (t/m³)	V _s (m/s)	V _p (m/s)
Estación 23-Hermilio Valdizán	0,0	1,2	1,2	R	15, 2	16, 7	10, 7	25	0	28	0,3	17	7	1.50 0	1.50 0	< 180	< 400
	1,2	2,0	0,8	GP- Ss	19	20	3,8	0	15	34	0,3	42	16	4.50 0	4.50 0	180 - 300	400- 800
	2,0	8,0	6,0	GP- Sm	20	21	3,6	0	25	36, 5	0,3	82, 5	31	4.50 0- 12.0 00	4.50 0- 12.0 00	300 - 420	800- 1.20 0
	8,0	21, 5	13, 5	GP- Sf	21	22	3,3	0	32	39	0,3	183	70	12.0 00	12.0 00	420 - 760	1.20 0- 1.60 0
	21, 5	22, 5	1,0	CL/ ML	13, 25	17, 38	23, 7	80	8	26	0,2 5	23	9	3.00 0	3.00 0		
	22, 5	23, 6	1,1	GP- Sf	21	22	3,3	0	32	39	0,3	183	70	12.0 00	12.0 00		
	23, 6	24, 5	0,9	SM	14, 6	16, 95	9,1	34	5	30	0,3	35	14	1.80 0	1.80 0		

3.6.2. Hidrología e Hidráulica

El agua que recoja el sistema de drenaje a proyectar será la proveniente de la lluvia. Para realizar este apartado, se ha empleado el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, para la determinación de los caudales de diseño. Se ha partido de las estaciones meteorológicas Modelo y Campo de Marte situadas en el distrito de Jesús María, provincia de Lima, departamento de Lima.

A partir de la fórmula del método racional, se obtiene el siguiente caudal de lluvia captado en el área del recinto de obra para la ejecución de la estación 23 Hermilio Valdizán.

Tabla 5. Cálculo de Caudal

Superficie de captación (m²)	Pmax 24h (mm)	Duración (min)	Pd máx (mm)	$I = \frac{Pd_{máx}}{\frac{Dur}{60}}$ (mm/h)	C	Q (l/s)
8,900	1.3	5	0.315	3.786	0.73	6.85

3.7. Proceso Constructivo, planeamiento y ejecución Metodología TOP – DOWN

- Fase A.

Excavación del terreno hasta la cota de la plataforma de trabajo de pantallas y pilas – pilotes.

Figura 15. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase A

Figura 16. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase A

- Fase B.

Preparación del terreno y ejecución de los muretes guía de las pantallas y pilas pilote.

Excavación de las pantallas y pilas – pilote desde la plataforma de trabajo.

Vaciado de módulos de pantalla hasta 0.30 m – 0.40 m por encima de la cota inferior de la cubierta.

Figura 17. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase B

Figura 18. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase B

- Fase C.

Excavación hasta cota inferior de cubierta.

Demolición de los muretes guía de las pantallas y mesas centradoras de las pilas – pilote.

Figura 19. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase C

Figura 20. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase C

- Fase D.

Descabezado de pantallas y pilas pilote para dejar descubiertas las armaduras que conectarán con la cubierta.

Vaciado de la cubierta de la caja de la estación y la salida de emergencia norte, materializada mediante una losa maciza de concreto apoyada sobre las pantallas perimetrales y las pilas pilotes previamente ejecutadas.

La ejecución de esta losa implica la realización de un hueco de acceso a las zonas

inferiores que será cubierto en fases posteriores.

Figura 21. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase D

Figura 22. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase D

- Fase E.

Excavación bajo cubierta entre pantallas hasta el nivel de vestíbulo.

Figura 23. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase E

Figura 24. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase E

- Fase F.

Vaciado de la losa de vestíbulo.

La ejecución de esta losa implica la realización de un hueco de acceso a las zonas inferiores que será cubierto en fase posterior.

La losa de vestíbulo se conectará mediante barras resinadas insertadas en taladros efectuados en las pantallas.

Se podrá excavar por debajo de la losa de vestíbulo cuando la resistencia a compresión alcanzado los 22,5 MPa, sin sobrecarga concomitante, y cuando haya alcanzado los 30

MPa, admitiendo además unas sobrecargas temporales de 400 Kg/m².

Figura 25. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase F

Figura 26. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase F

- Fase G.

Excavación bajo vestíbulo y entre pantallas perimetrales hasta cara inferior de solado de losa de fondo.

La extracción de los materiales se realizará por medio de los huecos practicados en la losa del vestíbulo.

Figura 27. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase G

Figura 28. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase G

- Fase H.

Vaciado del solado y la losa de fondo.

La losa de fondo no se conectará con las pantallas.

Figura 29. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase H

Figura 30. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase H

- Fase I.

Cobertura de los huecos temporales en la losa de cubierta y vestíbulo.

Figura 31. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase I

Figura 32. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase I

- Fase J.

Relleno con tierras sobre todas las cubiertas hasta el nivel actual de la calle.

Figura 33. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Elevación Fase J

Figura 34. Proceso Constructivo Tipo Top – Down Planta Fase J

3.7.1. Ventajas y Desventajas del Uso del Top Down

De la experiencia realizada en campo se toma las siguientes conclusiones a nivel técnico, discerniendo las ventajas y desventajas de la utilización del Top Down en la construcción de estación de metros subterráneos.

Ventajas:

- ✓ Permite la construcción simultánea en dos direcciones: arriba - abajo, lo que puede reducir en varios meses la construcción del proyecto.
- ✓ A pesar de ser un método poco conocido, no requiere grandes cambios en las técnicas

de construcción tradicional.

- ✓ Se adquiere mayor espacio operacional debido a la construcción avanzada de losas de piso.
- ✓ Se puede emplear en todo tipo de suelos, ya sean en aquellos con baja capacidad resistente o con presencia de napa freática, pues siempre contempla la utilización de pilotes y opcionalmente la construcción de muro pantalla que actúan como barrera física frente a estos problemas.
- ✓ El método permite ir habilitando los sectores que van siendo terminados, no interrumpiendo el trabajo de los sectores pendientes. Esta es la principal ventaja a considerar en construcciones tales como centros comerciales.

Desventajas:

- ✓ La excavación y construcción de subterráneos se realiza de manera más lenta que el sistema tradicional.
- ✓ Se tiene un limitado espacio para la excavación y un acceso restringido para el manejo de materiales.
- ✓ Alto costo de construcción, ya que incluye la instalación de pilotes, y dependiendo del proyecto, apoyo temporal más sofisticado, tal como columnas pre fundadas o muro pantalla, lo que conlleva a la utilización de maquinaria especializada.
- ✓ La disposición de iluminación artificial es necesaria durante la construcción (calidad de la construcción puede verse influenciada).
- ✓ Producto del encierro en la construcción de los subterráneos, puede haber una acumulación de gases tóxicos emanados por el uso de maquinaria, por lo que se debe disponer de sistemas de ventilación.

3.8. Proceso Constructivo con Metodología Tradicional (Bottom Up), planeamiento de la ejecución.

Según (Cabellos Gavidia, 2012), explica el proceso constructivo con la metodología tradicional.

Fase A:

Excavación masiva, se hace por etapas a medida que se van avanzando los anillos. Es importante mencionar que la excavadora o retroexcavadora que se está empleando normalmente se queda en la obra para contribuir con el movimiento de tierra al interior de la obra para conseguir armar rápidamente los contrafuertes.

Figura 35. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase A

- Fase B:

Perforación e introducción de cables e inyección:

- Definición de Trazo.
- Armado del taladro y casing.
- Colocación de espuma y lubricantes.

- Posicionamiento y medición de ángulo.
- Perforación.
- Retiro del taladro.
- Colocación de cable de acero.
- Retiro de casing e inyección.

Figura 36. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase B

- Fase C:
 - Excavación manual de banqueta y perfilado.
 - Colocación de mallas de acero, incluyendo refuerzo en zona de anclaje.
 - Encofrado de muro, colocación de paneles, colocación de vigas de doble canal, apuntalamiento y contrafuerte.
 - Vaciado de muro.

Figura 37. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase C

- Fase D:
 - Desencofrado de muro, procedimiento convencional realizado al día siguiente del vaciado, retirando las planchas del muro, limpiándolas y posteriormente aplicándole el desmoldante respectivo.
 - Tensado de cables, cuando el concreto ha alcanzado su resistencia, esto es a los 3, 5 y 7 días, se tensan los cables aplicando una fuerza que varía entre los 25 a 35 toneladas, dependiendo de la especificación de cada muro. Este procedimiento suele ser rápido, tardando por cada muro un promedio de 20 minutos, por lo que es necesario y practico planificar el tensado de la mayor cantidad de muros posibles al día.

Figura 38. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase D

- Fase E:
 - Cuando se ha tensado el muro recién puede iniciar la excavación debajo del mismo para continuar con el siguiente anillo, es por ello que controlar y asegurar este proceso es vital para mantener el flujo de los trabajos.

Figura 39. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase E

- Fase F:

Figura 40. Proceso Constructivo Tipo Tradicional – Fase F

3.8.1. Ventajas y desventajas del Tipo Tradicional (Bottom Up).

Ventajas:

- Se puede utilizar la capacidad del suelo o roca donde se instalan como medio de transporte.
- Capacidad para resistir grandes presiones horizontales, grandes alturas de tierra y sobrecargas, sin incrementar significativamente el espesor de su sección.
- En áreas urbanas con construcciones aledañas es más práctico debido a que ocupa menos espacio durante su instalación comparado con sistemas equivalentes (apuntalamientos de gran magnitud, taludes temporales).
- Mantiene la estabilidad en taludes y cortes en situaciones especiales donde se constituyen la única solución posible.
- Su proceso constructivo se realiza de arriba para abajo, por lo que no necesita rellenos artificiales y/o reduce el volumen de excavación.

- No necesita ningún tipo de fundación (cimiento) o de muy pequeñas dimensiones para su realización. La carga vertical es resistida en su mayor parte por el roce de la cara vertical del muro con el terreno y solo el remanente debe ser resistido por alguna fundación.
- Presentan una reducción en la cantidad de concreto reforzado para su construcción, dado que el muro puede ser diseñado con anclajes cuyos espaciamientos sean pequeños.
- Menores costos.

Desventajas:

- La existencia de ambientes agresivos que puedan dañar los componentes del bulbo o anclaje si estos no están protegidos adecuadamente.
- Los muros anclados no son efectivos en suelos blandos, ya que pueden causar deformaciones excesivas en la masa del suelo.
- La zona donde quedan instalados los anclajes queda limitada al desarrollo en el futuro.
- En algunas situaciones puede llegar a afectar o interferir con estructuras vecinas o adyacentes al lugar del proyecto.

3.9. Programación y plazos de ejecución en construcción de la Estación E-23 Hermilio Valdizan, mediante método tradicional (Bottom Up) y Top Down.

3.9.1. Programación General de Obra

A continuación, se presentan las Cartas Gantt realizadas para los dos métodos contemplados en la construcción del proyecto. En color rojo se destacan las actividades que están dentro de la ruta crítica, mientras que en color azul las actividades que están fuera de ella y por tanto no afectan directamente al plazo total del proyecto. La programación comienza con una Fase 0 (obras previas) la cual es común para ambos sistemas.

3.9.1.1. Programación Tradicional:

Los Trabajos se inician con las siguientes actividades:

- ✓ Trabajos Provisionales (Demolición de veredas, pista, y excavaciones iniciales).
- ✓ Ejecución del primer Anillo (Excavación, Acero, Encofrado, Concreto, Tensado de Muros.
- ✓ Ejecución del 2do al 7mo anillo idéntico al primer anillo.
- ✓ Ejecución de Zapatas y Losa de fondo.
- ✓ Ejecución de Columnas y Losa Vestíbulo
- ✓ Ejecución de Columna 2da etapa y Losa Cubierta.
- ✓ Relleno de Losa Cubierta.
- ✓ Ejecución de Veredas y Asfalto.

3.9.1.2. Programación Top Down:

Los Trabajos se inician con las siguientes actividades:

- ✓ Trabajos Provisionales (Demolición de veredas, pista, y excavaciones iniciales).
- ✓ Ejecución muros Guías.
- ✓ Ejecución de Pantallas (Excavación, acero, vaciado de concreto).
- ✓ Ejecución de Pilas y Pilotes (Excavación, acero, vaciado de concreto).
- ✓ Ejecución de Losa Cubierta (Encofrado, acero, concreto).
- ✓ Excavación bajo Losa Cubierta
- ✓ Ejecución de Losa Vestíbulo.
- ✓ Excavación de bajo de Losa Vestíbulo
- ✓ Ejecución de Losa de Fondo

4. EVALUACIÓN DE PROCESO CONSTRUCTIVO

4.1. Análisis de Plazos de Ejecución

Ahora corresponde realizar la comparación entre los plazos de ejecución de ambos métodos. El tiempo de puesta en marcha varía entre métodos y permite disponer de un recurso más para poder decidir entre una u otra alternativa.

Para efectos de ubicación temporal se consideró como fecha de inicio del proyecto el día 1º de marzo del año 2016. Esta fecha es sólo ilustrativa y no representa el inicio real, ya que sólo se está en fase de estudio de propuesta.

A continuación, se presenta resumen del plazo total de ejecución para cada método en la construcción de la E23 Hermilio Valdizan.

Tabla 6. Cuadro Comparativo de duración de cada método constructivo.

METODO TRADICIONAL	TOP DOWN
362 días	301 días

Mediante el análisis de los dos métodos se tiene que analizar el impacto de la construcción mediante los dos métodos en la etapa 1A.

- ✓ Análisis del cronograma lineal de la Etapa 1A, mediante el método constructivo Top Down.

Figura 41. Diagrama Espacio – Tiempo Método Top Down Etapa 1A

- ✓ Análisis del cronograma lineal de la Etapa 1A, mediante el método constructivo tradicional.

Figura 42. Diagrama Espacio – Tiempo Método Tradicional (Bottom Up) Etapa 1A

Según los cronogramas mostrados se obtiene el siguiente cuadro de puesta en marcha de la etapa 1A para cada caso.

Tabla 7. Cuadro Tiempo de Puesta en Marcha Etapa 1A.

METODO TRADICIONAL	TOP DOWN
26.15 meses	23.20 meses

4.2. Análisis de Costos Directos

De acuerdo con la información obtenida del proyecto, se presenta el presupuesto para cada uno de los casos.

4.2.1. Análisis de Costos Directos mediante Metodología TopDown

En el siguiente cuadro se muestra el presupuesto realizado en la construcción de la estación E 23 Hermilio Valdizan mediante la metodología TopDown.

Tabla 8. Presupuesto Construcción de la E.23 Método Top Down

ITEMS	DESCRIPCION	Unid	PPTO		
			METRADO CONTRACTUAL	P. U. (US\$)	TOTAL (USD)
	ESTACIONES E23 - HERMILIO VALDIZAN				
	Movimiento de Tierras y Eliminacion				3,687,431.15
	Trabajos Provisionales				
	Excavación desmonte a cielo abierto	m3	11,503.24	2.22	25,537.19
	Excavacion				
	Excavacion Pantallas				
	Excavación con pantalla de 1,00 m de ancho, con cuchara	m2	7,218.73	211.97	1,530,154.20
	Excavacion Pilote				
	Excavación pilote, de 1000 mm a 2000 mm de diámetro.	m	659.74	609.14	401,874.02
	Excavacion Interior Caja				
	Excavacion entre pantallas sobre losa Vestibulo	m3	30,675.31	7.67	235,279.63
	Excavacion entre pantallas bajo losa Vestibulo	m3	28,583.81	16.15	461,628.53
	Relleno de material				
	Relleno sobre losa de cubierta con material procedente de la propia excavación	m3	7,169.96	7.48	53,631.30
	Eliminacion de Material				
	Transporte a vertedero de excedentes de excavación y demoliciones	m3	94,988.00	10.31	979,326.28
	Encofrado				250,533.13
	Losa de cubierta				
	Encofrado de losas sobre el terreno para una sola puesta	m2	4,231.30	28.42	120,253.55
	Encofrado plano paramentos verticales	m2	189.96	38.23	7,262.17
	Losa de vestibulo				
	Encofrado de losas sobre el terreno para una sola puesta	m2	3,141.00	24.42	76,703.22
	Encofrado plano paramentos verticales	m2	331.43	36.23	12,007.71
	Pila pilote				
	Tubo de acero negro de 2" de diámetro y de espesor 2 mm o similar	m	1,319.48	12.75	16,823.37
	Tubo de acero negro de 4" de diámetro y de espesor 1.5 mm o similar	m	1,319.48	13.25	17,483.11

ITEMS	DESCRIPCION	Unid	PPTO		
			METRADO CONTRACTUAL	P.U. (US\$)	TOTAL (USD)
	Encofrado				250,533.13
	Losa de cubierta				
	Encofrado de losas sobre el terreno para una sola puesta	m2	4,231.30	28.42	120,253.55
	Encofrado plano paramentos verticales	m2	189.96	38.23	7,262.17
	Losa de vestíbulo				
	Encofrado de losas sobre el terreno para una sola puesta	m2	3,141.00	24.42	76,703.22
	Encofrado plano paramentos verticales	m2	331.43	36.23	12,007.71
	Pila pilote				
	Tubo de acero negro de 2" de diámetro y de espesor 2 mm o similar	m	1,319.48	12.75	16,823.37
	Tubo de acero negro de 4" de diámetro y de espesor 1.5 mm o similar	m	1,319.48	13.25	17,483.11
	Acero de Refuerzo				3,586,566.81
	Pantallas				
	Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm2. En armaduras de pantallas	kg	721,093.81	1.49	1,074,429.78
	Losa de cubierta				
	Acero fy = 4200 kg/cm2. En armaduras.	kg	641,041.98	1.49	955,152.55
	Losa de vestíbulo				
	Acero fy = 4200 kg/cm2. En armaduras.	kg	490,410.65	1.49	730,711.87
	Losa bajo andén				
	Acero fy = 4200 kg/cm2. En armaduras.	kg	162,024.05	1.49	241,415.83
	Pila pilote				
	Acero a36-05 (grado 36) colocado en camisa no recuperable.	kg	79,717.91	4.06	323,654.71
	Acero fy = 4200 kg/cm2. En armaduras.	kg	175,303.40	1.49	261,202.07
	Concreto				2,377,313.90
	Pantallas				
	Concreto en pantalla de 1,00 m de ancho, C. Armado fc = 30 MPa	m2	6,784.12	157.79	1,070,466.29
	Losa de cubierta				
	Concreto para armar fc = 40 MPa en losas y vigas	m3	4,231.30	152.36	644,680.87
	Pila pilote				
	Concreto para armar fc = 40 MPa en relleno pilares de acero	m3	386.46	166.85	64,480.85
	Concreto fc = 40 MPa para pilote in situ, de 1000 mm a 2000 mm	m3	856.04	146.52	125,426.98
	Losa de vestíbulo				
	Concreto para armar fc = 40 MPa en losas y vigas	m3	2,825.02	152.36	430,420.05
	Losa bajo andén				
	Concreto en masa para nivelación y limpieza	m3	348.57	120.03	41,838.86
	Anclajes				149,451.51
	Losa de cubierta				
	Anclaje con barra de acero y resina Ø1 3/8"	und	578.00	74.76	43,211.28
	Losa de vestíbulo				
	Anclaje con barra de acero y resina Ø1 3/8"	und	98.00	77.14	7,559.72
	Anclaje con barra de acero y resina Ø3/4"	und	521.00	73.77	38,434.17
	Pila pilote				
	Anclaje con barra de acero y resina Ø1 3/8"	und	781.00	77.14	60,246.34

ITEMS	DESCRIPCION	Unid	PPTO		
			METRADO CONTRACTUAL	P.U. (US\$)	TOTAL (USD)
	Otros				425,608.92
	Murete Guia				
	Pantallas				
	Doble murete guia para pantalla de 1,00 m de ancho	m	317.42	284.58	90,331.38
	Pilotes				
	Murete guia para pila pilote de 1,80 m	und	18.00	1,206.94	21,724.92
	Pantallas estación				
	Regularización y limpieza de paramentos en pantallas	m2	5,607.61	6.15	34,486.80
	Corte de concreto por medios mecánicos	m3	214.66	350.90	75,324.19
	Losa de cubierta				
	Descabezado de pantallas.	m3	126.97	150.60	19,121.68
	Lámina de impermeabilización de cubierta	m2	3,803.07	48.19	183,269.94
	Pila pilote				
	Ensayo sísmico en pilotes	und	18.00	75.00	1,350.00
	TOTAL COSTO DIRECTO				10,476,905.42

4.2.2. Análisis de Costos Directos mediante Metodología Tradicional (Bottom Up)

En el siguiente cuadro se muestra el presupuesto realizado en la construcción de la estación E23 mediante la metodología Tradicional (Up Down).

Tabla 9. Presupuesto Construcción de la E. 23 Método Tradicional (Bottom Up)

ITEMS	DESCRIPCION	Unid	PPTO		
			METRADO CONTRACTUAL	P.U. (US\$)	TOTAL (USD)
	ESTACIONES E23 - HERMILIO VALDIZAN				
	Movimiento de Tierras y Eliminacion				3,082,320.43
	Excavacion con Maquinaria				
	Excavacion con Maquinaria	m3	79,696.41	12.64	1,007,412.48
	Relleno				
	Relleno con Material	m3	7,169.96	10.98	78,735.12
	Eliminacion de Material				
	Acarreo Interno de Material Procedente de Ecavacion	m3	66,491.60	16.04	1,066,774.61
	Eliminacion de Material con Faja Transportadora	m3	94,988.00	9.78	929,398.21

ITEMS	DESCRIPCION	Unid	PPTO		
			METRADO CONTRACTUAL	P.U. (US\$)	TOTAL (USD)
	Encofrado				185,642.65
	Losa de cubierta				
	Encofrado de losas Cubierta	m2	4,421.26	10.23	45,235.02
	Losa de vestibulo				
	Encofrado de losas Vestibulo	m2	3,472.43	10.23	35,522.96
	Columnas				
	Encofrado Columnas	m	2,638.96	11.25	29,688.30
	Muros Anclados				
	Encofrado Muros Anclados	m2	6,749.40	10.37	69,961.75
	Zapatas				
	Enconfrado Zapatas	m2	540.00	9.69	5,234.63
	Acero de Refuerzo				3,208,431.35
	Muros Anclados				
	Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm2. En armaduras de Muros Anclados	kg	721,093.81	1.31	946,435.63
	Losa de cubierta				
	Acero fy = 4200 kg/cm2. En armaduras.	kg	641,041.98	1.49	955,152.55
	Losa de vestibulo				
	Acero fy = 4200 kg/cm2. En armaduras.	kg	490,410.65	1.49	730,711.87
	Losa bajo anden				
	Acero fy = 4200 kg/cm2. En armaduras.	kg	162,024.05	1.49	241,415.83
	Columna				
	Acero fy = 4200 kg/cm2. En armaduras.	kg	255,021.31	1.31	334,715.47
	Concreto				2,284,583.98
	Muros Anclados				
	Muro Anclado de 0.9 ms	m3	5,913.76	157.80	933,191.33
	Losa de cubierta				
	Concreto para armar fc = 40 MPa en losas y vigas	m3	4,231.30	157.80	667,699.14
	Columna Circulares				
	Concreto para armar fc = 40 MPa en relleno pilares de acero	m3	1,242.50	157.80	196,066.50
	Losa de vestibulo				
	Concreto para armar fc = 40 MPa en losas y vigas	m3	2,825.02	157.80	445,788.16
	Losa bajo anden				
	Concreto en masa para nivelación y limpieza	m3	348.57	120.03	41,838.86
	Anclajes				115,915.72
	Columnas Circulares				
	Anclaje con barra de acero y resina Ø1 3/8"	und	781.00	72.14	56,341.34
	Muros Anclados				
	Acero de refuerzo para anclaje	und	850.00	70.09	59,574.38
	Otros				199,740.06
	Muros anclados				
	Pañeteo de Muros de Contencion	m2	6,749.40	1.28	8,605.49
	Sistema de Muros Anclados				
	Sistema de muros anclados provision y ejecucion	m2	6,749.40	28.32	191,134.57
	TOTAL COSTO DIRECTO				9,076,634.18

4.2.3. Análisis de Brechas

Para el análisis de brechas de ambos presupuestos se realizará a nivel de grupo de partidas principales:

Tabla 10. Análisis de Brechas entre Método Tradicional y Top Down

ITEMS	DESCRIPCION	COSTO \$		
		TOP DOWN	UP DOWN	BRECHA
	ESTACION E23 - HERMILIO VALDIZAN			
	Movimiento de Tierras y Eliminación	3,687,431.15	3,082,320.43	605,110.73
	Encofrado	250,533.13	185,642.65	64,890.48
	Acero de Refuerzo	3,586,566.81	3,208,431.35	378,135.46
	Concreto	2,377,313.90	2,284,583.98	92,729.92
	Anclajes	149,451.51	115,915.72	33,535.80
	Otros	425,608.92	199,740.06	225,868.87
	TOTAL	10,476,905.42	9,076,634.18	1,400,271.25

4.3. Análisis Evaluación del Tiempo de Restablecimiento

Según el análisis de brechas obtenido se muestra que el realizar el método Top Down se gasta aproximadamente 1.4 millones por estación que multiplicado por las 5 estaciones de la Etapa 1A se obtendría aproximadamente un gasto de 7 millones de dólares superiores a los del método tradicional.

Al realizar el análisis de la puesta anticipada en marcha de la etapa 1A se obtiene el cuadro siguiente:

Tabla 11. Costo de Funcionamiento Etapa 1A x día

ITEMS	DESCRIPCION	COSTO \$		
		Personas x día	Pasaje (\$)	TOTAL (\$)
	ETAPA 1A			
	Costo de Funcionamiento Etapa 1A x día	165,000.00	0.94	154,687.50

Se estima que la etapa 1A, tendrá un tránsito de pasajeros diario de 165000 personas diarias según página MTC a un costo de 0. 94 de dólar por viaje de tramo. (MTC, 2015)

Por lo visto en cuadro se infiere que en 2 meses de puesta en servicio anticipada se estaría recuperando la inversión de los 7 millones que se obtuvo en el análisis de las brechas.

Tabla 12. Costo de Funcionamiento Etapa 1A x 2 meses

ITEMS	DESCRIPCION	COSTO \$		
		Personas x día	Pasaje (\$)	TOTAL (\$)
	ETAPA 1A			
	Costo de Funcionamiento Etapa 1A x 2 meses	165,000.00	0.94	9,281,250.00

4.4. Análisis de Evaluación de la Viabilidad del Proyecto

4.4.1. Valor Actual Neto (VAN)

Para el análisis del valor actual neto se considerará un periodo de 25 años, iniciando desde el mes cero (0) en el que concluya la estación E – 23 según el método Top Down.

Para el cálculo de la tasa de descuento se utilizará un COK de 7.6% que fue el obtenido en la construcción de la Universidad del Pacifico por le empresa GyM, además se calcula mediante las siguientes fórmulas:

$$COK = K_e = r_f + \beta * (R_m - R_f)$$

$$WACC = K_d * (1 - T) * \frac{D}{D + E} + K_e * \frac{E}{D + E}$$

Para el presente caso de estudio, se considerará 100 % de inversión propia, por lo tanto, se considera cero (0) los valores de deuda “D”, tasa de interés “Kd” anulando el primer término de la ecuación, quedando de la siguiente manera:

$$WACC = K_e$$

Para el caso de estudio, se debe transformar la tasa de descuento anual a mensual según la

fórmula:

$$TEM = ((1 + TEA)^{\frac{1}{12}} - 1)$$

$$TEM = 0.57 \%$$

Se determinará el costo de funcionamiento de la Etapa 1A x 1 mes según la tabla 13:

Tabla 13. Costo de Funcionamiento Etapa 1A x 1 mes

Descripción	Personas x día	Pasaje (\$)	Total (\$)
Costo de Funcionamiento Etapa 1A x día	165000	0.94	\$ 155,100.00
Costo de Funcionamiento Etapa 1A x mes	165000	0.94	\$ 4,653,000.00

Tabla 14. Resultado del Cálculo del VAN – Periodo 25 años

Método Tradicional (A)	Método Top Down (B)	Diferencia (A-B)
\$ 653,108,227.77	\$ 660,833,843.94	\$ -7,725,616.17

4.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

El valor final se determinará en un gráfico donde las abscisas corresponden a los valores de tasa de descuento progresivos de 0 hasta 100 % y las ordenadas corresponden a los valores actuales netos. El valor de la tasa interna de retorno será donde la curva cruce con el valor cero (0).

Tabla 15. Resultado del Cálculo del TIR – Periodo 25 años

Método Tradicional (A)	Método Top Down (B)	Diferencia (A-B)
51.00%	44.00%	7.00%

Figura 43. Gráfico Comparativo de TIR para el método Tradicional y Top Down

4.5. Análisis de Evaluación de la Seguridad

Para la identificación y evaluación de riesgos se realizó en las partidas más incidentes de tal manera de realizar un comparativo entre ambas metodologías Top Dow y método tradicional, tomando los criterios de consecuencias y probabilidad.

		Consecuencias		
		Leve	Moderado	Grave
Probabilidad	Baja	1	2	3
	Media	2	4	6
	Alta	3	6	9

Figura 44. Criterio de Consecuencias y Probabilidades de Riesgo

1 EXCAVACIÓN

PELIGROS	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO TOP DOWN		
	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO
ATRAPAMIENTO	2	3	6	1	3	3
CAÍDA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES	2	3	6			0
ATROPELLO	2	3	6	3	3	9
DERRUMBES	2	3	6			0
FALTA DE OXÍGENO			0	3	3	9
RUIDO	3	2	6	3	2	6
			30			27

2 ENCOFRADO

PELIGROS	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO TOP DOWN		
	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO
CAÍDA DE OBJETOS	3	1	3	2	3	6
CONTACTO CON SUSTANCIAS NOCIVAS	3	1	3	3	1	3
CORTES	3	2	6	3	2	6
GOLPES	2	2	4	2	2	4
INCRUSTACIONES	1	1	1	1	1	1
PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS	1	3	3	1	3	3
RESBALONES	1	3	3			0
			23			23

3 ACERO DE REFUERZO

PELIGROS	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO TOP DOWN		
	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO
CAÍDA DE OBJETOS	2	2	4			0
CAÍDAS A DESNIVEL	3	2	6	3	2	6
CAÍDAS DE ALTURA	3	2	6	3	2	6
CORTES	3	2	6	3	2	6
GOLPES	2	2	4	2	2	4
INCRUSTACIONES	1	2	2	1	2	2
SOBRESFUERZO	2	2	4	2	2	4
			32			28

4 CONCRETO

PELIGROS	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO TOP DOWN		
	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO
CAÍDA DE OBJETOS	1	2	2			0
CAÍDAS A DESNIVEL	2	2	4	2	2	4
CAÍDAS DE ALTURA	2	3	6	2	3	6
CONTACTO CON ENERGÍA ELÉCTRICA	1	2	2	1	2	2
PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS	1	2	2	1	2	2
SOBRESFUERZOS	3	3	9	3	3	9
TROPEZONES	3	1	3	3	1	3
VIBRACIONES	2	2	4	2	2	4
			32			30

5 DESENCOFRADO

PELIGROS	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO TOP DOWN		
	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO
CAÍDA DE OBJETOS	2	2	4			0
PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS	1	3	3	1	3	3
TROPEZONES	3	1	3	3	1	3
			10			6

6 ANCLAJES

PELIGROS	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO TOP DOWN		
	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	RIESGO
CORTES	3	2	6	3	2	6
GOLPES	2	2	4	2	2	4
TROPEZONES	3	1	3	3	1	3
			13			13

ACUMULADO TRADICIONAL 140

ACUMULADO TOP DOWN 127

Figura 45. Análisis de seguridad entre método Tradicional (Bottom Up) y Top Down.

4.6. Evaluación de Criterios

De los datos obtenidos entre ambas metodologías se realiza el cuadro de evaluación de criterios de evaluación entre las metodologías Top Down y Tradicional (Bottom Up).

ITEM	PARAMETRO	TOP DOWN	TRADICIONAL
1	PLAZO	23.2 meses	26.15 meses
2	COSTO	\$10,476,905.42	\$9,076,634.18
3	VIABILIDAD DEL PROYECTO		
	VAN	\$660,833,843.94	\$653,108,227.77
	TIR	44%	51%
4	SEGURIDAD	IR 127	IR 140

Tabla 16. Cuadro de Evaluación de Criterios

Aplicando la metodología WSM (Weighted Scoring Model), se colocará un mayor índice a la alternativa que presente una ventaja sobre la obra:

ITEM	PARAMETRO	UNIDAD	INCIDENCIA	TOP - DOWN		TRADICIONAL		VARIACION
				VALOR	(1)	VALOR	(2)	(1)-(2)
1	PLAZO	Meses	18%	2	0.36	1	0.18	0.18
2	COSTO	Soles	18%	1	0.18	2	0.36	-0.18
3	VIABILIDAD DEL PROYECTO							
	VAN	Soles	20%	2	0.40	1	0.20	0.20
	TIR	Porcentaje	20%	2	0.40	1	0.20	0.20
4	SEGURIDAD	Índice de Seguridad	24%	2	0.48	1	0.24	0.24
	TOTAL		100%		1.82		1.18	

Tabla 17. Cuadro de Índice de Criterios según metodología WSM

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En base a los cálculos de plazos de ejecución para ambas metodologías se concluye que, para el caso de la construcción de la estación subterránea E-23 del tramo 1A de la Línea 2 del Metro de Lima, al aplicar la metodología Top Down se reduce el plazo de ejecución en un 12%, teniendo en cuenta que este tipo de obras solo llegan al nivel de terreno natural esta es una ventaja a la hora del restablecimiento vehicular, lo cual genera un menor tiempo de restablecimiento vehicular.
- En base a los cálculos de presupuestos para ambas metodologías constructivas se concluye que, para el caso de estudio se tomaron las 05 estaciones construidas simultáneamente que pertenecen a la etapa 1A de la Línea 2 del Metro de Lima, se demostró que la metodología Top Down tiene un costo mayor respecto al sistema tradicional, aumentando aproximadamente en un 13% por cada estación. En las partidas siguientes el top down es superior a la del método tradicional en la partida concreto es un 8%, en movimiento de tierra y excavación en un 20%.
- En base a la investigación se concluye la metodología Top Down tiene unos procesos sofisticados debido a la intervención de la tecnología que en nuestro país no contamos con la tecnología y la maquinaria para este tipo de construcción.
- En base a los cálculos del valor actual neto para ambas metodologías se concluye que para un tiempo de 25 años al aplicar la metodología Top Down aumenta el VAN en 1.25% con respecto al método tradicional.
- Se concluye que para el método Top Down al intervenir las nuevas tecnologías se requiere de mayor capacitación el cual a la larga es beneficioso ya que se podrá capacitar al personal en el uso de las nuevas herramientas y equipos.

- En base a los criterios de evaluación para ambas metodologías se concluye que, para la construcción de la estación E-23 de la etapa 1A se demuestra que la metodología Top Down tiene un índice de 1.82 siendo mayor al de la metodología tradicional.
- Para la construcción de las estaciones se requiere de equipos de dragadoras los cuales servirán para la excavación de los muros pantallas, así como la instalación de la planta de lodos bentónicos, el cual serán vertidos a la hora de la excavación de los muros pantallas.

Recomendaciones

- Con el fin de mantener los plazos y costos previstos en nuestros cronogramas para ambos procesos constructivos, recomendamos que las empresas constructoras implementen en este tipo de proyectos con un sistema de gestión adecuado y sea difundido a todo su personal, con el fin de mantener un control de proyecto óptimo.
- Implementar nuevos procesos constructivos en el país implica una inversión en capacitación al personal técnico y supervisor en los primeros proyectos a realizar. Sin embargo; se cuenta con personal de otros países con amplia experiencia en este tipo de proyectos. Por lo cual, recomendamos que este personal con experiencia sea contratado por las empresas que ejecutan el proyecto con el fin de tener especialistas que puedan capacitar al resto de personal. Hacemos hincapié que esta situación viene ocurriendo con el personal actual del metro, tema de nuestra investigación.
- Se recomienda que para un resultado de mayor confiabilidad se realiza un análisis de lo presupuestado vs lo ejecutado.
- Para una mayor confiabilidad se recomienda hacer el análisis considerando el costo directo e indirecto y la línea de completa del metro que incluye las 37 estaciones.
- Se recomienda capacitar al personal para la aplicación de estos nuevos procesos

constructivos y nuevas tecnologías los cuales seguramente serán aplicados de forma masiva en nuestro país.

- Se recomienda realizar un análisis costo – beneficio, considerando el impacto social como una variable con un alto porcentaje de incidencia no cuantificado en el presente estudio.
- Se recomienda considerar en los análisis de viabilidad del proyecto los costos de operación de la línea de metro, los cuales por motivo de límites en el presente estudio no fueron considerados.

6. REFERENCIAS

- Anil Jadhav, R. S. (2009). Analytic Hierarchy Process (AHP), Weighted Scoring Method (WSM) and Hybrid Knowledge Based System (HKBS) for software selection: A comparative Study. *Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET-09*. India.
- Antonio, B. B. (2015). *Sistemas de estabilización del terreno para el*. Obtenido de Sistemas de estabilización del terreno para el: <http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20110905-MurosancradosAB.pdf>
- Cabellos Gavidia, G. A. (Diciembre de 2012). Análisis comparativo de la estabilización de taludes mediante el uso de muros anclados y calzaduras en la construcción de Edificaciones . *Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil*. Lima, Lima, Perú.
- Cárdenas, A. (18 de Febrero de 2005). Costo del Km del Metro ha variado en cada país. *Diario Libre*.
- David, D. C. (2014). Top Down y su Aplicacion para la reduccion del plazo de Construcccion. *GYM*, 6.
- Fernandez Zarco, J. R. (Junio de 2013). Edificación de sotanos en suelos blandos con el procedimiento constructivo Top - Down. *Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería*. Mexico D.F., Mexico.
- HGPGroup. (2017). Obtenido de <http://www.hgp.pe/>
- IEEE. (Julio de 1999). *ieeexplore*. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/document/781910/?reload=true>
- Integralia, G. (2017). *Grupo, Integralia*. Obtenido de <http://www.integraliagrupo.com/topdown-construir-de-arriba-abajo-resulta-un-modelo-eficiente/>
- Mapcity. (2016). Obtenido de <https://www.mapcity.pe/>
- Marambio Soto, F. J., & Rubio Meneses, D. E. (2013). Análisis Técnico Económico del Sistema "Top Down" Aplicado en Obras de Construcción. *Memoria para obtener el Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles*. Santiago, Chile.
- Marketwin. (2017). *Estudio de Trafico de la Ciudad de Lima*. Lima.
- MTC. (Enero de 2015). *Contrato Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta* . Obtenido de Ministerio de Transporte y Comunicaciones: http://www.mtc.gob.pe/transportes/concesiones/ferrovias/sistema_electrico_linea2.html
- Pallarés, J. R. (2015). *MÉTODOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO ELECTRE Y TOPSIS APLICADOS A LA ELECCIÓN DE UN DISPOSITIVO MÓVIL*.

Salvatierra, J. L. (21 de Abril de 2017). *Linkedin*. Obtenido de Toma de decisiones efectivas por medio del Choosing by Advantages...De acero, madera u hormigón: <https://es.linkedin.com/pulse/de-acero-madera-u-hormig%C3%B3n-decisiones-colaborativas-por-salvatierra->

Singh, L. K. (2014). Software Component Selection techniques - A review . (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*. India.

Torres, B. A. (2009). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2237/1/43908352.2009.pdf>

Wikipedia. (2018). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte_p%C3%ABlico

7. ANEXOS

- Anexo 01. Diagrama Espacio - Tiempo Método Tradicional
- Anexo 02. Diagrama Espacio - Tiempo Método Top Down
- Anexo 03. Cronograma Método Tradicional
- Anexo 04. Cronograma Método Top Down
- Anexo 05. Análisis de Riesgos de Parámetros Establecidos.
- Anexo 06 Calculo del Van y Tir.