

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



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**“GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TREN  
SUBTERRÁNEA DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE LIMA Y CALLAO”**

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

**ELABORADO POR  
DANIEL SIFUENTES GRADOS**

**ASESOR  
Mag. MAX HUAYNALAYA RASHUAMAN**

**Lima- Perú**

**2023**

© 2023, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Todos los Derechos Reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir el Trabajo de Suficiencia Profesional en su totalidad o en partes, con fines estrictamente académicos”**

Daniel Sifuentes Grados

Correo: [dsifuentesg@uni.pe](mailto:dsifuentesg@uni.pe)

Teléfono: 964-701-287

**DEDICATORIA:**

El presente trabajo se lo dedico a mi madre,  
Juanita, quien siempre estuvo a mi lado en todo  
momento hasta el último día de su vida.  
Mientras yo esté en este mundo, tu vivirás en  
mi mente y mi corazón.

### **AGRADECIMIENTOS:**

A Dios, por permitirme estar día a día en este hermoso mundo y aprender de él.

A mis padres, Juana G. y Ernesto S., por darme siempre la confianza necesaria para emprender nuevos retos.

A mi compañera de vida, Brenda V., por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A mi hijo, Brandiel, por enseñarme que el amor todo lo puede.

A mi asesor, Mg. Ing. Max H., por todo el apoyo durante este largo y difícil proceso.

A mis jefes, Manuel G., Rafael R., y Marina G., por darme la oportunidad desarrollarme profesionalmente.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLO Y SIGLAS</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
1.1 GENERALIDADES	13
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	16
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b>	<b>25</b>
2.1 MARCO TEÓRICO	25
2.1.1 GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN	25
2.1.2 PLANEAMIENTO	25
2.1.3 EJECUCIÓN	25
2.1.4 CONTROL	25
2.1.5 SECTORIZACIÓN	25
2.1.6 PLAN MAESTRO	26
2.1.7 LOOKAHEAD	26
2.1.8 PLAN SEMANAL	26
2.1.9 PROGRAMACIÓN DIARIA	26
2.1.10 TRABAJO PRODUCTIVO	26
2.1.11 TRABAJO CONTRIBUTORIO	26
2.1.12 TRABAJO NO CONTRIBUTORIO	27
2.1.13 PRODUCTIVIDAD	27

2.1.14 LEAN CONSTRUCTION .....	27
2.1.15 LAST PLANNER.....	27
2.1.16 PLAN DE PORCENTAJE COMPLETADO (PPC).....	28
2.1.17 CARTA BALANCE .....	28
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	29
2.2.1 MÉTODO CUT AND COVER .....	29
2.2.2 ESTACIÓN SUBTERRÁNEA .....	29
<b>CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>30</b>
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE LIMA Y CALLAO.....	30
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ETAPA 1A.....	31
3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTACIÓN E-22 COLECTORA INDUSTRIAL.....	32
<b>CAPÍTULO IV: PROCESOS DE LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE OBRA.....</b>	<b>34</b>
4.1 PLANIFICACIÓN DE OBRA .....	34
4.1.1 PLAN MAESTRO DE OBRA .....	34
4.1.2 SECTORIZACIÓN.....	35
4.1.3 LOOKAHEAD DE OBRA.....	37
4.1.4 PLAN DIARIO DE OBRA.....	37
4.2 EJECUCIÓN DE OBRA .....	38
4.2.1 MÉTODO CONSTRUCTIVO CUT AND COVER MODALIDAD DE TOP DOWN. ....	38
4.2.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO GENERAL DE LA ESTACIÓN SUBTERRÁNEA E-22 .....	39
4.2.3 ALCANCE CONTRACTUAL DE TRABAJOS EJECUTADOS .....	52
4.2.4 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LOS TRABAJOS EJECUTADOS.....	52
4.3 CONTROL DE OBRA .....	59
4.3.1 REPORTE DIARIO DE OBRA.....	59
4.3.2 REPORTE DE INCIDENCIAS DE OBRA.....	60
4.3.4 SEGUIMIENTO DEL CRONOGRAMA MENSUAL .....	60
<b>CAPÍTULO V: HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN.....</b>	<b>61</b>
5.1 HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN .....	61

5.1.1 DIAGRAMA DE GANTT .....	61
5.1.2 PERT (PROGRAM EVALUATION REVIEW TECHNIQUE) .....	61
5.1.3 SOFTWARE MS PROJECT .....	62
5.1.4 LAST PLANNER SYSTEM .....	63
5.2 HERRAMIENTAS DE CONTROL .....	65
5.2.1 CURVA S DE VENTA/PRODUCCIÓN .....	65
5.2.2 REPORTE DIARIO DE OBRA Y PRODUCTIVIDAD.....	66
5.2.3 REPORTE DE INCIDENCIAS .....	67
<b>CAPÍTULO VI: OPORTUNIDADES DE MEJORA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS Y PROCESOS .....</b>	<b>68</b>
6.1 LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS).....	68
6.2 MEJORAS EN LA PLANIFICACIÓN DE OBRA.....	75
6.2.1 PLAN SEMANAL DE OBRA.....	75
6.3 MEJORAS EN EL CONTROL DE OBRA.....	76
6.3.1 PORCENTAJE DE PLAN COMPLETADO (PPC).....	76
6.3.2 NIVEL DE ACTIVIDAD .....	77
6.3.3 CARTA BALANCE .....	78
<b>CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>80</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

## RESUMEN

En los últimos años, el gobierno del Perú ha fomentado una considerable inversión en infraestructura para el desarrollo del transporte público (la inversión total para la ejecución de la Línea 1 del metro fue de US\$ 2,100 millones, y la inversión estimada para la ejecución de la Línea 2 es de US\$ 5,568 millones), y en este marco se inició con la ejecución de un sistema de transporte masivo, el cual contará con 6 líneas férreas, de las cuales 1 es aérea (Línea 1) y las otras 5 serán subterráneas.

La línea 2 del metro de Lima y Callao es una obra pionera en su clase, ya que sus procedimientos y sistemas constructivos son no convencionales, por lo cual se genera la necesidad de registrar toda la información y lecciones aprendidas para mejorar la gestión y ejecución de proyectos futuros de similar índole.

El presente trabajo tiene como objetivo describir la gestión de la producción que se empleó en la ejecución de una estación de tren subterránea, con la finalidad de identificar oportunidades de mejora para la optimización de los recursos y procesos.

Para ello, en primer lugar, se describen los procesos de planificación, ejecución y control que se utilizaron durante la ejecución del subcontrato de movimiento de tierras y obras civiles de la estación E-22, el cual cumplió con los parámetros técnicos de ejecución de acuerdo al EDI emitido por el CCM2L. Posteriormente, se describen las herramientas de planificación y control de la producción que se emplearon para la ejecución.

Por otro lado, tomando como referencia la filosofía Lean Construction, y de acuerdo a las herramientas que esta propone para la gestión de la producción, se identificaron cuáles aportarían valor a los procesos de planificación y control de la producción.

Del desarrollo anterior, se realizó la comparativa entre las herramientas que se emplearon en la ejecución del subcontrato de movimiento de tierras y obras civiles de la estación E-22 y lo propuesto por la filosofía Lean Construction con la finalidad de identificar que tan alineados se encontraban los procesos de acuerdo a dicha filosofía.

Finalmente, se concluye que para el contexto en el cual se ejecutó la obra, en el proceso de planificación se podría incluir la herramienta de Plan semanal de obra, y para el proceso de control se podría implementar las herramientas del Plan de porcentaje completado, nivel de actividad, y la carta balance.

Como prospectivas, se recomienda investigar proyectos de similar índole y comparar las herramientas de gestión utilizadas para identificar que otras herramientas se podrían implementar de acuerdo a la filosofía Lean Construction.

## ABSTRACT

In recent years, the Peruvian government has promoted considerable investment in infrastructure for the development of public transport (the total investment for the execution of Line 1 of the metro was US\$2,100 million, and the estimated investment for the execution of Line 2 is US\$ 5,568 million), and within this framework the execution of a mass transportation system began, which will have 6 railway lines, of which 1 is aerial (Line 1) and the other 5 will be underground.

Line 2 of the Lima and Callao metro is a pioneering work of its kind, since its construction procedures and systems are unconventional, which generates the need to record all the information and lessons learned to improve the management and execution of future projects of a similar nature.

The objective of this work is to describe the production management that was used in the execution of an underground train station, in order to identify improvement opportunities for the optimization of resources and processes.

For this, first, the planning, execution and control processes that were used during the execution of the subcontract for earthworks and civil works of the E-22 station are described, which complied with the technical parameters of execution according to the EDI issued by the CCM2L. Subsequently, the production planning and control tools that were used for execution are described.

On the other hand, taking the Lean Construction philosophy as a reference, and according to the tools that it proposes for production management, it was identified which would add value to the production planning and control processes.

From the previous development, the comparison was made between the tools that were used in the execution of the earth movement and civil works subcontract of the E-22 station and what was proposed by the Lean Construction philosophy in order to identify how aligned they were. processes according to this philosophy.

Finally, it is concluded that for the context in which the work was carried out, the weekly work plan tool could be included in the planning process, and for the control process the tools of the percentage completed plan, level of activity, and the balance sheet.

As prospective, it is recommended to investigate projects of a similar nature and compare the management tools used to identify which other tools could be implemented according to the Lean Construction philosophy.

## PRÓLOGO

En el marco del desarrollo de la infraestructura vial del Perú, se tiene como proyección para el desarrollo del transporte urbano la ejecución de un sistema de transporte masivo ferroviario, el cual está comprendido por 01 línea aérea y 05 líneas subterráneas. De ello, la Línea 2 del metro de Lima y Callao es la primera obra de su clase, por lo cual la información que se obtenga del desarrollo de este megaproyecto será de mucho valor para la ejecución de próximos proyectos de similar índole.

El presente informe de suficiencia profesión tiene como objetivo describir la gestión de la producción de obra que se empleó en la ejecución de una estación subterránea para identificar las oportunidades de mejora en la optimización de recursos y procesos, desde la mirada de un profesional que participo en el área de producción del proyecto.

En el desarrollo de los capítulos se expone los procesos de la gestión de la producción empleados en la ejecución del subcontrato de movimiento de tierras y obras civiles de la estación subterránea E-22, y de esto se identifica cuales herramientas utilizadas están alineadas con la filosofía Lean Construction, así como también se busca identificar que otras herramientas no utilizadas podrían ser una oportunidad de mejora para su implementación en futuros proyectos de características similares.

Por último, en el capítulo de conclusiones se expone la afinidad de la gestión empleada con la filosofía Lean Construction y se identifican que herramientas podrían ser oportunidades de mejora de acuerdo a las características del proyecto ejecutado.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 5.1 Cuadro de control de la venta proyectada vs producción real de obra .....	65
Cuadro N° 5.2 Cuadro de control de la producción de la partida encofrado para muros alzados. ....	66
Cuadro N° 5.3 Cuadro de datos de la partida encofrado para muros alzados. ....	66
Cuadro N° 5.4 Reporte de incidencias. Frente Losa de Fondo. ....	67
Cuadro N° 6.1 Herramientas del modelo Lean Project Delivery System LPDS ..	69
Cuadro N° 6.2 Descripción de las herramientas de la fase de Ejecución Lean del modelo LPDS .....	71
Cuadro N° 6.3 Descripción de las herramientas de la fase de Control de Producción del modelo LPDS .....	72
Cuadro N° 6.4 Identificación de herramientas LPDS aplicadas en obra .....	73
Cuadro N° 6.5 Oportunidad de mejora de las herramientas LPDS para aplicación en obra.....	74

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Mapa del sistema ferroviario de lima metropolitana.....	13
Figura N° 3.1 Emplazamiento de la Etapa 1A y de la Estación E-22 Colectora Industrial .....	31
Figura N° 3.2 Situación en planta de la Estación E-22 Colectora Industrial.....	33
Figura N° 4.1 Cronograma maestro de la Estación E-22 Colectora Industrial. Fechas, hitos, y plazos.....	35
Figura N° 4.2 Sectorización volúmenes de concreto. Losa de Cubierta .....	36
Figura N° 4.3 Sectorización volúmenes de concreto. Losa de Vestíbulo.....	36
Figura N° 4.4 Sectorización volúmenes de concreto. Losa de Fondo .....	36
Figura N° 4.5 Programación Lookahead de obra .....	37
Figura N° 4.6 Programación diaria de obra .....	38
Figura N° 4.7 Plano de método constructivo: Planta pantallas de estación .....	39
Figura N° 4.8 Plano de método constructivo: Sección de corte de muretes guía y pantallas.....	40
Figura N° 4.9 Plano de método constructivo: Planta área de excavación nivel cubierta .....	40
Figura N° 4.10 Plano de método constructivo: Sección de corte de plataforma de trabajo nivel cubierta .....	41
Figura N° 4.11 Plano de método constructivo: Planta pilas pilotes en la estación .....	41
Figura N° 4.12 Plano de método constructivo: Sección de corte de pilas pilote en la estación.....	42
Figura N° 4.13 Plano de método constructivo: Planta losa cubierta .....	43
Figura N° 4.14 Plano de método constructivo: Sección de corte de losa cubierta en caja de estación.....	43
Figura N° 4.15 Plano de método constructivo: Planta área de excavación a nivel vestíbulo .....	44
Figura N° 4.16 Plano de método constructivo: Sección de corte de área de excavación nivel vestíbulo .....	44
Figura N° 4.17 Plano de método constructivo: Planta losa vestíbulo.....	45
Figura N° 4.18 Plano de método constructivo: Sección de corte de losa vestíbulo en caja de estación .....	45

Figura N° 4.19 Plano de método constructivo: Planta área de excavación a nivel Fondo .....	46
Figura N° 4.20 Plano de método constructivo: Sección de corte de área de excavación a nivel Fondo.....	46
Figura N° 4.21 Plano de método constructivo: Planta losa de fondo .....	47
Figura N° 4.22 Plano de método constructivo: Sección de corte de losa de fondo en caja de estación .....	47
Figura N° 4.23 Plano de método constructivo: Planta ubicación de accesos .....	48
Figura N° 4.24 Plano de método constructivo: Secciones de corte de accesos ..	48
Figura N° 4.25 Plano de método constructivo: Planta cubierta de accesos.....	49
Figura N° 4.26 Plano de método constructivo: Secciones de corte de cubierta accesos.....	49
Figura N° 4.27 Plano de método constructivo: Losa cubierta, prefabricados instalados.....	50
Figura N° 4.28 Plano de método constructivo: Sección de corte de prefabricados instalados .....	50
Figura N° 4.29 Plano de método constructivo: Planta relleno sobre losa cubierta .....	51
Figura N° 4.30 Plano de método constructivo: Sección de corte de relleno sobre Losa Cubierta.....	51
Figura N° 4.31 Reporte diario de obra .....	59
Figura N° 5.1 Plan Maestro de obra Estación E-22 Colectora Industrial. Precedencias, y duración de actividades. ....	63
Figura N° 5.2 Programación diaria de obra realizada de acuerdo a compromisos con la ejecución en campo.....	64
Figura N° 5.3 Curva S de Venta/Producción .....	65
Figura N° 5.4 Curva de productividad de la partida encofrado para muros alzados .....	67
Figura N° 6.1 Esquema de modelo Lean Project Delivery System LPDS.....	68
Figura N° 6.2 Ejemplo de un plan semanal de obra con restricciones levantadas .....	75
Figura N° 6.3 Ejemplo de un registro de PPC .....	76
Figura N° 6.4 Ejemplo formato Nivel general de actividad.....	77
Figura N° 6.5 Ejemplo formato Cuadro de nivel general de actividad.....	78
Figura N° 6.6 Ejemplo de un formato de registro de carta balance.....	79

## LISTA DE SÍMBOLO Y SIGLAS

CCM2L	Consorcio Constructor Metro 2 Lima
EDI	Estudio Definitivo de Ingeniería
HH	Hora Hombre
LC	Lean Construction
LPDS	Lean Project Delivery System
LPS	Last Planner System
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PAC	Plan de Actividades Completado
PBI	Producto Bruto Interno
PERT	Program Evaluation Review Technique
PPC	Porcentaje de Plan Cumplido
SAC	Sociedad Anónima Cerrada
SSOMA	Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente
TC	Trabajo Contributorio

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

En los últimos años, en el Perú el sector de la construcción ha venido presentando un crecimiento dinámico considerable, y estos son validados por los índices económicos de los últimos años. En base a ello, se encuentra que la inversión total para la ejecución de la Línea 1 del metro que inicio en 1986 y finalizo en el 2014 fue de US\$ 2,100 millones. (Alerta Económica, 2017)

Así mismo, el gobierno está fomentando una considerable inversión en infraestructura pública para el desarrollo del país, como es el caso de las vías ferroviaria, las cuales mejoraran la forma de transporte en la ciudad capital, siendo la inversión estimada para la ejecución de la Línea 2 de US\$ 5,568 millones. (El Peruano, 2014)

El sistema ferroviario proyectado estará comprendido por 06 líneas de tren (Figura N° 1.1), siendo 01 línea aérea (37 km) y 05 líneas subterráneas con un total de 128.4 km de recorrido. La línea 2 comprende 27 km en su recorrido.



Figura N° 1.1. Mapa del sistema ferroviario de Lima metropolitana  
Fuente: <https://www.mapadelima.com/mapa-del-metro-de-lima/>

A inicios del 2014, la República del Perú a través del Ministerio de Transportes Y Comunicaciones (MTC) dio la buena pro para el inicio de la ejecución del proyecto “Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambeta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao”. Este Megaproyecto será el primer transporte masivo subterráneo del Perú.

De acuerdo a las necesidades de obra y la especialización de los trabajos a realizar, el cliente (Consortio Constructor Metro 2 de Lima) fracciona los paquetes de trabajo generando las subcontrataciones considerando las especialidades y etapas constructivas correspondientes.

La construcción de este megaproyecto se divide en 2 bloques, lo cuales son i) las estaciones subterráneas, y ii) los tramos de túnel entre estaciones y pozos de ventilación. Para el caso de la ejecución de las estaciones subterráneas, estas consideran las siguientes etapas constructivas: a) Ejecución de pantallas de caja de estación, b) Movimiento de tierras y obras civiles, c) Obras de Arquitectura, d) Instalaciones e implementación, y d) Obras de urbanismo.

Para los trabajos correspondientes al movimiento de tierras y obras civiles de la estación E-22 Colectora Industrial, el CCM2L subcontrata a la empresa Harlam Syo Perú SAC, especialista en la ejecución de megaproyectos a nivel internacional, con el fin de atender dicha necesidad.

De acuerdo a su experiencia en otros países, la empresa ejecutora de origen española aplica los procesos de planificación, ejecución y control para el cumplimiento de los alcances y plazos contractuales, identificando que estos no necesariamente se acomodan a la realidad peruana.

Al ser esta obra la pionera en su clase para nuestro país, se presenta la oportunidad y genera la necesidad de registrar toda la información posible sobre el proceso de su realización para proyectos futuros de similar índole.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las construcciones subterráneas para transporte masivo no han sido muy estudiadas en el país, por lo que para el desarrollo de la construcción de estas estructuras peculiares se están usando normas extranjeras. Así mismo, por condiciones de terreno, los procedimientos constructivos de otros países no necesariamente podrán ser aplicados de forma similar. En ese sentido, ello requiere un adecuado proceso constructivo a fin de asegurar los plazos y optimizar los recursos de la obra (Mego, 2017).

De acuerdo al sistema constructivo y las condiciones del terreno del área de trabajo, los procesos y sectorización de las actividades de trabajo se dificultan, generando cantidades de trabajo diferentes de acuerdo a los frentes en actividad, ya que las actividades no suelen ser convencionales ni repetitivas, lo cual podría generar pérdida de trabajo productivo de los recursos empleados.

Una estación subterránea en su etapa de obra civil es un proyecto no convencional debido a sus procedimientos y sistema constructivo, por lo que se necesita atender temas clave como la planeación, programación y control (Velásquez, 2020).

El no tener una planificación y control de avance adecuado para la ejecución de los frentes de trabajo de una estructura atípica, como una estación de metro subterránea, puede generar una causa de no cumplimiento de hitos y entregable en el proyecto, ocasionando retrasos no contemplados y la pérdida de recursos empleados.

Con una gestión eficiente de la producción se pueden escatimar problemas de plazos y optimizar los recursos empleados en la ejecución de obra (Quispe, 2015).

La administración de los recursos y la confiabilidad de los mismos depende de una programación y control de obra con horizontes cortos, lo cual hará que la confiabilidad de los procesos se aproxime al 100% (Caso, 2002).

Para obtener el máximo beneficio de los recursos a emplear en la ejecución de los trabajos es fundamental contar con un sistema de gestión que integre los procesos de planificación, ejecución, y control de la producción de manera efectiva.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo general

- ✓ Describir la gestión de la producción de obra empleada en la ejecución de la estación de metro subterránea N° 22, para identificar las oportunidades de mejora que podrían permitir optimizar los recursos y procesos empleados.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Describir los procesos de planificación, ejecución, y control de la gestión de la producción de obra que se emplearon de acuerdo al alcance y plazo contractual.
- ✓ Analizar las herramientas de planificación y control de obra que se utilizaron durante la ejecución, tomando como referencia la filosofía Lean Construction.
- ✓ Proponer oportunidades de mejora para la gestión de la producción que se empleó en la ejecución de la obra de acuerdo a sus características, tomando como referencia la filosofía Lean Construction, para buscar la optimización de los recursos y procesos empleados.

### 1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Mego (2017). Proceso constructivo de pozo de ventilación para mejorar los plazos y la calidad – línea 2 del metro de Lima etapa 1A.

Resumen: La tesis presentada por Mego, la cual se titula Proceso Constructivo de Pozo de Ventilación para Mejorar los Plazos y la Calidad – Línea 2 del Metro de Lima Etapa 1 A, ubicada en lima – santa Anita, tiene como objetivo explicar el proceso constructivo del pozo de ventilación.

La metodología para el desarrollo del trabajo que Conto utilizó fue de tipo aplicada, de nivel descriptivo explicativo, siendo el método desarrollado el de muestreo no probabilístico intencional, la población fue en la zona de estudio, pozo de ventilación PV 24, ubicado en lima – Santa Anita.

Respecto a las variables utilizadas, la primera variable fue el Proceso Constructivo y sus dimensiones: conocimiento de procesos constructivos, plazos de obra,

calidad en la construcción, y la segunda variable utilizada tiene como dimensiones lo siguiente: mejorar los plazos y la calidad. De esto, luego de mostrar, detallar, precisar los requerimientos y explicar los procesos y actividades de la presente investigación, con los resultados obtenidos se pudo concluir que en cada una de las fases de la construcción del pozo de ventilación, las estimaciones con las que se hace una planificación dejan de ser supuestos y pasan a ser realidades, y con ello la planificación se torna certera y con posibilidad de cumplimiento, así mismo se disminuye la incertidumbre debido a que ya se conocen las características de la obra y los posibles errores en los que se pueda incurrir, ayudando en la optimización de plazos y mejora de la calidad.

Velásquez (2020). Planificación y Programación para la Construcción de una Estación de Tren Subterránea de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao, Aplicando la Metodología Lean Construction para el Control y Ejecución del Proyecto

Resumen: El trabajo realizado por Velásquez menciona que el origen de la filosofía Lean Construction (LC) o la construcción sin pérdida, la cual aparece los años 1990, tiene como referente el modelo automovilístico del Toyota Production System para la industria de la construcción. Este nuevo enfoque de gestión de proyectos para la construcción sin pérdidas fue propuesto por el docente investigador Lauri Koskela, quien menciona que visualicemos a la producción en la construcción de obras como un proceso de transformación, de flujo y de generador de valor.

Basado en ello, el objetivo de LC es generar sistemas de producción que permitan optimizar, reducir o eliminar los flujos de producción para generar mejores tiempos de entrega. El rubro de la construcción es uno de los más importantes gestores de la economía del país y por su influencia en el PBI se requiere de la aplicación de metodologías en la gestión de proyectos como LC para generar valor evitando pérdidas; sin embargo, su correcta aplicación en campo es reducida, presentándose indicadores óptimos solo en un grupo selecto de empresas de construcción.

En el presente trabajo de investigación se propuso el desarrollo y aplicación de la filosofía Lean Construction como herramienta para la planificación, ejecución y control para la ejecución de una estación de tren subterránea de la Línea 2 del

Metro de Lima y Callao, especificando los conceptos y herramientas del LC que puedan utilizarse como base para su aplicación y desarrollo para alcanzar los objetivos del proyecto.

Así también, se indicó la secuencia, división y sectorización de los trabajos a realizar para la elaboración del plan maestro de obra, se identificó las actividades que no generan valor al proceso o son no productivas, tratando así de mitigar las pérdidas más visibles, reduciendo los ciclos y generando trabajos en paralelo.

Se aplicaron las teorías Last Planner, Lookahead y Week Planning para el control y seguimiento del proyecto con la finalidad de identificar restricciones para analizar y decidir lo que se puede hacer en el plan diario, y con esto se buscó generar una guía para la construcción las siguientes estaciones a ejecutar.

Finalmente, se evaluó los resultados de la obra con algunas herramientas de medición como el PAC (Porcentaje de Actividades Cumplidas), y otros para presentar las conclusiones y recomendaciones con la finalidad de generar lecciones aprendidas.

Quispe (2015). Gestión de la producción en las obras del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila

Resumen: El trabajo realizado por Quispe está basado en la ejecución del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, el cual se construyó en dos frentes de trabajo: Frente de Presa y Frente Casa de Máquinas.

La ejecución del túnel de conducción es uno de los elementos principales de la estructura ya que según el cronograma de obra se encuentra involucrado en la ruta crítica del proyecto.

El objetivo del informe fue la presentación de la aplicación del sistema de gestión de la producción que pueda permitir el mejoramiento de los rendimientos de avance de ejecución del túnel, lo que a su vez reduce el impacto generado por problemas de plazos. El sistema de gestión de la producción con el que se trabajó estaba basado en los principios del Lean Construction. Estos principios están orientados a: 1) Establecer un flujo de construcción sin pérdidas, 2) Mapear los procesos de la construcción, y 3) Mejorar los flujos de las actividades a ejecutar.

En el capítulo I, el autor presenta una descripción general de las principales estructuras de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, siendo el túnel de conducción una de estas.

El capítulo II desarrolla el marco conceptual de la gestión de la producción utilizada. Este sistema está basado en diseñar, dirigir y controlar los trabajos productivos aplicando los principios de la filosofía Lean Construction. Además, se describe el proceso de construcción del túnel de conducción por medio del mapeo de los procesos constructivos.

En el capítulo III, el autor procede a exponer la aplicación de las herramientas utilizadas para la planificación y el control de obra del sistema de gestión de producción. Estas herramientas permitieron crear un control eficaz de los procesos constructivos, generando una mejora en la productividad de obra.

El informe finaliza con el capítulo IV, en el cual el autor expone las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron de acuerdo al desarrollo y aplicación de la gestión de la producción, obteniendo la validación de la aplicación del sistema de gestión de producción que se basó en la filosofía Lean Construction.

Caso (2002). Programación y control de obra del canal principal Cascajal, Nepeña, Casma, Sechín tramo correspondiente a las progresivas 70+540 al 72+862.654 cruce del Río Nepeña.

Resumen: En el desarrollo del presente, Caso expone que las empresas constructoras nacionales enfrentan una competencia muy dura con sus similares de origen extranjero. Existen senderos opuestos que buscan incrementar la competitividad de estas, por ello la competencia debe enfocarse en la búsqueda de un sistema que otorgue estándares de productividad por medio de un manejo profesional para los trabajos del rubro. Se trabaja teniendo como referencia la productividad, ya que es el índice económico de mayor importancia y se utiliza como criterio principal de evaluación para la actividad productiva.

Del mismo modo como hay herramientas y procedimientos para los trabajos de diseño estructural para calcular las dimensiones óptimas que soporten las cargas de diseño, así también existen enfoques y herramientas específicas que permiten

mejorar y encontrar los sistemas y cuadrillas óptimas para poder conseguir mejoras considerables en el rubro de construcción.

Lograr el efecto simultáneo de reducción de los recursos de mano de obra, materiales y maquinaria sin generar inversiones extra de capital es posible mediante la organización más precisa de ejecución de los trabajos. Para ello una de las acciones organizativas dirigidas para solucionar el problema proviene de la teoría de la cadenicidad de la construcción, en la cual es imprescindible la formación de unidades especializadas.

La especialización de los trabajos no sólo debe acaparar las etapas de edificación sino también las etapas del desarrollo del proyecto de edificaciones y obras en general. La especialización de los procesos productivos permite emplear de manera más completa los medios de mecanización. Los rendimientos bajos y tiempos no productivos relevantes son a causa de la aritmicidad de la construcción y la falta de acondicionamiento oportuno de los frentes de trabajo. Pero esta no es la única solución.

En el marco general del sistema de construcción se requiere considerar que ésta en su conjunto pueda tener acceso a herramientas modernas de gestión que le permitan dar continuidad en bloque. Existe un consolidado de herramientas que desarrollan el mejoramiento de la productividad, las cuales se agrupan en la teoría de producción del "Lean Production" (producción sin pérdidas).

Conto (2019). Comparación del costo y plazo en la construcción de estaciones subterráneas tipo cut and cover y caverna en la Provincia Constitucional del Callao.

Resumen: En el presente trabajo, Conto expone que los dos de los métodos constructivos más empleados para la excavación de túneles y estaciones subterráneas son: a) cut and cover (ejecución a cielo abierto) y b) el nuevo método austríaco (ejecución subterránea). Cada método y sus variantes tienen limitaciones en su procedimiento que dependen de las condiciones geológicas. Estos aspectos influyen de manera directa en el costo y plazo de la construcción de un túnel vial, siendo estos mayores si la estratigrafía presenta perfiles de suelo blandos.

La tesis tiene como objetivo principal hacer una comparación entre el costo directo y tiempos de ejecución para estaciones de metro subterráneas ejecutadas con ambos métodos y ubicadas en la Provincia constitucional del Callao.

Además, se pudo visualizar los puntos críticos del recorrido de la proyección de la Línea 2 y ramal de la línea 4 del metro de Lima tomando en consideración los mapas de suelos y microzonificación sísmica.

La metodología del presente trabajo plantea un análisis comparativo entre ambos métodos constructivos e incluye modelos de estaciones ya construidas en capitales como Santiago de Chile y Ciudad de México, las cuales presentan similares características demográficas y geológicas con Lima. Se identificaron dos estaciones de interés: Av. Bocanegra y Av. Colonial las cuales están sobre un perfil Tipo III (S3 – Suelos Blandos) que incluye depósitos de suelos finos y arenas sueltas de espesor considerable. Esta condición obliga al empleamiento de lodo bentónico para los trabajos de excavación de muros Milán (cut and cover) incrementando en 2 y 3 % el costo directo total. Las partidas de mayor importancia son el movimiento de tierras y las losas waffle que juntas representan el 75% del costo total de la obra.

Por otro lado, el doble recubrimiento en el caso del nuevo método austríaco, junto a las partidas de obras previas y movimiento de tierras en el túnel representan el 52.9% del costo directo. El análisis que se realizó muestra que el nuevo método austríaco es 7.8% más costoso que el método Cut and Cover, y al incluir los gastos generales la diferencia se incrementa hasta 12.5%. El incremento se debe al plazo de ejecución que demanda el nuevo método austríaco que son aproximadamente de 3 a 4 meses más. A pesar de su prolongada duración, este último tiene como ventaja que no restringe los trabajos en la superficie.

Por otro lado, el método Cut and Cover es más eficaz en plazos de ejecución, pero supone un sobrecosto del 4% del costo total para la reposición de la superficie donde se trabajó, la misma que limita el flujo vehicular durante la etapa de excavación de los muros Milan. En el caso del nuevo método austríaco la inclusión de aditivos en el shotcrete permite optimizar la producción diaria además de los costos.

El crecimiento evolutivo de ambos métodos a través del tiempo, relacionado a la tecnología de materiales y maquinaria, ha permitido mejorar de forma significativa las velocidades de ejecución para la construcción de túneles viales urbanos.

Padilla; Pando; Soto (2017). Análisis de los procesos constructivos cut and cover para evaluar el plazo y costo de la construcción de una estación subterránea típica.

Resumen: En el presente trabajo investigación, los autores muestran el procedimiento de ejecución para la construcción de la estación Hermilio Valdizan, que tuvo un plazo real de ejecución a nivel de estructura gruesa de 320 días calendarios y un costo de \$17,653,000.86. También se presenta tres alternativas para la ejecución de la obra.

La alternativa 1 contempla la ejecución de la obra utilizando el método cut and cover modalidad top down, teniendo esta alternativa tenemos un tiempo de ejecución de 289 días calendarios y un costo de obra de \$15,984,350.85.

La alternativa 2 considera la ejecución de la obra empleando el método cut and cover modalidad top down en el cual se tiene un plazo de ejecución de 337 días calendarios y un costo de obra de \$15,707,159.90.

La alternativa 3 tiene contemplado la ejecución de la obra bajo la modalidad del método cut and cover modalidad bottom up, y tiene un plazo de ejecución de 238 días calendarios y un costo de obra de \$14,840,048.09.

Después de presentar estos resultados se pudo hacer la corroboración con el procedimiento de construcción utilizado en ese momento y se pudo verificar que se cuentan con alternativas de menor plazo de ejecución y menor costo de obra, y con el resultado obtenido se pudo recomendar la mejor alternativa a usar en la construcción de la obra de acuerdo a la situación del proyecto, ya que las ventajas en cada situación será determinada de acuerdo al estado de todo el proyecto y el entorno urbano en el que está emplazada la obra.

Vilcapoma (2014). Diseño del planeamiento y programación en cadena del tramo "v" del viaducto elevado de la línea 1 tramo 2 metro de lima.

Resumen: En el presente Informe de Suficiencia, Vilcapoma menciona que su elaboración de gesta a partir de la necesidad de desarrollar una correcta planificación y una adecuada programación de obra de un sector del viaducto elevado que conforma el megaproyecto del Metro de Lima, Tramo 2 de la Línea 1.

Este proyecto fue adjudicado al consorcio Tren Eléctrico conformado por las empresas Odebrecht (Brasil) y Graña y Montero (Perú) en el año 2011.

El informe buscó plasmar una metodología de trabajo que garantice la entrega del proyecto en el plazo contratado y utilizando la mínima cantidad de recursos necesarios. Bajo este postulado, el objetivo principal del presente es elaborar un método efectivo de planificación para la ejecución del Tramo V del viaducto elevado. En ese sentido se estudian los factores que impactan en la ejecución de la obra, y asimismo se presenta como método de planificación la Teoría de Producción en Cadena de la Construcción o Tren de Actividades.

Para poder desarrollar el trabajo se muestran los Antecedentes de la obra, con la finalidad de evaluar el espacio donde se va a ejecutar el trabajo y conocer el alcance del proyecto. El factor más importante por el cual se elabora la Programación en Cadena es el plazo de ejecución del proyecto. Así también, se presenta la descripción general de la obra.

Por otro lado, se muestra el marco teórico el cual sirvió como base para la elaboración del Planeamiento y Programación en Cadena, de manera principal para la teoría de Producción en Cadena y su aplicación en las obras civiles. La comprensión de la teoría es fundamental para la adecuada elaboración del Planeamiento de la Obra.

Finalmente se aplica la teoría planteada, analizando el proceso constructivo de la ejecución del Viaducto, asimismo se analizan las principales limitaciones que existen en el proyecto y con las cantidades de trabajo con las que se cuenta para su ejecución.

Castillo (2014). Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos Lean (LPDS)

Resumen: Castillo menciona que la presente tesis se gesta de la necesidad que existe para un mejor entendimiento y conocimiento de las herramientas desarrolladas en el Sistema de Entrega de Proyectos Lean como parte de la filosofía Lean Construction.

El autor busca elaborar un inventario de las herramientas en mención, las cuales fueron recopiladas de los diferentes trabajos investigativos publicados en las conferencias del Grupo Internacional de la Construcción Lean y en el Instituto de la Construcción Lean.

El término Lean Construction se establece en la década de los 90, sin embargo, en nuestro país está teniendo mayor fuerza en los últimos años debido a un grupo de empresas constructoras que están desarrollando y aplicando de esta filosofía en sus obras.

Para el adecuado desarrollo de la filosofía Lean Construction es necesario comprender sus principios, conceptos, objetivos y funciones. Además, se debe de seguir la metodología impartida para el correcto desarrollo de los proyectos en las fases que propone el Sistema de Entrega de Proyectos Lean.

En nuestro País, hablar de Lean Construction implica generar una relación directa con el Sistema Last Planner, el cual es un sistema básico del control de producción y tal vez el más importante de esta filosofía, pero no es la única herramienta que existe. Es importante tener conocimiento de las demás herramientas que nos ofrece el Lean Construction, ya que cada una de las herramientas están postuladas para cada una de las fases de los proyectos de construcción; la comprensión y aplicación de estas herramientas son muy importantes para alcanzar las metas trazadas dentro de esta filosofía.

El desarrollo de la presente tesis buscó otorgar un marco de referencia sobre el sistema de Construcción Lean y sus herramientas, y con el objetivo de esclarecer cada una de éstas se ha implementado un ejemplo para que sirva de ilustración de la aplicación de cada herramienta propuesta.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1 Gestión de la producción

Consiste en diseñar, dirigir y controlar una operación productiva. Está orientado a lograr la eficiencia en la producción, lo cual se entiende como la optimización de recursos y cumplimiento de plazos de ejecución (Quispe, 2015).

#### 2.1.2 Planeamiento

El planeamiento es la evaluación del proyecto que permite determinar las estrategias de gestión y ejecución a utilizar durante el proceso. Esto implica identificar el alcance del proyecto a cabalidad, para así poder definir los recursos necesarios, las etapas de ejecución y los plazos de estas (Quispe, 2015).

#### 2.1.3 Ejecución

La ejecución es la materialización o realización de lo señalado en el Plan de trabajo. El área de producción es la responsable del cumplimiento de ello; y en esta etapa se busca emplear los recursos asignados de manera eficiente (Quispe, 2015).

#### 2.1.4 Control

El control consiste en verificar que la etapa de ejecución se está desarrollando según lo planeado, y en identificar las causas de las posibles desviaciones, con el fin de tomar acciones al respecto. Esto se realiza comparando la realidad con la línea base elaborada en el planeamiento. En base a estos resultados, se retroalimenta la planificación elaborada (Quispe, 2015).

#### 2.1.5 Sectorización

Es el fraccionamiento de áreas en porciones más pequeñas denominadas sectores, los cuales están dimensionados cuantitativamente en partes aproximadamente iguales para que se mantenga un flujo continuo entre los sectores que se hayan podido generar en el proyecto y estos se puedan cumplir según lo planificado para que puedan generar valor al sistema de producción (Velásquez, 2020).

#### 2.1.6 Plan maestro

El plan maestro es el plan general de obra, donde se detalla todas las actividades que se tienen que ejecutar y los principales eventos, llamados hitos, del proyecto como el inicio y fin de obra, entregas parciales, procuras, permisos u otras actividades que son de especial relevancia para el éxito del proyecto (Velásquez, 2020).

#### 2.1.7 Lookahead

El Lookahead es una herramienta de planificación de obra de jerarquía media, basada en plan maestro, en la cual se genera información para la realización de una planificación a corto plazo, que ayuda al control de la asignación de trabajo (Velásquez, 2020).

El horizonte de trabajo de esta planificación abarca de 3 a 5 semanas, en las cuales se proyectan los trabajos de acuerdo a los entregables a cumplir, a fin de prever los recursos necesarios (Caso, 2002).

#### 2.1.8 Plan Semanal

La programación semanal es un plan que cuenta con mayor detalle que se desprende del Lookahead, generando un acercamiento de la semana a trabajar, con todas las actividades a realizar en curso. Este plan ha pasado previamente un análisis de restricciones para ser viable (Velásquez, 2020).

#### 2.1.9 Programación diaria

La programación diaria se elabora de acuerdo a la programación semanal establecida, esto con el fin de ser transmitida a los responsables de campo diariamente por medio de los canales de comunicación utilizados en la obra, esto con el fin de dar cumplimiento a lo programado (Velásquez, 2020).

#### 2.1.10 Trabajo productivo

El trabajo productivo corresponde a toda aquella tarea o actividad que agrega valor directo al producto o entregable, es decir aquello que concreta una determinada acción (Vilcapoma, 2014).

#### 2.1.11 Trabajo contributorio

El trabajo contributorio es aquel que aporta valor indirectamente para poder completar una tarea o actividad productiva (Vilcapoma, 2014).

#### 2.1.12 Trabajo no contributivo

El trabajo no contributivo o improductivo es aquella acción que no aporta ningún valor a la tarea o actividad-que se desarrolla (Vilcapoma, 2014).

#### 2.1.13 Productividad

La productividad es la medida de la eficiencia con la que los recursos, como el personal, los materiales, y los equipos y herramientas, son administrados para completar un producto específico dentro de un plazo establecido de acuerdo a los parámetros de calidad de dicho producto (Caso, 2002).

#### 2.1.14 Lean construction

La filosofía Lean Construction persigue la excelencia a través de un proceso de mejora continua en la empresa o proyecto de construcción, que consiste principalmente en reducir o suprimir todas aquellas tareas y transacciones que no generan valor, por medio de la optimización de recursos y la mejora de la entrega de valor al cliente, para diseñar y producir a un costo menor, incrementando la calidad, con mayor seguridad y con tiempos de entrega más reducidos, dentro de un marco ecológico con el entorno. Lean Construction busca conseguir estos objetivos en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción, contando con todos los involucrados que intervienen en el proceso de diseño y construcción, así como los que participan en la cadena de suministro y en cada flujo de valor, sin dejar a nadie fuera e integrando a todos bajo una meta común según los principios del sistema Lean (Pons, 2014).

#### 2.1.15 Last Planner

El Last Planner o último planificador, quien normalmente es el capataz de obra, maestro de obra o jefe de obra, se define como la última persona con facultades de asegurar un flujo de trabajo predecible en el día a día, ya que es la persona que asigna las tareas de trabajo directamente a los trabajadores. La principal función del Last Planner, es la de obtener compromisos de entrega de los trabajos en base a la situación real de un puesto de trabajo, en lugar de hacerlo en base a la planificación teórica. Esto se logra mediante un sistema Pull en lugar de un sistema Push porque es la actividad aguas abajo en la cadena o flujo de valor la que marca el ritmo y tira de la demanda y no a la inversa como ocurre en el sistema tradicional, en el que las actividades aguas arriba empujan la producción hacia las

actividades aguas abajo, generando cuellos de botella, exceso de inventario y esperas, entre otros desperdicios (Pons, 2014).

#### 2.1.16 Plan de Porcentaje Completado (PPC)

Esta herramienta permite estimar cuanto de los trabajos establecidos en la planificación semanal de obra se ha completado realmente. El PPC compara lo que se planificó ejecutar versus lo que realmente se ha ejecutado. En el PPC solo se registra tareas que hayan sido terminadas, y las que están en proceso o inconclusas se registran como no ejecutadas. La importancia de esta herramienta yace en la retroalimentación que se obtiene en la asignación de tareas futuras (Castillo, 2014).

#### 2.1.17 Carta Balance

Es una herramienta que permite de manera estadística determinar cómo se fracciona el tiempo que se invierte en cada una de las tareas dentro de la actividad escogida. Permite visualizar la cantidad de obreros idónea para la cuadrilla de trabajo y determinar si está correctamente balanceada.

Los pasos sugeridos para desarrollar una Carta Balance son los siguientes:

- a) Escoger la actividad de muestreo y tener claro su proceso constructivo.
- b) Identificar la cuadrilla de trabajo con sus respectivas categorías (Operario, oficial, ayudante, etc.).
- c) Identificar las tareas dentro de la actividad escogida, separando los trabajos en las diferentes categorías (Trabajo Productivo, Trabajo Contributorio, y Trabajo No Contributorio).
- d) En el formato establecido, registrar lo que está haciendo cada obrero minuto a minuto.
- e) La muestra debe tener como mínimo 384 observaciones para obtener una confiabilidad de al menos el 95%.

(Castillo, 2014)

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1 Método Cut and Cover

El método Cut and Cover consiste en la construcción de muros hormigonados o muros Milán (\*), también llamados, Top Down o método inverso. Recibe este nombre, ya que en primer lugar se ejecutan las paredes laterales del túnel y la losa superior de cubierta que se apoya en los muros, y después se procede a excavar y eliminar el material del interior de la caja con maquinarias varias.

Lo importante de este método es que suele tener rendimiento elevado cuando se trata de estaciones o túneles que no se encuentran a mucha profundidad, es decir, de no más de 15 metros bajo la cota cero, ya que el procedimiento de trabajo es repetitivo; excavar, sostener y avanzar. Según la estructura proyectada, se pueden diferenciar tipos de estaciones subterráneas o túneles construidos con este método:

- Estación o falso túnel entre muros con losa plana de hormigón armado.
- Estación o falso túnel entre muros con bóveda ejecutada “in situ” sobre terreno excavado.

(\*) Los muros Milán, son estructuras de concreto armado vaciadas insitu. Estos muros conforman las paredes laterales de los túneles viales y tienen profundidades aproximadas de 25 metros. (Conto, 2019)

### 2.2.2 Estación subterránea

Son las infraestructuras desde las cuales se tienen accesos hacia los trenes. Estas estaciones pueden variar en forma y tamaño”, las variaciones dependen de la capacidad y tamaño de los trenes, para el cual es diseñado, así como también del lugar donde será ejecutado De acuerdo a su método constructivo existen estaciones tipo caverna y Cut and Cover. (Padilla, Pando, Soto, 2017)

Una estación subterránea cuenta con los siguientes niveles: Losa de cubierta, Losa nivel vestíbulo, y Losa nivel fondo. Sobre el nivel de cubierta se encuentra la zona rellena que involucra las vías superficiales y urbanismo del área involucrada. A nivel de vestíbulo se ubica la zona pública de la estación y la boletería. A nivel de fondo se encuentran las vías férreas por donde transitaría el tren subterráneo. (Conto, 2019)

## CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE LIMA Y CALLAO

La línea 2 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao, la cual conectará los distritos de Lima este (Ate, Santa Anita) con los de Lima Centro y la provincia constitucional del Callao (Zona Oeste), servirá a la urbe como complemento para transporte urbano y se integrará 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 en el sentido de Sur a Norte.

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

- Tiene una longitud total de recorrido de 26.87 Km.
- La longitud de túnel es de 21 Km aproximadamente.
- Contará con 27 estaciones subterráneas (las dimensiones aproximadas de una estación genérica son 135 metros de largo, 26 metros de ancho, y .17 metros de altura).
- Contará con 03 terceras vías (área de cambio de sentido de vía de las unidades).
- Se cuenta con 01 patio taller (Santa Anita) para el mantenimiento de las unidades.
- Entre estaciones, se tendrá 26 pozos de ventilación y emergencia en total (con dimensiones aproximadas de 11 metros de diámetro y 17 metros de profundidad).

El desarrollo del proyecto está considerado en 3 etapas (Etapa 1A, Etapa 1B, Etapa 2) cada una conformada por estaciones y pozos de ventilación.

### 3.2 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 (Figura N° 3.1), dentro del cual se encuentra la estación de referencia E-22 Colectora Industrial. Dicha etapa comprende la ejecución de las estaciones comprendidas entre la estación de Evitamiento (E-20) y Mercado Santa Anita (E-24), contando el tramo con 5 estaciones y 4 pozos de ventilación y emergencia, los cuales están ubicados entre las estaciones aproximadamente a la mitad del tramo que conecta una estación con otra.

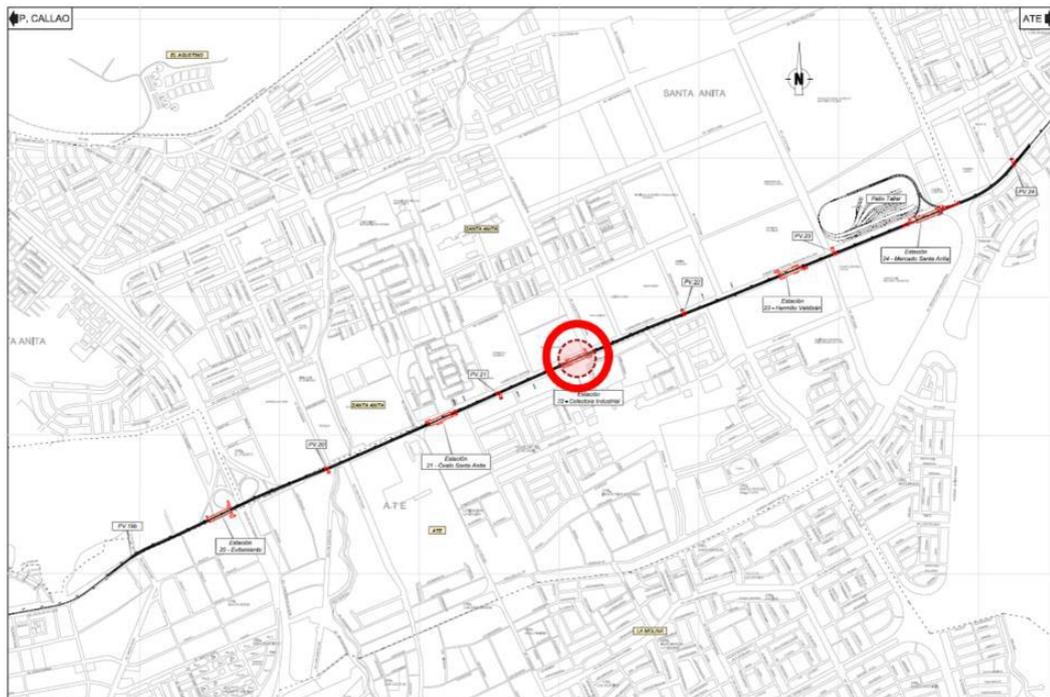


Figura N° 3.1 Emplazamiento de la Etapa 1A y de la Estación E-22 Colectora Industrial  
Fuente: Memoria descriptiva EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima (ML2-CML-01A-C-008-SCOL-OCGEN-GEN-MD-0010-02)

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

- De acuerdo a las progresivas: Inicio: 18 km +600, Final: 24 km +100.
- El tramo tiene una longitud de 5,500 metros.
- Cuenta con 05 estaciones de paso.
- Cuenta con 04 pozos de ventilación.
- Cuenta con 01 patio taller (Patio Taller Santa Anita)

### 3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTACIÓN E-22 COLECTORA INDUSTRIAL

En el presente sub capítulo se procede a describir brevemente las características principales de la Estación E-22 Colectora Industrial correspondiente a la Etapa 1A, la cual es objeto de estudio del presente trabajo de suficiencia.

La estación está emplazada en la progresiva central de andén 21+381.296 de la Línea 2, bajo la Carretera Central en su intersección con la Av. Colectora Industrial (Figura N° 3.2).

La estación subterránea se ejecutará de acuerdo al método cut and cover, ejecutando los muros Milán y encajonando la estación para la etapa de movimiento de tierras y obras civiles.

La etapa del movimiento de tierras tiene un volumen aproximado de tierras a eliminar de 65,000 m<sup>3</sup>.

La estación cuenta con los niveles de cubierta, vestíbulo y andén, los cuales son losas macizas de concreto armado con un volumen total de hormigón de 7,600 m<sup>3</sup> aproximadamente.

Los accesos y la salida de emergencia se encuentran fuera de la caja de la estación, por lo cual su ejecución será mediante excavación a tajo abierto, para posteriormente construir la losa de fondo, muros verticales contra terreno, y losa cubierta.



Figura N° 3.2 Situación en planta de la Estación E-22 Colectora Industrial  
Fuente: Memoria descriptiva EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima (ML2-CML-01A-C-008-SCOL-  
OCGEN-GEN-MD-0010-02)

## CAPÍTULO IV: PROCESOS DE LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE OBRA

En el presente capítulo, se procede a describir los procesos de planificación, ejecución, y control de la gestión de la producción de obra que se emplearon para la ejecución del subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22, de acuerdo los alcances y plazos establecidos en este.

### 4.1 PLANIFICACIÓN DE OBRA

#### 4.1.1 Plan maestro de obra

El plan maestro de obra o cronograma maestro de obra (Figura N° 4.1) se estableció en base al alcance contractual de ejecución y el plazo de entrega indicados por el cliente en el subcontrato adjudicado. En dicho plan se consideraron los siguientes conceptos para el desarrollo del mismo:

- Alcance de obra a ejecutar: El alcance de ejecución estuvo supeditado a las partidas contractuales del presupuesto del subcontrato de obra, ya que en base a estas partidas y los paquetes de trabajo que conforman se estableció la ruta de trabajo a seguir para la entrega del producto final.
- Plazo contractual de obra: El plazo contractual es el periodo de tiempo que se estableció entre las partes contratante y contratada para la entrega del producto final. Para el subcontrato asignado dicho plazo fue de 307 días calendario contados desde el 17/03/2018.
- Hitos de obra: Los hitos de obra son fechas específicas establecidas en el cronograma que marcan algún evento importante en el desarrollo de la obra. Estos, en condiciones normales, tienen como característica el ser inamovibles, ya que generalmente reflejan el inicio de nuevas actividades. Para el subcontrato asignado, se establecieron fechas hito en la finalización de cada nivel de losa de la estación.
- Ruta crítica del cronograma: La ruta crítica del cronograma son el conjunto de tareas y/o actividades que definen el plazo contractual de obra. Generalmente, las tareas que se encuentran involucradas en esta son las que tienen mayor atención en el control de obra, ya que cualquier evento interno o externo a la ejecución generara una variación de plazo y fecha de término de la obra. Para el caso del subcontrato ejecutado, la ruta crítica

del cronograma la comprendían las actividades involucradas en la caja de estación, ya que estas tenían un proceso constructivo lineal.

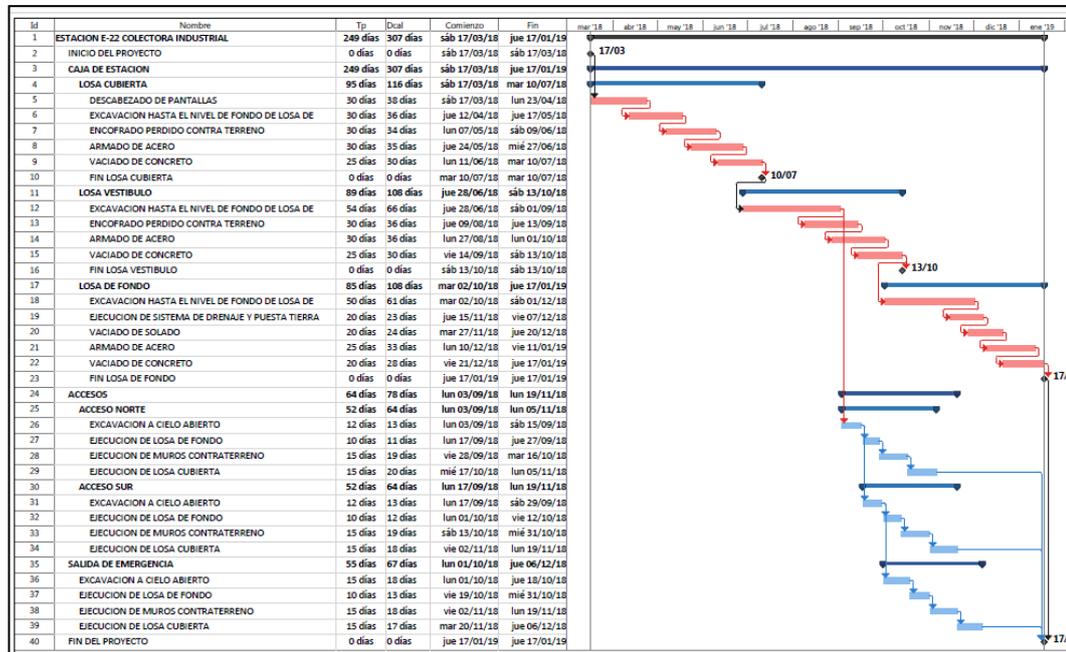


Figura N° 4.1 Cronograma maestro de la Estación E-22 Colectora Industrial. Fechas, hitos, y plazos.

#### 4.1.2 Sectorización

Para elaborar la sectorización de la obra se realizó un fraccionamiento del frente de trabajo en zonas de menor dimensión (sectores) considerando el equilibrio de los metrados (áreas, volúmenes, etc.) a ejecutar en cada sector, de manera que agregue valor al sistema de producción y generar un tren de trabajo. Esto permitió tener un mejor control de ejecución de las actividades involucradas.

De esto, se reconfiguró el plan maestro en base a sectorización generada, a fin de poder trabajar de manera integrada con la planificación de nivel intermedio.

Para el desarrollo subcontrato adjudicado, se estableció la sectorización en volúmenes para la ejecución de las losas de concreto de la caja de estación con el fin de definir el ritmo de trabajo del total de actividades del proceso constructivo.

Respecto a los niveles de ejecución, para la losa de cubierta se establecieron 5 sectores (Figura N° 4.2) con la finalidad de cubrir los volúmenes máximos de hormigonado.

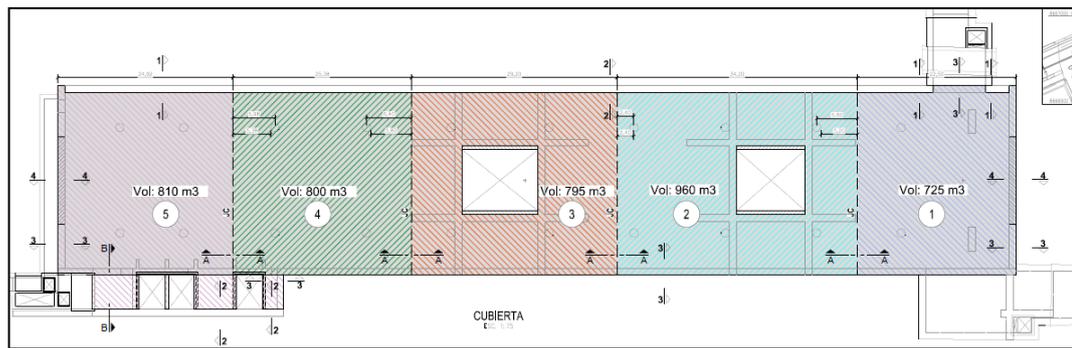


Figura N° 4.2 Sectorización volúmenes de concreto. Losa de Cubierta  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

Para la ejecución de la losa de vestíbulo, se consideraron 4 sectores (Figura N° 4.3) con la misma finalidad.

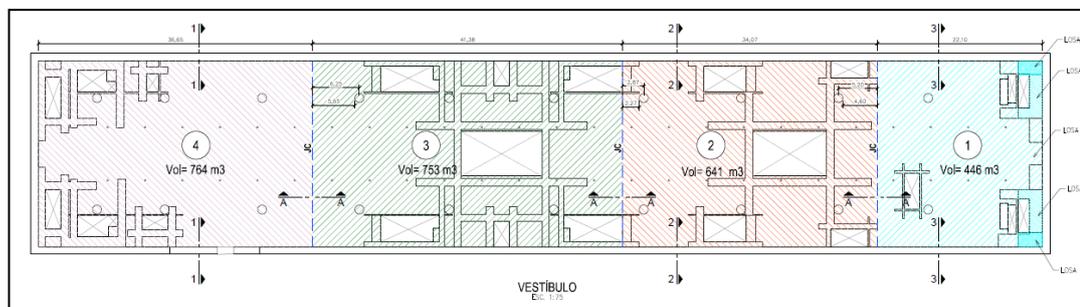


Figura N° 4.3 Sectorización volúmenes de concreto. Losa de Vestíbulo  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

Finalmente, para la ejecución de la losa de fondo, se definieron 3 sectores (Figura N° 4.4) y el criterio utilizado fue por área trabajada más que por volúmenes máximos de hormigonado.



Figura N° 4.4 Sectorización volúmenes de concreto. Losa de Fondo  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima



HARLAM SYO		PLAN DIARIO DE OBRA						Código: PROD-HS-001		
								Revisión: 00		
								Fecha: 07/08/2018		
INFORMACION BÁSICA										
E-22	AREA DE PRODUCCION	ELABORADO POR: JOSE PALACIOS CRISTHIAN SANCHEZ			APROBADO POR: DANIEL SIFUENTES AMERICO TORRES			FECHA: 08/08/2018		
		FIRMA:			FIRMA:			HORA INICIO:  HORA FIN:		
OBRA PLANIFICADA					PERSONAL, EQUIPOS Y MAQUINARIA					
ACTIVIDADES					PERSONAL		MAQUINARIA Y/O EQUIPOS			
ITEM	DESCRIPCION	TIPO	UND	METRADO	DESCRIPCION	CANT	DESCRIPCION	CANT	H. INICIO	H. FIN
1	ACCESO NORTE: ENCOFRADO Y ACARREO DE MATERIALES	TP	m2	65.00	OP. CARPINTERO	8.00				
	FOSA ESCALERA MECANICA	TP	m2	25.00	OF. CARPINTERO	2.00				
	FOSA ASCENSOR	TP	m2	10.00	OP. ALBAÑIL	1.00				
	FRISO DE RAMPA-LOSA	TP	m2	25.00						
	FRISO P/ DESCANSO	TP	m2	5.00						
	ACCESO NORTE: COLOCACION DE SIKAWELS EN JUNTA DE LOSA Y PANTALLA	TP	und	3.00						
	LIMPIEZA GENERAL P/ CONCRETAR LOSAS ACCESO NORTE	TC								
	DESMONTAJE DE CIMBRA: ACARREO DE MATERIALES	TC								
2	LOSA VESTIBULO: DESENCOFRADO DE FOSAS-FASE 4	TP	m2	25.00	OP. CARPINTERO	2.00				
	CURADO DE LOSAS Y LIMPIEZA / ACARREO DE MATERIALES	TC			OF. CARPINTERO	2.00				
	FOSAS Y DUCTOS FASE 4	TP	m2	20.00	PEON	1.00				
3	RELLENO EN SALIDA DE EMERGENCIA (SOBRE EXCAVACION)	TC			OP. ALBAÑIL	2.00				
4	REPARACION DE PANTALLAS FASE 2 Y 3	TC			OP. ALBAÑIL	3.00				
5	ACCESO NORTE: SOLDADURA Y CORTE DE ACERO (BARANDAS Y PUNTOS)	TC			OP. SOLDADOR	1.00				
					OF. CARPINTERO	1.00				
6	ELIMINACION DE MATERIAL DE EXCAVACION EXCEDENTE	TC			PEON	2.00	VOLOQUETES LUPPAR	5.00		
					OP. CARGADOR	1.00	VOLOQUETES INTERSENDA	3.00		
							CARGADOR FRONTAL	1.00		
	TP: TRABAJO PRODUCTIVO									
	TC: TRABAJO CONTRIBUTIVO									

Figura N° 4.6 Programación diaria de obra

## 4.2 EJECUCIÓN DE OBRA

### 4.2.1 Método Constructivo Cut and Cover modalidad de top down.

El método Cut and Cover es utilizado para la construcción de túneles, pozos de ventilación, pozos de salida de emergencia y estaciones subterráneas en el interior de las ciudades. Para una estación subterránea la secuencia constructiva de acuerdo a este método es la siguiente:

- Desvío de tráfico vehicular y liberación de interferencias.
- Nivelación del terreno y ejecución de muros de sostenimiento.
- Construcción de la losa del nivel de cubierta.
- Reposición de la superficie.
- Excavación por debajo de la losa cubierta.
- Construcción de la losa de nivel vestíbulo.
- Excavación hasta el fondo de la estación.
- Construcción de la losa de nivel de fondo.
- Construcción de la losa de andén y losa del nivel intermedio.
- Inicio de la etapa de obras de arquitectura. (Padilla, Pando, Soto, 2017).

#### 4.2.2 Procedimiento constructivo general de la estación subterránea E-22

Con el objetivo de establecer una línea base de referencia sobre los trabajos ejecutados en el subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22, se presenta la secuencia constructiva completa de la estación subterránea E-22 a nivel de obras civiles.

Por asuntos de desvíos del tráfico vehicular de la zona, la construcción de la estación fue estimada en 02 etapas de construcción.

Para la etapa 1 de construcción de la estación se establecieron 8 fases, siendo estas las siguientes:

##### FASE A:

- Preparación del área del terreno comprendida por la estación.
- Ejecución los muretes guías de las pantallas.
- Excavación de las pantallas desde cota de terreno.
- Hormigonado de los módulos de pantalla.

En la Figura N° 4.7 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

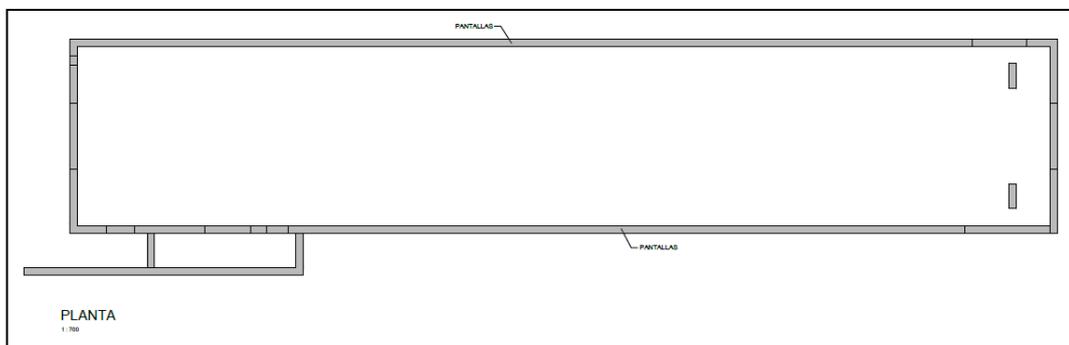


Figura N° 4.7 Plano de método constructivo: Planta pantallas de estación  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.8 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.



Figura N° 4.8 Plano de método constructivo: Sección de corte de muretes guía y pantallas  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

#### FASE B:

- Excavación de terreno hasta la cota de la plataforma de trabajo de pilas-pilotes.
- Demolición de los muretes guías provisionales de las pantallas.

En la Figura N° 4.9 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

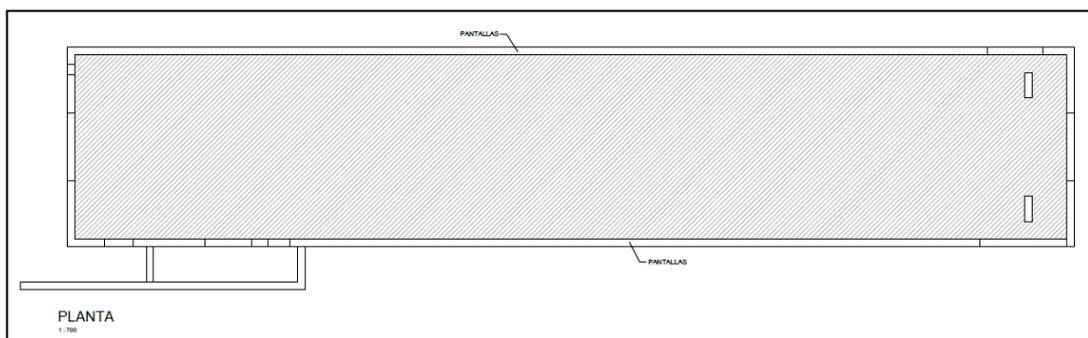


Figura N° 4.9 Plano de método constructivo: Planta área de excavación nivel cubierta  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.10 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

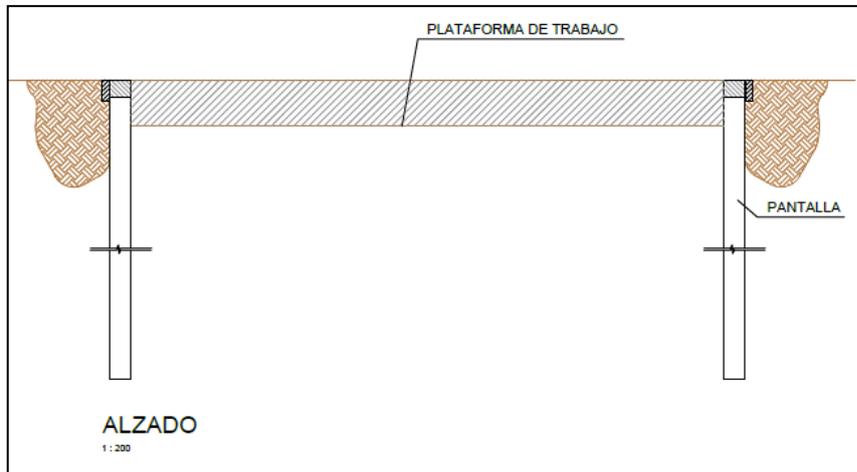


Figura N° 4.10 Plano de método constructivo: Sección de corte de plataforma de trabajo nivel cubierta  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

#### FASE C:

- Habilitación del terreno y construcción de los muros guía de las pilas pilote.
- Excavación de las pilas-pilote desde la plataforma de trabajo.
- Hormigonado de las pilas-pilote hasta 0.30 m por encima de la cota inferior del nivel de cubierta.

En la Figura N° 4.11 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

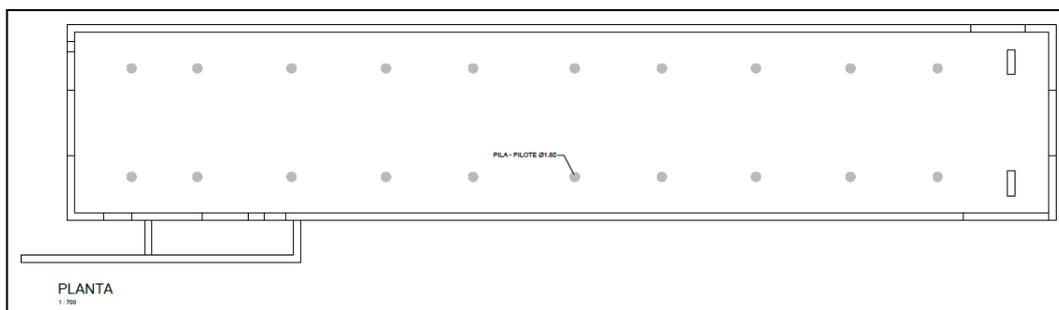


Figura N° 4.11 Plano de método constructivo: Planta pilas pilotes en la estación  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.12 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

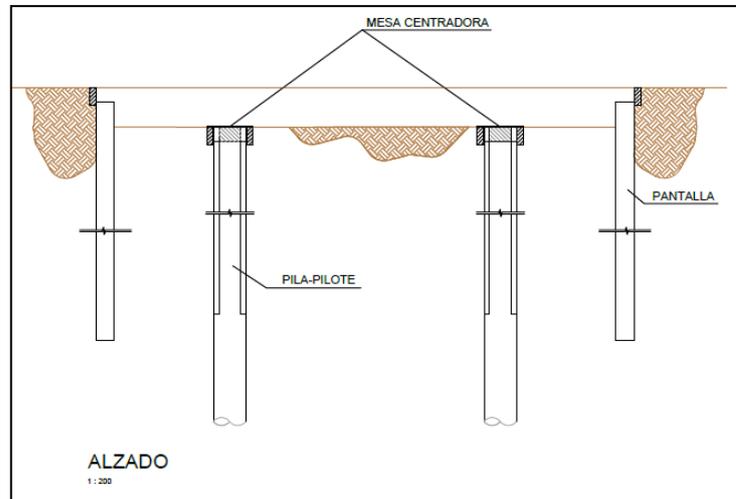


Figura N° 4.12 Plano de método constructivo: Sección de corte de pilas pilote en la estación  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

#### FASE D:

- Excavación hasta cota inferior de cubierta.
- Demolición de las mesas centradoras de las pilas-pilote.
- Demolición del remanente de concreto superior de las pantallas y pilas pilotes para dejar descubiertas las armaduras de acero que conectarán con la cubierta.
- Hormigonado de la losa de cubierta de la caja de la estación y la salida de emergencia, la cual es una losa maciza de concreto apoyada sobre las pantallas perimetrales y las pilas pilotes previamente ejecutadas.
- La construcción de esta losa implica la realización de un hueco de acceso constructivo para las zonas inferiores que será cubierto una vez se finalice el proceso.
- La losa de cubierta se conectará mediante barras resinadas insertadas en taladros efectuados en las pantallas, salvo en las siguientes zonas: a) unión con testeros y en los huecos de los accesos (la cubierta se apoyará sobre las pantallas existentes, previamente demolidas hasta la cota inferior de la losa); b) unión con pantallas interiores de salida de emergencia, salida de ventilación y ducto de materiales (la cubierta se apoya sobre las pantallas existentes (hormigonadas sólo hasta la cota de la losa)

- Se podrá excavar por debajo de la losa de cubierta cuando la resistencia a compresión simple del concreto de la misma haya alcanzado los 20 mpa, admitiendo además unas sobrecargas temporales de 1000 kg/m<sup>2</sup>.

En la Figura N° 4.13 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

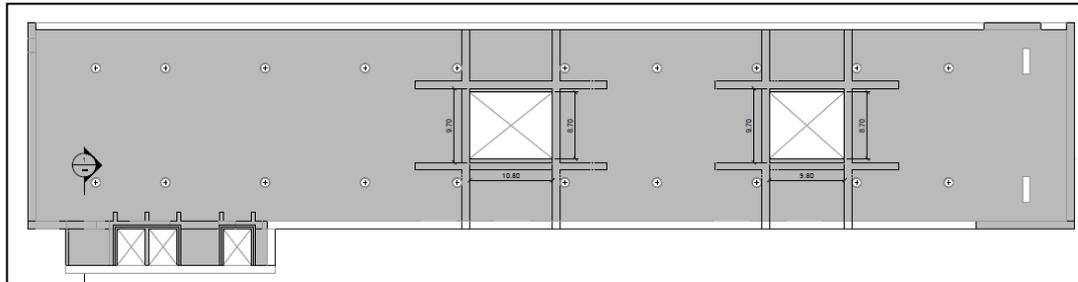


Figura N° 4.13 Plano de método constructivo: Planta losa cubierta  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.14 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

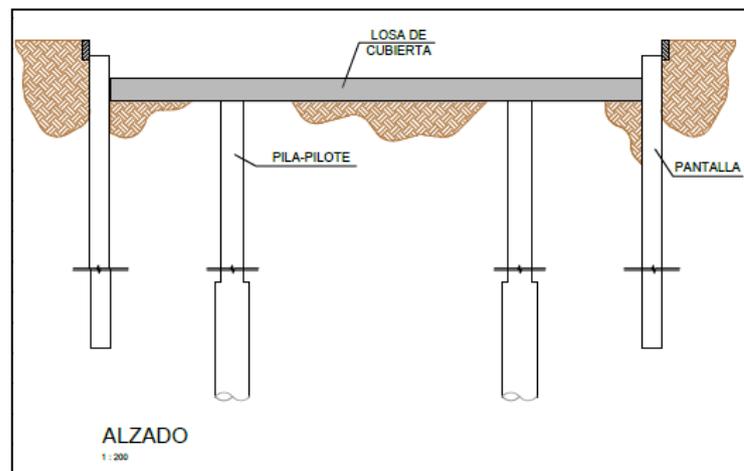


Figura N° 4.14 Plano de método constructivo: Sección de corte de losa cubierta en caja de estación  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

#### FASE E:

- Excavación bajo cubierta entre pantallas perimetrales hasta el nivel de vestíbulo.

En la Figura N° 4.15 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

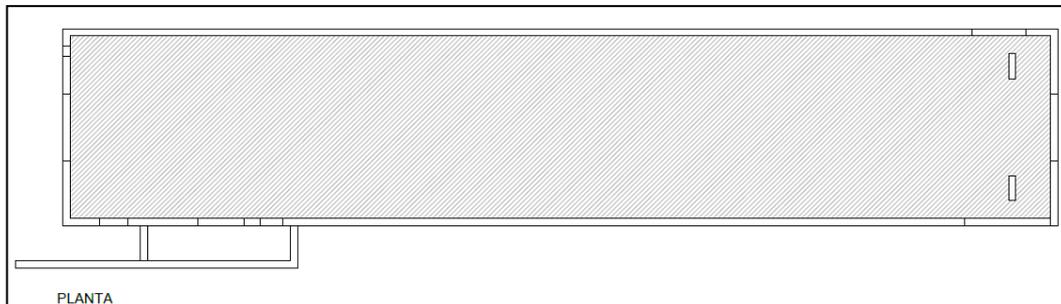


Figura N° 4.15 Plano de método constructivo: Planta área de excavación a nivel vestíbulo  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.16 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

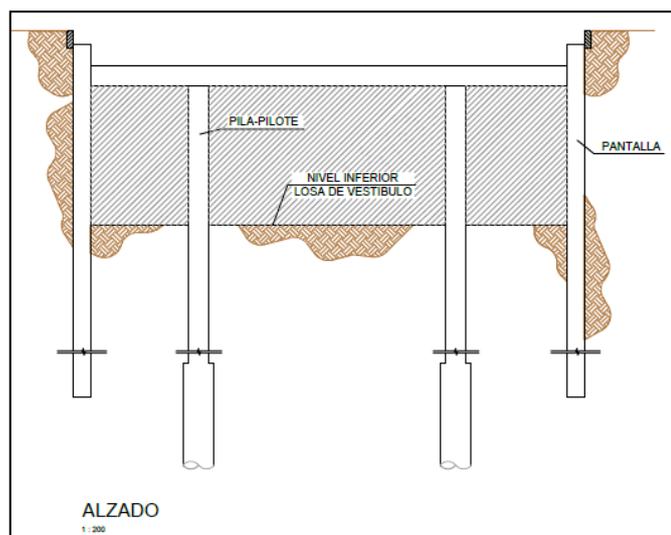


Figura N° 4.16 Plano de método constructivo: Sección de corte de área de excavación nivel vestíbulo  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

#### FASE F:

- Hormigonado de la losa de vestíbulo.
- La construcción de esta losa implica la realización de un hueco de acceso constructivo para las zonas inferiores que será cubierto con prefabricados una vez se finalicen los trabajos.
- La losa de vestíbulo se anclará a las pantallas de la caja de la estación mediante barras resinadas insertadas en taladros efectuados en dichas pantallas.

- La excavación por debajo de la losa de vestíbulo se realizará cuando la resistencia a compresión simple del concreto de la misma haya alcanzado los 22,5 mpa sin sobrecarga, y cuando haya alcanzado los 25 mpa, admitiendo además unas sobrecargas temporales de 180 kg/m<sup>2</sup>.

En la Figura N° 4.17 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

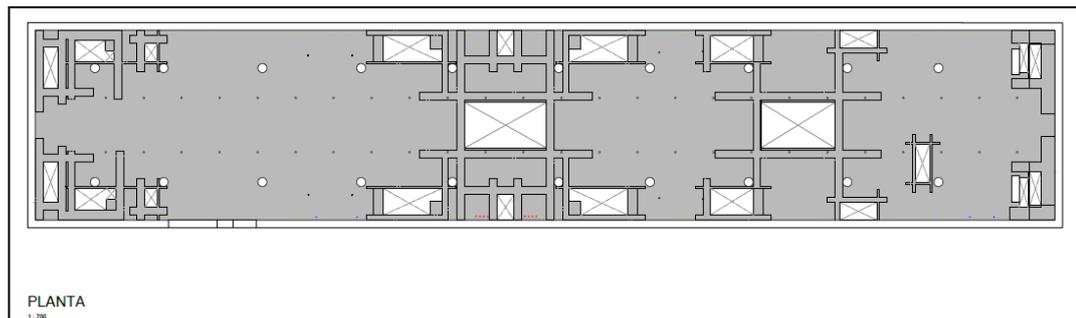


Figura N° 4.17 Plano de método constructivo: Planta losa vestíbulo  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.18 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

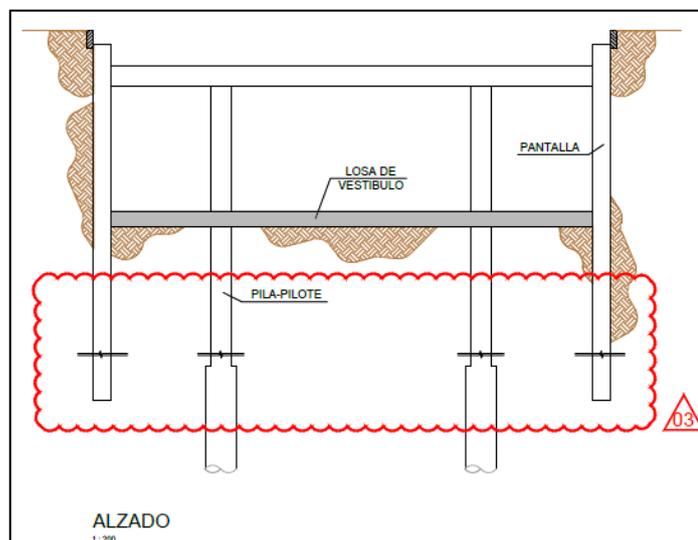


Figura N° 4.18 Plano de método constructivo: Sección de corte de losa vestíbulo en caja de estación  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

#### FASE G:

- Se procede a excavar bajo el nivel de vestíbulo y entre las pantallas perimetrales hasta el nivel inferior del solado de losa de fondo.

- La extracción de los materiales se realizará de forma vertical por medio de los huecos establecidos en las losas de vestíbulo y cubierta.

En la Figura N° 4.19 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

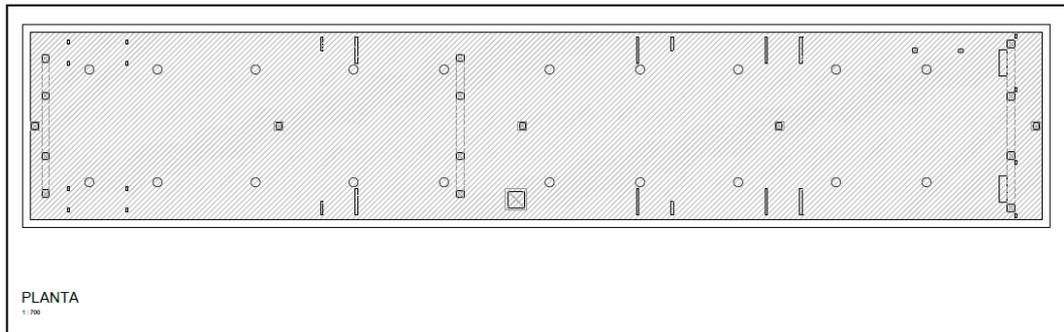


Figura N° 4.19 Plano de método constructivo: Planta área de excavación a nivel fondo  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.20 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

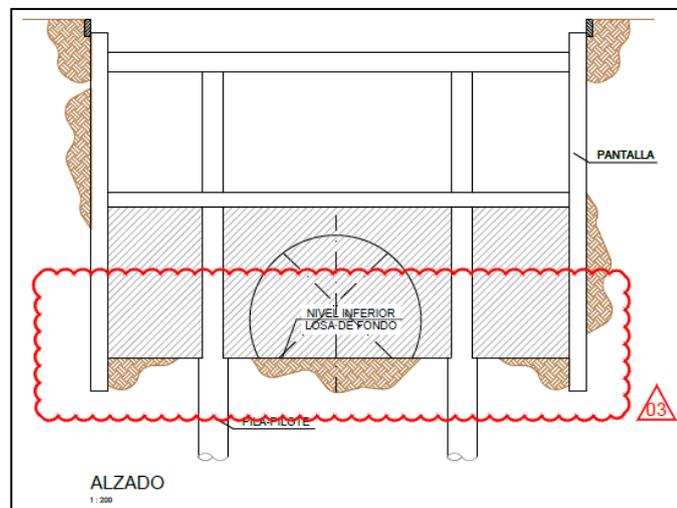


Figura N° 4.20 Plano de método constructivo: Sección de corte de área de excavación a nivel fondo  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

#### FASE H:

- Ejecución de instalaciones sanitarias (drenaje colectores principales y secundarios) y sistema de puesta tierra.
- Vaciado del solado y la losa de fondo.
- La losa de fondo no se conectará con las pantallas.

En la Figura N° 4.21 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

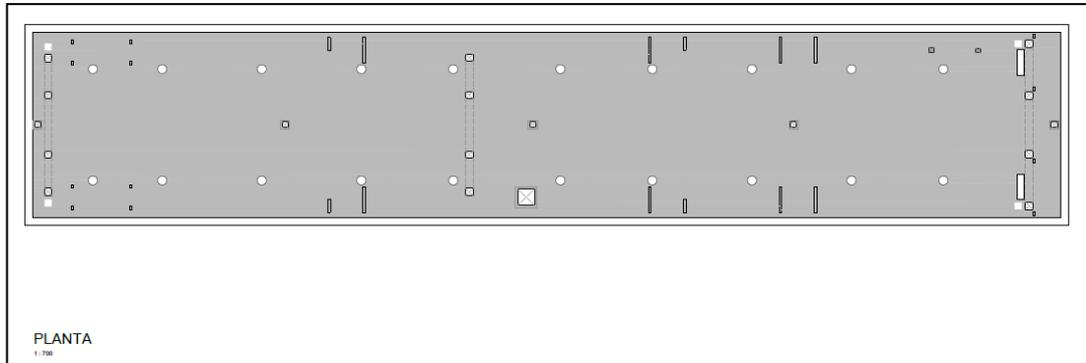


Figura N° 4.21 Plano de método constructivo: Planta losa de fondo  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.22 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

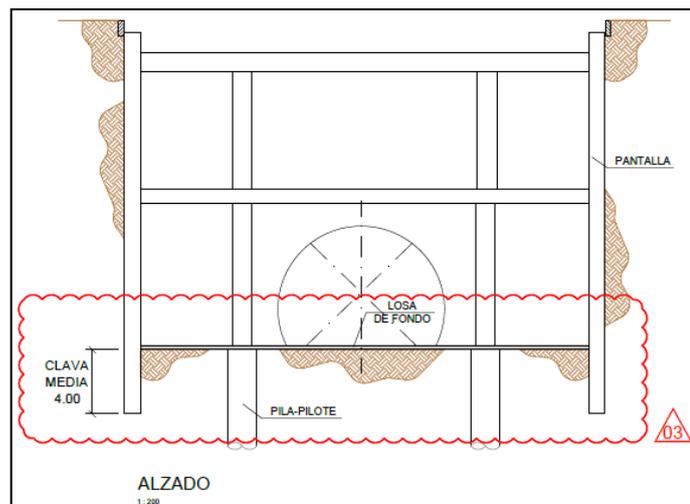


Figura N° 4.22 Plano de método constructivo: Sección de corte de fosa de fondo en caja de estación  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

Para la etapa 2 de construcción de la estación se establecieron 4 fases, siendo estas las siguientes:

#### FASE I:

- Excavación de los accesos hasta cota inferior del solado de la losa de fondo accesos.
- Vaciado de muros y la solera contra el terreno.

En la Figura N° 4.23 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

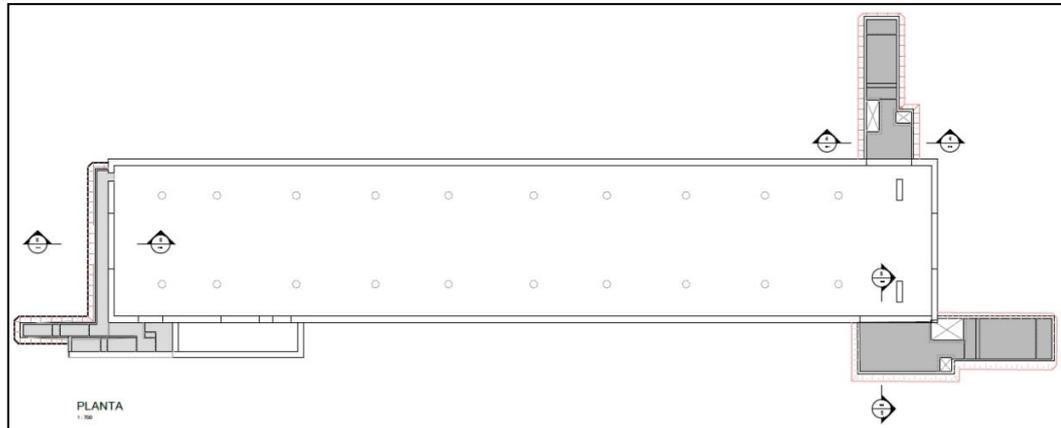


Figura N° 4.23 Plano de método constructivo: Planta ubicación de accesos  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.24 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

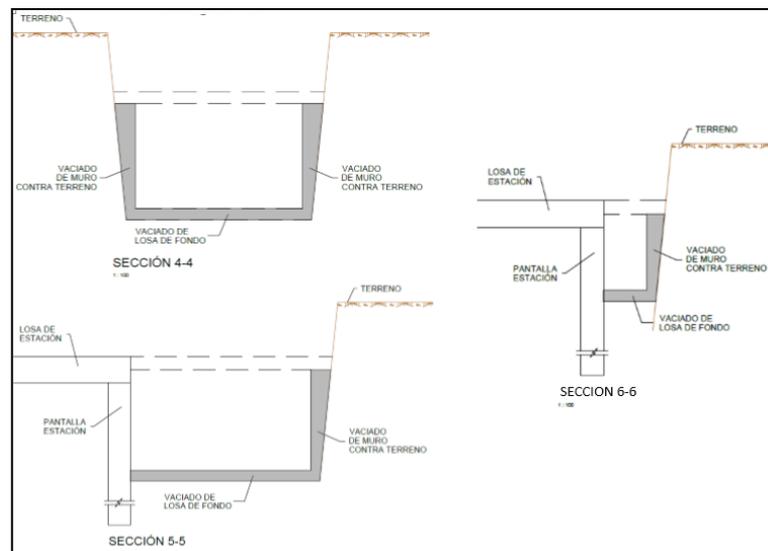


Figura N° 4.24 Plano de método constructivo: Secciones de corte de accesos  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

FASE J:

- Vaciado de la cubierta de accesos.

En la Figura N° 4.25 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.



Figura N° 4.25 Plano de método constructivo: Planta cubierta de accesos  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.26 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

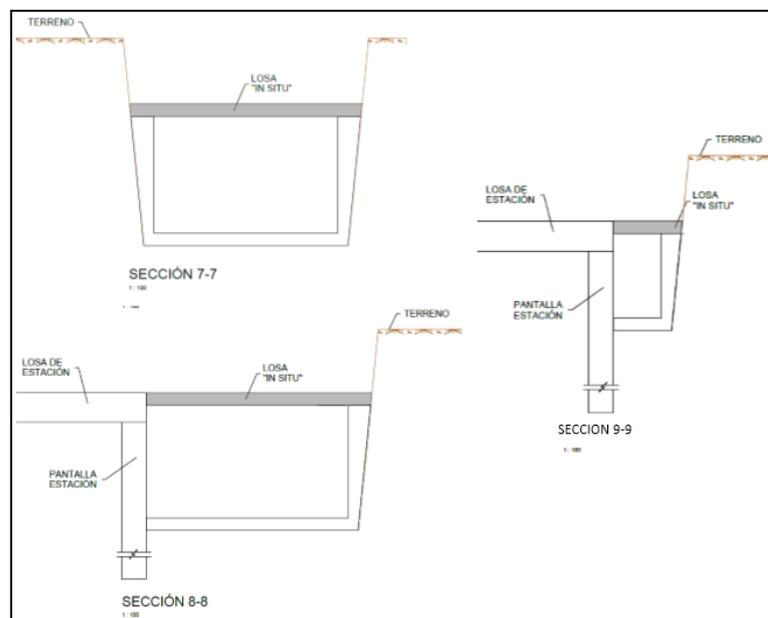


Figura N° 4.26 Plano de método constructivo: Secciones de corte de cubierta accesos  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

FASE K:

- Cobertura de los huecos temporales en las losas de cubierta y vestíbulo con prefabricados.

En la Figura N° 4.27 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

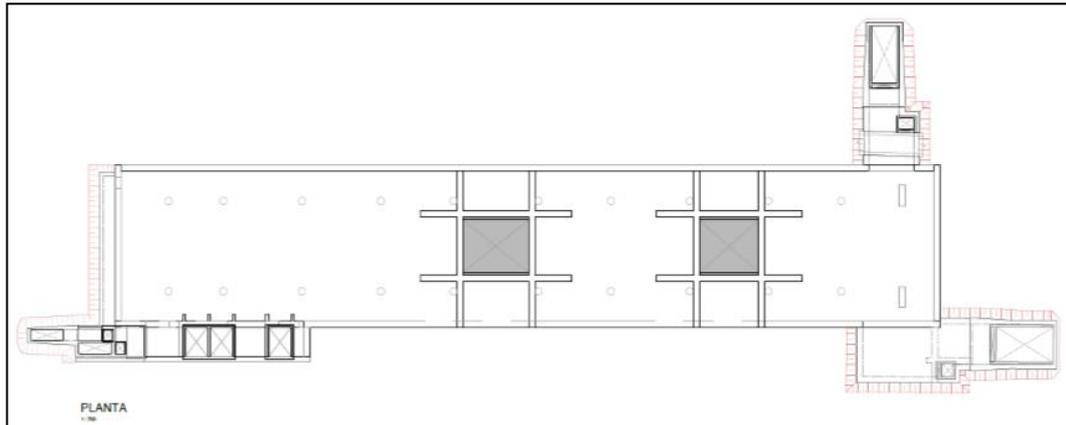


Figura N° 4.27 Plano de método constructivo: Planta losa cubierta, prefabricados instalados  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.28 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

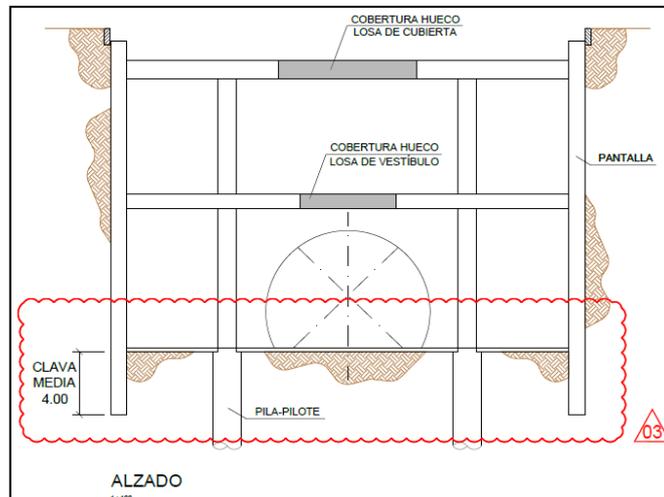


Figura N° 4.28 Plano de método constructivo: Sección de corte de prefabricados instalados  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

FASE L:

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

En la Figura N° 4.29 se visualiza la planta de la estación correspondiente al nivel de proceso de ejecución descrito.

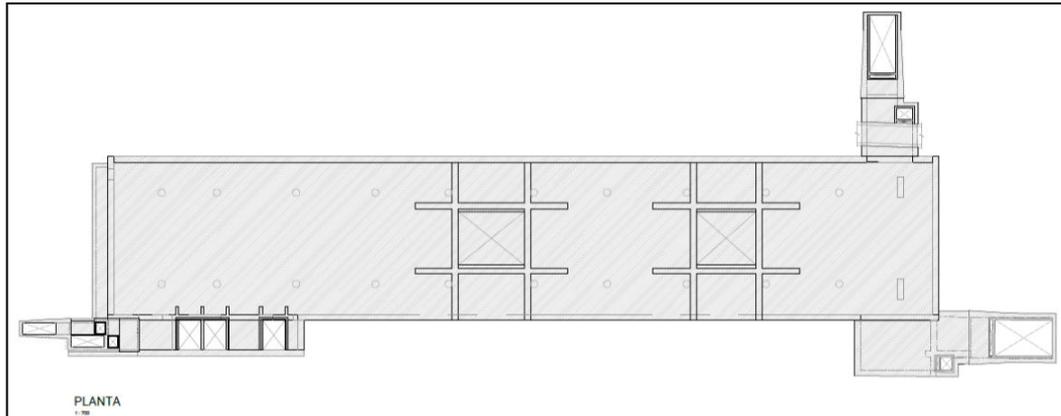


Figura N° 4.29 Plano de método constructivo: Planta relleno sobre losa cubierta  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

En la Figura N° 4.30 se visualiza una sección de corte de referencia para el nivel de proceso de ejecución.

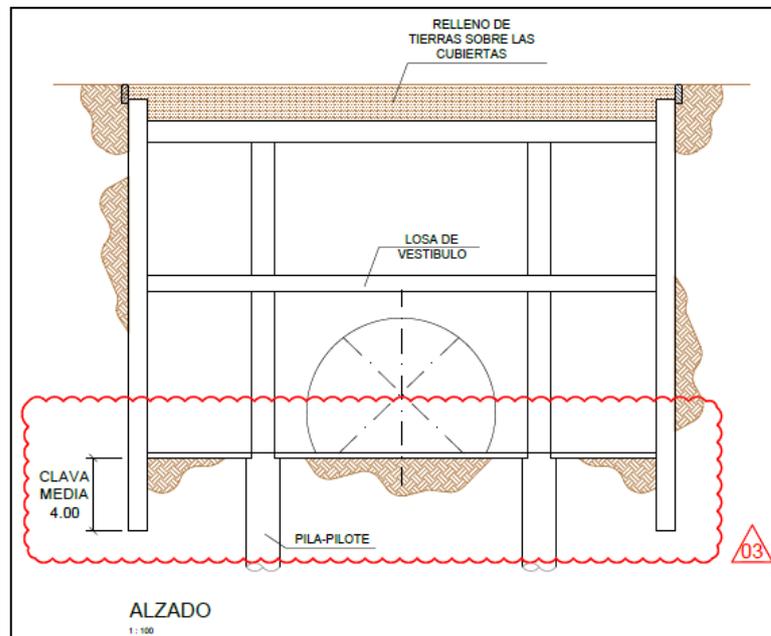


Figura N° 4.30 Plano de método constructivo: Sección de corte de relleno sobre Losa Cubierta  
Fuente: Planos EDI Proyecto Línea 2 Metro de Lima

#### 4.2.3 Alcance contractual de trabajos ejecutados

De acuerdo a las necesidades de obra y la especialización de los trabajos a realizar, el cliente fracciona los paquetes de trabajo generando las subcontrataciones correspondientes.

Para el caso de estudio, se presenta la subcontratación de los trabajos correspondientes al movimiento de tierras y obras civiles de la estación E-22, los cuales comprendían en su alcance los siguientes trabajos de manera general:

- Movimiento de tierras (Excavación y eliminación de material, Relleno con material propio)
- Encofrado horizontal perdido para losas contra terreno
- Picado de pantallas hasta descubrir armadura de acero de pantallas
- Perforación y anclaje resinado de barras de acero a pantallas
- Hormigonado masivo de losas
- Encofrado de parámetros verticales
- Hormigonado de muros

#### 4.2.4 Procedimientos constructivos de los trabajos ejecutados

De acuerdo a los trabajos correspondientes al alcance contractual, se procede a describir de manera general el proceso constructivo de cada uno de ellos.

##### Movimiento de tierras

- A. Excavación a cielo abierto
  - La excavación masiva se iniciará habiéndose realizado el trazo y replanteo del área.
  - Se cortará el pavimento o la vereda a lo largo de los límites de la excavación propuesta de modo tal que esa superficie quede delimitada.
  - La excavadora sobre orugas ingresará y excavará el terreno natural, el hormigón, pavimento, escombros y demás que sean necesarias para llegar a la cota requerida, realizándose de manera firme, evitando los desprendimientos de material y escombros del mismo.
  - El fondo de las excavaciones será nivelado y liberado según la cota que se indica en los planos de la Ingeniería de Detalle, así como también los perfiles, taludes.

- El acopio del material excavado será acumulado y debidamente cercado para que a futuro sea utilizado como relleno, en caso que no sean aprobados para su uso, el Consorcio proveerá de un lugar para que sea trasladado.
- B. Excavación entre pantallas bajo losas
- Primero la excavadora se posicionará en cada lado del hueco y cortará terreno hasta una profundidad de 4.5 m. de la cota superior de losa de cubierta y 2m. por dentro del perímetro del hueco, así permitir el ingreso de la excavadora sobre orugas al interior área de vestíbulo.
  - Luego, la torre grúa con ayuda de estrobos y eslingas izará la excavadora sobre orugas por el ducto de 10.8 m x 9.30 m que se encuentra ubicado en el centro de la losa de cubierta.
  - Posteriormente, la torre grúa izará un balde metálico por el ducto ubicado en el centro de la losa de cubierta para ser usado como recipiente del material excavado.
  - Seguido la excavadora sobre orugas se colocará en uno de los laterales del hueco procederá a excavar en capas, dejando un talud que le permita trabajar con seguridad.
  - El material excavado será cargado al balde metálico de un mínimo de 7m<sup>3</sup>, el cual será izado mediante la grúa Torre y con ello las maniobras de carga y descarga del material a ser eliminado.
  - A continuación, se va ampliando las dimensiones de excavación profundizando en varios niveles hasta llegar en una primera etapa a la cota de losa vestíbulo.
  - El material removido será extraído a la parte superior de la losa de cubierta y se cargará hacia los volquetes, cumpliéndose las especificaciones de obra.
  - Finalmente, el transporte del material excavado al botadero, tomando las consideraciones en seguridad, salud y medio ambiente.
- C. Relleno con material propio
- Se iniciará las labores de trazo y replanteo, previa inspección de los equipos que serán usados.

- El relleno a colocar deberá ser homogénea y estar libre de formación de bolsones, lentes o vetas de materiales cuya granulometría difiera de la del resto del material.
- Con la utilización de equipos de línea amarilla se procede al esparcido del material de relleno, esto permitirá el mezclar y emparejar los materiales logrando superficies de relleno razonablemente planas para la operación de compactación.
- El material de relleno será descargado y extendido de tal manera que no queden espacios vacíos entre cargas sucesivas de material descargado. El material de relleno será nivelado antes de la compactación con equipos apropiados para obtener una superficie libre de depresiones.
- El tamaño máximo (TM) estará comprendido entre 100 mm y 300 mm. Asimismo no deberá superar los 2/3 del espesor de la capa compactada.
- El espesor de la capa no superará los 0.60 m ni a tres (3) veces el tamaño máximo del material. El espesor de la capa debe ser superior a tres medios (3/2) del tamaño máximo del material a utilizar.
- Para el compactado se empleará el uso de un rodillo simple de 8 - 12 Tn.
- Se humedecerá el material (No existe una humedad optima) para realizar un correcto esparcido del mismo y se asegurará el asentamiento de la capa a lo requerido

#### Encofrado horizontal perdido para losas contra terreno

- En los casos de losas con caras vistas, como es el caso de la losa de cubierta y la losa de vestíbulo, se realizará el procedimiento de encofrado de una sola puesta que se coloca por encima del mortero de nivelación.
- De acuerdo al tablero que se usara y la orientación en la cual se instalará, se replantean los ejes para colocar las líneas de estacas sobre las que se fijaran los rastreles de madera por medio de clavos.
- Se usará un tablero con un espesor mínimo de 12mm, con acabado fenólico de medidas aproximadas de 1,2 m x 2,4 m en sentido longitudinal de la estación por lo que las líneas de rastreles se dispondrán de la misma forma, separadas entre sí 1,20 m aproximadamente con el fin de que sirvan para clavar los tableros.

- Antes de proceder a la colocación del mortero se debe preparar la zona de trabajo mediante refino y nivelación del terreno, dándole así la firmeza necesaria a la base de apoyo de la losa dintel a ejecutar.
- Posteriormente se procede al vaciado del mortero de nivelación que servirá como soporte a la losa una vez haya fraguado la mezcla.
- En el caso de que se generen sobre excavaciones las mismas se podrán rellenar mediante rellenos compactados con 4 ciclos de rodillo con el mismo material de la propia excavación, no siendo requerido el control de la compactación en vista que este material sólo servirá de apoyo a la losa durante su vaciado, ya que luego será excavada por debajo sacando todo el material.
- El mortero se nivela de forma adecuada y una vez fijadas las planchas de madera se procede a la limpieza de este encofrado mediante sopleteo, haciendo uso de una compresora de aire. De esta manera se procede con la entrega del encofrado a la cuadrilla de acero para la colocación de armaduras y al posterior vaciado de concreto.

#### Picado de pantallas hasta descubrir armadura de acero de pantallas

- Teniendo en cuenta el trazo topográfico, se procede a realizar el corte de la línea de perforación con amoladora y disco de corte de concreto.
- Con ayuda de una retroexcavadora y/o mini cargador con martillo hidráulico se empezará a escarificar parte de la pantalla.
- Teniendo en cuenta el área liberada (distancias de seguridad) por la retroexcavadora y/o mini cargador, se coordinará el ingreso de los operarios que realizarán la demolición manual final con equipos de poder.
- Se picará hasta descubrir la superficie de la armadura, se escarificará el concreto, luego se retirarán los escombros o material suelto y finalmente se limpiará haciendo uso de compresora de aire. Se garantizará en todo momento preservar la integridad del concreto de la pantalla adyacente a la zona de picado.

#### Perforación y anclaje resinado de barras de acero a pantallas

- De acuerdo a los planos del proyecto, se realizarán trazos iniciales donde se ubicarán los anclajes. Se considerará una tolerancia de hasta 4cm

respecto al posicionamiento y cota de instalación de las varillas en caso se intercepte con algún acero estructural del muro pantalla o pilote.

- A partir de ello, se comenzará la perforación en las pantallas y/o pilotes, para realizar estas perforaciones se utilizará una broca de al menos un diámetro 1/8" mayor al diámetro de la varilla de acero que se anclará. Se realizará la verificación de la profundidad y diámetro según especificaciones en los planos del proyecto.
- Debe verificarse en campo que la perforación a anclar debe estar totalmente limpia, lo cual se realizará mediante una compresora con aire a presión y/o cepillos metálicos.
- Asimismo, mediante un aplicador se realizará la inyección de la resina epóxica, se utilizará Resina Hilti-Re 500SD, Sika Anchorfix 3001 o similar. Se inyectará la cantidad de resina indicada por el fabricante para cada tipo de barra desde el fondo hacia el exterior.
- Después de ello, se colocará el acero, siempre y cuando las varillas de acero se encuentren limpias, sin presencia de óxido, grasas, aceites, etc. El acero será introducido haciéndolo girar dentro del periodo de tiempo indicado por el fabricante para trabajar la resina.

#### Hormigonado masivo de losas

- Antes del vaciado se verificará que el concreto recepcionado cumpla con lo requerido indicado en el EDI, se comprobará el slump o asentamiento inicial y la temperatura.
- Para el vaciado de concreto se utilizarán mixers que podrán verter directamente o bien mediante la ayuda de un equipo de bombeo. La intención es que el concreto llegue de una forma constante y sin demoras a toda la zona del vaciado.
- Para garantizar la buena adherencia en las juntas de construcción el corte de concreto se ejecutará a 90°, y posteriormente deberá generarse, con apoyo de un equipo mecánico, una rugosidad en toda su superficie a fin de favorecer la adherencia con la siguiente etapa de vaciado.
- La vibración de concreto se realizará por cada capa vertida. La inserción y retiro del dispositivo será de forma lenta y haciendo un ángulo inclinado, lo cual evitará que la superficie quede marcada. De esta forma se asegura de que toda la profundidad quede bien compactada. Se recomienda utilizar

el vibrador por 10 a 15 segundos y hacer varias incisiones cortas en vez de pocas más prolongadas.

- Para el curado del concreto en la cara superior se utilizará curado químico y/o arroceras para garantizar la humedad en éste y, en las caras laterales del anillo se realizará el curado mediante el proceso de rociado de curador químico.

#### Encofrado de parámetros verticales

- Se ejecutará los trabajos de topografía según los planos y coordenadas establecidas en las especificaciones.
- Se realiza la aplicación de desmoldante y limpieza de los paneles metálicos previo a la instalación de los mismos. Por ningún motivo se instalarán paneles en mal estado.
- Se realizará la instalación de paneles metálicos según el modulado, dejando las ventanas para el vibrado interno según las especificaciones del proveedor.
- Durante la instalación de paneles metálicos se procede a colocar los pines y alineadores entre paneles, de tal manera que permitan un armado consistente, alineado y seguro.
- Se realizará el apuntalamiento de paneles con puntales metálicos, según el modulado enviado por el proveedor, respetando las distancias entre estos y a su vez, asentándolos sobre una superficie sólida que garantice la fijación del apuntalamiento.
- En coordinación con el área de topografía, se revisa el aplome de verticalidad y alineamiento del encofrado modulado.
- Se realizará el sellado de aberturas entre paneles utilizando materiales que no interfieran en el acabado del elemento de concreto.
- El retiro del material de encofrado y sus elementos de sostenimiento se podrá realizar cuando el concreto haya alcanzado el nivel de resistencia necesaria para que el elemento estructural tenga la capacidad portante mínima para resistir las cargas que actúan en el momento de iniciar la remoción, con el grado de seguridad considerado en la Memoria de Cálculo.
- El encofrado se retirará con cuidado para evitar daños en la estructura.

- De forma paralela al retiro del encofrado del elemento estructural, se procederá con la aplicación de curador químico mediante rodillo o rociador.

#### Hormigonado de muros

- El vaciado de concreto se realizará con mangueras de 5" por todos los pasatubos o ventanas de encofrado en simultáneo, asegurando el llenado del muro por capas.
- El vaciado de concreto se realizará en capas de 40 cm, con la finalidad de contrarrestar el empuje del material y cumplir con la velocidad de vaciado recomendada por el proveedor de encofrados.
- El concreto a utilizar será premezclado, con slump y características que permitan la fluencia de este, evitando segregaciones, fisuramiento, agrietamiento y mal acabado.
- La vibración de concreto se realiza por cada capa, utilizando vibradores externos adheridos en el encofrado y/o con vibradores internos de 2 1/2", lo cual evita que se aparezcan segregaciones por proceso constructivo. De esta forma se asegura que las capas queden bien compactadas.
- Para el curado del concreto en las caras laterales se realizará el curado químico mediante el proceso de rociado o pintado del mismo.

## 4.3 CONTROL DE OBRA

### 4.3.1 Reporte diario de obra

El reporte diario de obra (Figura N° 4.31) es un formato de producción que permite registrar los trabajos realizados en el día a día. En este se puede identificar los recursos que se emplean para cada tarea en un intervalo de horas específico (jornada completa o parcial); tales como, el personal operativo, los materiales, y los equipos empleados, para el análisis y evaluaciones de rendimiento respectivos.

En la ejecución del subcontrato asignado, el reporte era elaborado por el responsable de campo, en este caso el maestro de obra, quien de forma diaria registraba la producción generada en el frente y los recursos empleados.

Este reporte estuvo basado en la planificación diaria generada el día anterior, y en la cual se permite la identificación de las desviaciones de esta con la finalidad de tomar las acciones oportunas.

HARLAM SVO		REPORTE DIARIO DE OBRA						Código: PROD-HS-001	
						Revisión: 00		Fecha: 09/08/2018	
INFORMACION BÁSICA									
E-22	AREA DE PRODUCCION	ELABORADO POR: JOSE PALACIOS	APROBADO POR: DANIEL SIFUENTES			FECHA: 08/08/2018		HORA INICIO:	
		FIRMA:	FIRMA:					HORA FIN:	
CANTIDADES DE OBRA EJECUTADA					REPORTE DE PERSONAL, EQUIPOS Y MAQUINARIA				
ACTIVIDADES					PERSONAL		MAQUINARIA Y/O EQUIPOS		
ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	DESCRIPCION	CANT	DESCRIPCION	CANT	H. INICIO	H. FIN
1	ACCESO NORTE: ENCOFRADO Y ACARREO DE MATERIALES	m2	59.50	OP. CARPINTERO	7.00				
	FOSA ESCALERA MECANICA	m2	20.00	OF. CARPINTERO	2.00				
	FOSA ASCENSOR	m2	9.50	OP. ALBAÑIL	1.00				
	FRISO DE RAMPA-LOSA	m2	24.00						
	FRISO P/ DESCANSO	m2	6.00						
	NORTE: COLOCACION DE SIKA WELS EN JUNTA DE LOSA Y PANTALLA	und	4.00						
	LIMPIEZA GENERAL P/ CONCRETAR LOSAS ACCESO NORTE								
	DESMONTAJE DE CIMBRA: ACARREO DE MATERIALES								
2	LOSA VESTIBULO: DESENCOFRADO DE FOSAS-FASE 4	m2	23.00	OP. CARPINTERO	2.00				
	CURADO DE LOSAS Y LIMPIEZA / ACARREO DE MATERIALES			OF. CARPINTERO	2.00				
	FOSAS Y DUCTOS FASE 4	m2	23.00	PEON	1.00				
3	RELLENO EN SALIDA DE EMERGENCIA (SOBRE EXCAVACION)			OP. ALBAÑIL	2.00				
4	REPARACION DE PANTALLAS FASE 2 Y 3			OP. ALBAÑIL	4.00				
	BOLSAS DE SIKARED	und	3.00						
5	ACCESO NORTE: SOLDADURA Y CORTE DE ACERO (BARANDAS Y PUN			OP. SOLDADOR	1.00				
				OF. CARPINTERO	1.00				
6	ELIMINACION DE MATERIAL DE EXCAVACION EXCEDENTE			PEON	2.00	VOLQUETES LUPPAR	20	VIAJES	BOTADERO
				OP. CARGADOR	1.00	VOLQUETES INTERSENDA	21	VIAJES	BOTADERO
						VOLQUETES INTERSENDA	7	VIAJES	INTERNOS

Figura N° 4.31 Reporte diario de obra

#### 4.3.2 Reporte de incidencias de obra

El reporte de incidencias de obra es un formato de seguimiento, en el cual se registran los eventos externos no contemplados en el alcance de la subcontratación que generen algún impacto en el plazo de la obra. Generalmente estos se presentan como restricciones que afectan al continuo avance los trabajos planificados.

#### 4.3.4 Seguimiento del cronograma mensual

El seguimiento del cronograma mensual consistió en realizar un comparativo periódico entre el trabajo real ejecutado y el cronograma línea base de obra, con el objetivo de identificar las causas de desviación y la evaluación de las respectivas acciones preventivas y correctivas.

## **CAPÍTULO V: HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN**

En el presente capítulo, se procede a describir las herramientas de planificación y control de la producción de obra que se emplearon en la ejecución del subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22, de acuerdo los alcances y plazos establecidos en este.

### **5.1 HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN**

#### **5.1.1 Diagrama de Gant**

El diagrama de Gant o diagrama de barras es un método gráfico que consiste en la representación de una actividad en forma de barra cuya longitud representa la duración estimada de dicha actividad. Para su elaboración, en la columna uno, se coloca el nombre de la actividad. En la siguiente columna se coloca la duración de cada actividad, generalmente en días. Se pueden generar la relación de actividades con flechas; así mismo, se puede representar la ruta crítica y secuencia lógica del grupo de actividades de manera general (Rivera, 2015).

De acuerdo a lo descrito, se estableció gráficamente la secuencia de actividades macro del plan maestro de obra para la ejecución del subcontrato de la estación E-22 Colectora Industrial.

#### **5.1.2 Pert (Program Evaluation Review Technique)**

Las tareas en una red tipo Pert son manifestadas por eventos. Las flechas indican el sentido de la secuencia del proceso constructivo y el tiempo para ejecutar la tarea.

Para la estimación del tiempo, la metodología Pert establece un cálculo probabilístico del tiempo de las tareas implementando tres posibles duraciones: a) Duración óptima, b) Duración media, c) Duración pesimista

Estos tiempos son duraciones probables, de acuerdo a los registros de proyectos similares ejecutados. De ellos se tienen tiempos variados de duración de acuerdo a las características y condiciones de cada uno de ellos.

Para el cálculo de los plazos se toma la media de estos tres valores, utilizando la siguiente fórmula:

$$te = \frac{do + 4dm + dp}{6}$$

Donde:

te = duración media para la elaboración de la red

do = duración óptima

dm = duración media

dp = duración pesimista

(Rivera, 2015)

De esto, en base a la experiencia en ejecución de megaproyectos de la empresa ejecutora, se establecieron plazos referenciales para los procesos principales de la ejecución del subcontrato, con el fin de estimar un plazo lo más acercado posible a la realidad.

### 5.1.3 Software Ms Project

En base a las herramientas Diagrama Gantt y PERT, se procedió a elaborar la planificación del cronograma maestro de obra con ayuda del software Ms Project, el cual permitió ingresar las actividades a ejecutar, los plazos de las mismas, y la precedencia lógica de acuerdo a los procesos constructivos, obteniendo finalmente el cronograma general de obra y la ruta crítica del mismo.

Con la ayuda de este software y las 2 herramientas previas, se estableció el plan maestro de obra (Figura N° 5.1), el cual sirvió como guía para la ejecución de las actividades involucradas en el alcance contractual del subcontrato, dentro de los plazos acordados entre las partes.

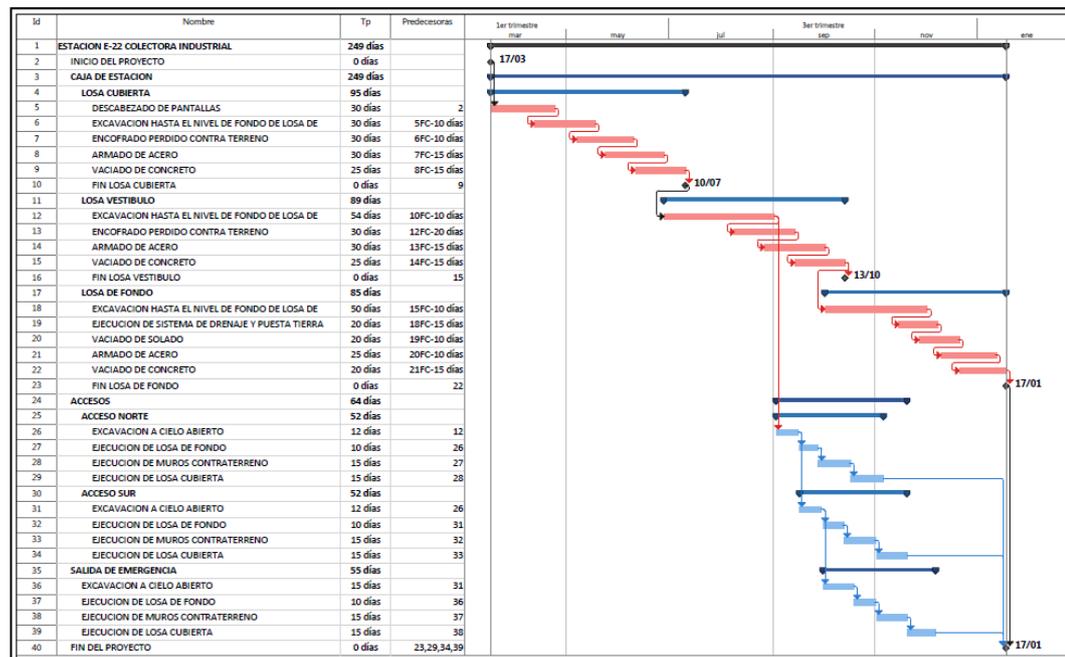


Figura N° 5.1 Plan Maestro de obra Estación E-22 Colectora Industrial. Precedencias, y duración de actividades.

#### 5.1.4 Last Planner System

El Last Planner se refiere a la última persona capaz de asegurar un flujo de trabajo en las salidas de cada caja de procesos. En base a “lo que se puede hacer” y “lo que debe hacerse”, se obtendrá “lo que se hará”, que posteriormente será “lo que se hizo”.

Los componentes de este sistema son los siguientes:

- Planificación anticipada: se refiere al análisis de restricciones previamente evaluado y superado para dar continuidad a un proceso de producción.
- Compromiso con la planificación: se establece un plan semanal de obra, el cual es sincerado por el last planner y se tiene el compromiso del total de su cumplimiento. Este compromiso es posteriormente medido con el Plan de Porcentaje Cumplido o PPC.
- Aprendizaje: Cada semana, se realiza la revisión de las causas de no cumplimiento del plan semanal con el fin de tomar acciones que eliminen o mitiguen la causa raíz del problema.

De esta filosofía, se adoptó y pudo desarrollar el componente del compromiso con la planificación, ya que se tuvo coordinación constante con el maestro de obra

responsable de campo y se le involucro en el proceso de manera diaria con la organización de la programación de los trabajos (Figura N° 5.2).

Viernes 17 de Agosto		PROGRAMACIÓN DIARIA DE OBRA E-22		
ITEM	ACTIVIDAD	TURNO	PERSONAL	ERP % MAQ
1	Excavación a nivel de losa de Fondo	M T N	1 Rigger / 1 op. exc / 1 Rigger / 1 op. exc / 1 psm 1 Rigger / 1 op. exc /	1 Excavadora Jove 1 Cargadora Frontal
2	Eliminación de Material Excedente	M	1 p malla / 1 p Vigia	1 Cargadora frontal
3	Lavado de Pantallas. (P)	M	1 op. alb / 1 of. alb / 1 of. carp	1 Hidrolavadora
4	Picado pantalla Acc. Nocte	M	2 op. carp / 1 op. alb. ↳ Juntas	1 Martillo Neumatico 1 Andadora...
5	Retiro de fondico, moetero y rastreles	T	1 op. carp. / 1 of. carp.	1 Manlift
6	Soldadura de barandas → fase 4 75%	M	1 op. sold. / 1 of. carp.	1 Maq. Sold.
7	Colocación cerco Metálico perimétrico ↳ Definir Puerta Acceso	M	3 op. carp. / 1 of. carp. 1 op. alb.	
8	Limpieza losa Vestibulo - fase 3 y 4 *	M	2 op. alb / 1 psm	
9	LANZADO DE SHORREI-TALUD LOSA CUBIERTA	M	1 op. c. gpa	
*	Riego SALIDA CAUADO - M y T	M		
10	Habilitado pantalla 29 - losa Fondo	N	1 op. manlift / 2 op. alb	

Res. Personal	
op. alb	7
of. alb	1
op. carp	6
of. carp	4
Rigger	3
op. exc	3
op. manlift	1
op. c. gpa	1
op. sold	1
psm	4

(31p)

Figura N° 5.2 Programación diaria de obra realizada de acuerdo a compromisos con la ejecución en campo.

## 5.2 HERRAMIENTAS DE CONTROL

### 5.2.1 Curva S de venta/producción

La curva S de venta/producción fue una gráfica que se desarrolló para registrar gráficamente la venta proyectada establecida en la línea base de obra y la producción real ejecutada y valorizada en obra, de manera mensual, con la finalidad de detectar de manera anticipada las desviaciones que se podrían presentar en el avance de la producción y los plazos de ejecución para establecer las acciones correctivas correspondientes.

De acuerdo al Cuadro N° 5.1 se desarrolló la curva S de venta/producción del proyecto realizando una comparativa de manera mensual sobre la venta proyectada y la ejecución real de trabajo valorizado.

Cuadro N° 5.1 Cuadro de control de la venta proyectada vs producción real de obra

PERIODO	CONTROL DE VENTA PROYECTADA / PRODUCCION REAL									
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10
VENTA PROYECTADA MENSUAL	105,089.25	274,787.77	361,125.36	296,607.25	247,054.02	336,108.63	413,383.49	375,765.29	398,664.20	390,662.74
VENTA ACUMULADA	105,089.25	379,877.01	741,002.38	1,037,609.62	1,284,663.64	1,620,772.27	2,034,155.76	2,409,921.05	2,808,585.25	3,199,247.99
# VALORIZACION	VAL 1	VAL 2	VAL 3	VAL 4	VAL 5	VAL 6	VAL 7	VAL 8	VAL 9	VAL 10
VALORIZACION MENSUAL REAL	98,636.24	333,689.49	384,588.18	242,944.74	194,542.58	322,141.04	353,445.59	415,049.38	451,551.61	397,705.46
VALORIZACION REAL ACUMULADA	98,636.24	432,325.73	816,913.92	1,059,858.65	1,254,401.23	1,576,542.27	1,929,987.86	2,345,037.24	2,796,588.85	3,194,294.31

En la Figura N° 5.3 se visualiza la gráfica desarrollada con los datos obtenidos por el cuadro de control de la venta proyectada vs la producción real de obra.

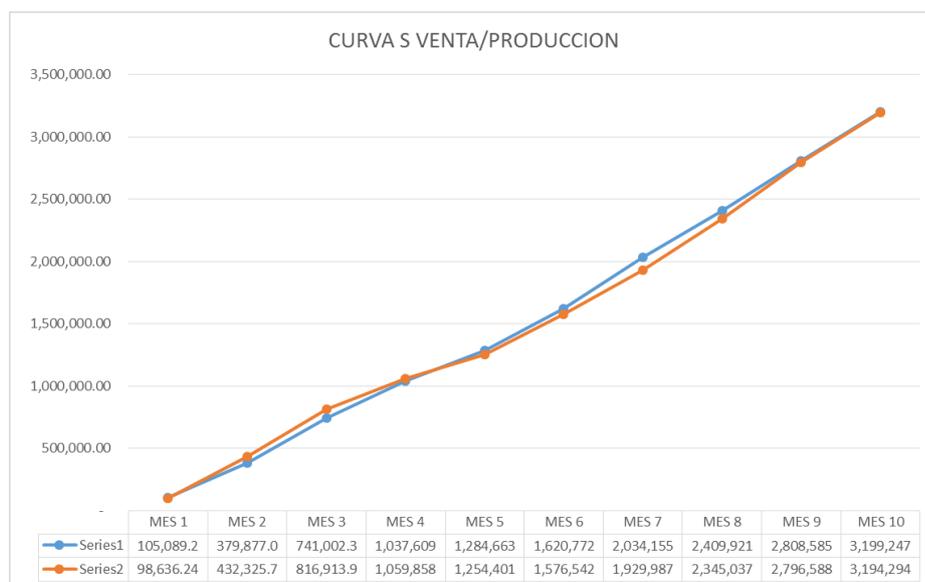


Figura N° 5.3 Curva S de Venta/Producción

### 5.2.2 Reporte diario de obra y productividad

El reporte diario de obra fue una herramienta que sirvió de registro de las actividades ejecutadas en el día a día, con el cual se pudo identificar el trabajo productivo, contributorio, y no contributorio.

Así mismo, con el registro generado de campo se obtuvo la información necesaria para hacer seguimiento y controlar las horas hombre, las cantidades de materiales empleados, y las horas máquina. Con dicha información se hallaron los rendimientos reales de cada uno de los recursos mencionados.

En el Cuadro N° 5.2 que se usa como ejemplo, se puede visualizar el registro de la información recopilada para el control de la producción.

Cuadro N° 5.2 Cuadro de control de la producción de la partida encofrado para muros alzados.

	jueves 27/12/2018	viernes 28/12/2018	sábado 29/12/2018	miércoles 02/01/2019	jueves 03/01/2019
Jornada (hrs)	8.50	8.00	7.00	7.50	7.00
# personas	8.00	10.00	8.00	9.00	9.00
HH Diario	68.00	80.00	56.00	67.50	63.00
Avance Diario m2	28.50	32.50	22.20	27.80	25.20
HH Acumulado	68.00	148.00	204.00	271.50	334.50
Avance Acumulado m2	28.50	61.00	83.20	111.00	136.20
Rendimiento Diario	2.39	2.46	2.52	2.43	2.50
Rendimiento Acumulado	2.386	2.426	2.452	2.446	2.456
Rendimiento presupuesto	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462
HH ganadas / Perdida a la fecha	2.154	2.154	0.800	1.731	0.762
Comentarios	Encofrado + mk			Encofrado + apuntalamiento	

Posterior a ello, la información registrada fue comparada con la línea base de obra, la cual se visualiza en el Cuadro N° 5.3 el cual contiene los datos de la partida de ejemplo.

Cuadro N° 5.3 Cuadro de datos de la partida encofrado para muros alzados.

PARTIDA: ENCOFRADO PARA MUROS ALZADOS		
DATOS DEL PRESUPUESTO		UND
Rendimiento	2.462	hh/m2
Metrado	130.00	m2
Total HH	320.00	HH
Avan acumulado	136.20	m2
Δ metrado	-6.20	m2

Dicha comparativa tiene como finalidad detectar variaciones y la productividad de los recursos empleados. En la Figura N° 5.4 se puede visualizar la curva de productividad obtenida de acuerdo a los datos de la partida de ejemplo.

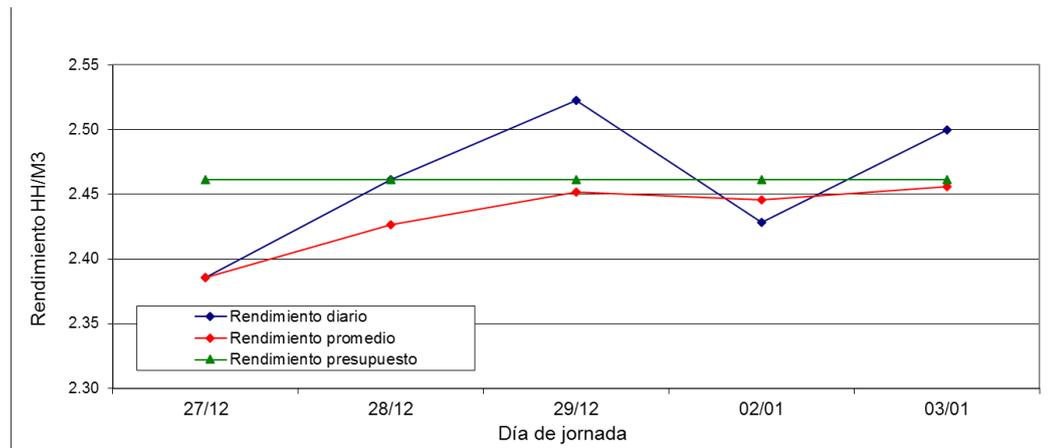


Figura N° 5.4 Curva de productividad de la partida encofrado para muros alzados

### 5.2.3 Reporte de incidencias

El reporte de incidencias de obra (Cuadro N° 5.4) fue un formato de seguimiento en el cual se registraron de manera diaria los eventos externos presentados en campo que escaparon del control y responsabilidad del ejecutor, y que generaron impacto en el plazo de la obra.

Este registro se generó de forma acumulativa de acuerdo a los frentes de trabajo, con el fin de justificar aplazamientos y otras desviaciones, así como también para dejar una trazabilidad de las condiciones en la cual se ejecutaron las actividades de obra.

Cuadro N° 5.4 Reporte de incidencias. Frente Losa de Fondo.

REPORTE DE INCIDENCIAS ESTACION E-22 FRENTE: LOSA DE FONDO					HARLAM SYO	
FECHA	INCIDENTE / OCURRENCIA	RESPONSABLE	¿RUTA CRITICA?	CONSECUENCIA	UNIDAD	Δ CANTIDAD
14/10/2018	RETIRO DE CUCHARA DE PANTALLA + REPARACION	CCM2L	SI	APLAZAMIENTO	DIAS	6.00
17/10/2018	FALLA MECANICA EXCAVADORA	HARLAM	SI	APLAZAMIENTO	DIAS	2.00
15/11/2018	RETRASO INGRESO DE TRABAJOS DE PUESTA TIERRA	CCM2L	SI	APLAZAMIENTO	DIAS	4.00
18/11/2018	FALLA TECNICA TORRE GRUA	HARLAM	SI	APLAZAMIENTO	DIAS	1.00
20/11/2018	REPROGRAMACION DE ATENCION DE MORTERO PARA SOLADO	CCM2L	NO	APLAZAMIENTO	DIAS	1.00
10/12/2018	RETRASO INGRESO DE SC DE ACERO	CCM2L	SI	APLAZAMIENTO	DIAS	2.00

## CAPÍTULO VI: OPORTUNIDADES DE MEJORA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS Y PROCESOS

En el presente capítulo se identificarán que herramientas para la planificación y control de la producción respecto a la filosofía Lean Construction se pudieron haber empleado en la ejecución del subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22 de acuerdo a la filosofía Lean Construction con la finalidad de mejorar dichos procesos y optimizar los recursos empleados.

### 6.1 LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS)

Lean Project Delivery System o Sistema de Entrega de Proyectos Lean se refiere a un grupo de lineamientos conceptos para la toma de decisiones, y de procedimientos para la ejecución de funciones, técnicas y métodos. Tiene por objetivo orientar el desarrollo de los proyectos de construcción sin pérdidas.

El LPDS se representa mediante un modelo que se estructura en fases y módulos (Figura N° 6.1). Las fases de a) definición del proyecto, b) diseño lean, c) abastecimiento lean, d) ejecución lean y e) uso, son interdependientes por lo que comparten un módulo. El control de la producción y la estructuración del trabajo están presentes a lo largo del desarrollo de las cinco fases. La evaluación postocupación interconecta el fin de un proyecto con el inicio del siguiente (Castillo, 2014).

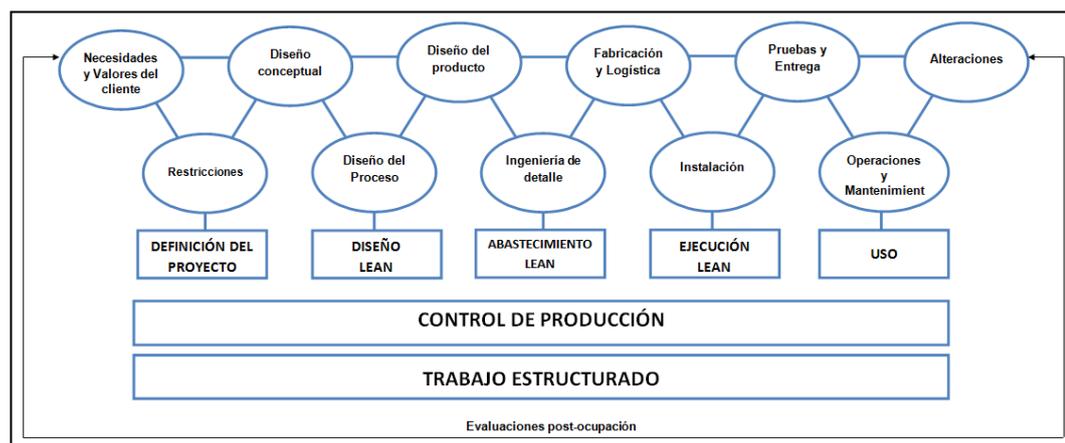


Figura N° 6.1 Esquema de modelo Lean Project Delivery System LPDS  
Fuente: Castillo, 2014

De acuerdo al inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos recopilados en la tesis de Castillo del 2014, estas son un total de 42 herramientas

que se agrupan dentro de las 7 fases del modelo LPDS antes mencionados. Ver Cuadro N° 6.1.

Cuadro N° 6.1 Herramientas del modelo Lean Project Delivery System LPDS

LPDS	Numero	Herramienta	Fuente
<b>DEFINICIÓN DEL PROYECTO</b>	1	MATRIZ DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DISEÑO	Pablo Orihuela et al 2011
	2	CUADERNO DE DISEÑO	Pablo Orihuela et al 2011
	3	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL INVERSIONISTA	Pablo Orihuela et al 2011
	4	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL USUARIO FINAL	Pablo Orihuela et al 2011
	5	BASE DE DATOS Y REPOSITORIOS	Ines Castillo 2014
	6	MATRIZ DE ALINEACIÓN DE PROPOSITOS	Pablo Orihuela et al 2011
	7	DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)	Yoji Akao 1978
<b>DISEÑO LEAN</b>	8	REPORTE A3	Toyota
	9	ESTACIONAMIENTO	Cynthia Tsao et al 2002
	10	MATRIZ DE RESPONSABILIDADES	Carlos Formoso et a 1999
	11	TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS	Carlos Formoso et a 1999
	12	LISTA DE TAREAS	Luis Alarcón et a 1998
	13	LISTA DE CHEQUEO	Luis Alarcón et a 1998
	14	SOLICITUD DE INFORMACIÓN (RFI)	Grupo internacional de Lean Construction
	15	CONSTRUCTABILIDAD EN EL DISEÑO	Instituto de la industria de la construcción 1986
<b>ABASTECIMIENTO LEAN</b>	16	CENTROS LOGISTICOS	Iris Tommelein et al 2007
	17	5S	Toyota
	18	MATRIZ MULTICRITERIO	Pablo Orihuela et al 2008
	19	MAPEO DE LA CADENA DE VALOR	Toyota
	20	KANBAN	Toyota

<b>EJECUCIÓN LEAN</b>	21	FIRST RUN STUDIES	Instituto de la construcción lean
	22	NIVEL DE ACTIVIDAD	Alfredo Serpell 1990
	23	CARTA DE BALANCE	Alfredo Serpell 1990
	24	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Nakagawa y Shimizu 2004
	25	POKA YOKE	Shingueo Shingo 1960
	26	MANUALES DE PROCESOS	Ines Castillo 2014
	27	ANDON	Toyota
	28	ONE TOUCH HANDLING	Glenn Ballard et al 2002
<b>USO</b>	29	EVALUACIONES POST-OCUPACIÓN	Instituto de la construcción lean
	30	MANUAL DEL CLIENTE	Ines Castillo 2014
	31	FORMULARIO DE ASISTENCIA TÉCNICA	Ines Castillo 2014
	32	PLAN DE INSPECCIONES PERIÓDICAS	Cupertino et al 2011
	33	DIAGRAMA DE FLUJO Y TIEMPO DE ENTREGA DE LAS ACTIVIDADES	Cupertino et al 2011
<b>CONTROL DE PRODUCCIÓN</b>	34	PLANIFICACIÓN MAESTRA	Grupo internacional de Lean Construction
	35	PLANIFICACIÓN POR FASES	Glenn Ballard 2000
	36	LOOKAHEAD PLANNING	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
	37	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	Glenn Ballard y Greg
	38	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO	Glenn Ballard y Greg
	39	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	Glenn Ballard y Greg
	40	LINEAS DE BALANCE	Goodyear Tire & Rubber Company
<b>TRABAJO ESTRUCTURADO</b>	41	5 WHYS	Toyota
	42	BUFFERS	Grupo internacional de Lean Construction

Fuente: Castillo, 2014

Para el caso de la ejecución del subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22, las herramientas para el desarrollo de este proyecto corresponderían a las fases “Ejecución Lean” y el “Control de la producción”.

En los siguientes cuadros se muestran las herramientas correspondientes a dichas fases y una breve descripción sobre cada una de estas, con la finalidad de identificar cuales fueron desarrolladas en la ejecución del subcontrato y cuales se

podrían implementar como opción de mejora en la gestión de la producción de proyectos de similar índole.

En el Cuadro N° 6.2 se visualizan las herramientas correspondientes a la fase “Ejecución Lean”.

Cuadro N° 6.2 Descripción de las herramientas de la fase de Ejecución Lean del modelo LPDS

<b>EJECUCIÓN LEAN</b>			
<b>Código</b>	<b>NOMBRE DE LA HERRAMIENTA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FUENTE</b>
<b>H-21</b>	FIRST RUN STUDIES	Análisis de Primera Ejecución, es el análisis detallado de un proceso constructivo previo a su ejecución.	Instituto de la Construcción Lean
<b>H-22</b>	NIVEL DE ACTIVIDAD	Herramienta estadística utilizada para el estudio de tiempos y movimientos de la actividad en un sector, frente o todo el Proyecto, separando el trabajo en: productivo, contributorio y no contributorio.	Alfredo Serpell 1990
<b>H-23</b>	CARTA BALANCE	Herramienta estadística que permite determinar cómo se divide el tiempo que se dedica a cada una de las tareas dentro de la actividad, permite analizar el procedimiento constructivo usado y buscar su optimización.	Alfredo Serpell 1990
<b>H-24</b>	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Herramienta que determina el rango de trabajo y la secuencia de trabajo que cada miembro es responsable.	Nakagawa y Shimizu 2004
<b>H-25</b>	POKA YOKE	Se refiere a dispositivos, elementos o sistema que tienen como objetivo principal eliminar los defectos en un producto previniendo los errores antes que se presenten.	Shingeo Shingo 1960
<b>H-26</b>	MANUALES DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS	Documento formal que contiene la descripción de las actividades que se deben seguir durante un determinado proceso.	Propuesta de Tesis
<b>H-27</b>	ANDON	Consiste en un sistema que evidencia los problemas o defectos en un proceso a partir de luces y sonidos que son activados por la persona que realiza el trabajo, parando el trabajo y dedicando un tiempo a corregir el error hallado, este tiempo no debe ser muy prolongado.	Empresa Automotriz Toyota
<b>H-28</b>	ONE TOUCH HANDLING	Manejo con un solo toque, materiales que pueden ser instalados directamente desde el vehículo de entrega.	Glenn Ballard et al 2002

Fuente: Castillo, 2014

En el Cuadro N° 6.3 se visualizan las herramientas correspondientes a la fase “Control de producción”.

Cuadro N° 6.3 Descripción de las herramientas de la fase de Control de Producción del modelo LPDS

<b>CONTROL DE PRODUCCIÓN</b>			
<b>Código</b>	<b>NOMBRE DE LA HERRAMIENTA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FUENTE</b>
<b>H-34</b>	PLANIFICACIÓN MAESTRA	Es la planificación para todo el proyecto, se realiza un análisis macro en donde se desarrolla las estrategias de ejecución del proyecto	Grupo Internacional de la Construcción Lean
<b>H-35</b>	PLANIFICACIÓN POR FASES	Consiste en detallar las actividades necesarias para la ejecución de una fase del proyecto, identifica las pautas necesarias para la liberación de trabajo de una actividad a otra y establece la secuencia de estas actividades.	Glenn Ballard 2000
<b>H-36</b>	PLANIFICACIÓN LOOKAHEAD	“Vista anticipada” dentro del cronograma maestro, un intervalo de tiempo en el futuro que permite tener una idea inicial de las actividades que serán ejecutadas.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
<b>H-37</b>	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	Planificación de los trabajos en la semana, los cuales deben encontrarse “sin restricciones” para poder ejecutarlas con facilidad.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
<b>H-38</b>	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)	Permite estimar cuanto de lo establecido en la programación semanal se ha cumplido verdaderamente.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
<b>H-39</b>	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	Causas que no permitieron cumplir con la tarea programada en la programación semanal.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
<b>H-40</b>	LÍNEAS DE BALANCE	Técnica de programación que permite mostrar el trabajo que se realiza en un proyecto de construcción como una sola línea, o barra, en una gráfica.	Goodyear Tire & Rubber Company

Fuente: Castillo, 2014

De los cuadros N° 6.2 y N° 6.3 se obtiene que existen 08 herramientas lean para la fase de “Ejecución lean” y 07 herramientas lean para la fase de “Control de producción”, haciendo un total de 15 herramientas lean las que se podrían aplicar de acuerdo a las características de la ejecución del proyecto.

En los siguientes cuadros se identificarán las herramientas que se emplearon en la ejecución del subcontrato estudiado y que estuvieron orientados a la filosofía Lean Construction y el modelo LPDS; así como también, de acuerdo a las características de los trabajos del subcontrato de estudio, se identificaron que herramientas podrían mejorar la gestión de la producción de obra. Ver Cuadro N° 6.4 y Cuadro N° 6.5.

Cuadro N° 6.4 Identificación de herramientas LPDS aplicadas en obra

LPDS	# HERRAM.	HERRAMIENTA	APLICADO EN OBRA
EJECUCION	21	FIRST RUN STUDIES	NO
	22	NIVEL DE ACTIVIDAD	NO
	23	CARTA BALANCE	NO
	24	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	NO
	25	POKA YOKE	NO
	26	MANUAL DE PROCESOS	SI
	27	ANDON	NO
	28	ON TOUCH HANDLING	NO
CONTROL	34	PLANIFICACION MAESTRA	SI
	35	PLANIFICACION POR FASES	SI
	36	LOOKAHEAD PLANNING	SI
	37	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	NO
	38	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO	NO
	39	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	NO
	40	LINEAS DE BALANCE	NO

Del Cuadro N° 6.4 se visualiza que en la ejecución del proyecto se emplearon 01 herramienta lean correspondiente a la fase “Ejecución” y 03 herramientas lean correspondiente a la etapa de “Control”, haciendo un total de 04 herramientas empleadas y aplicadas en obra durante la ejecución del subcontrato de estudio.

De lo encontrado, se puede indicar que, tomando como referencia las herramientas lean que corresponden a la etapa del desarrollo del proyecto, para la ejecución del subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22 se aplicaron 04 de 15 herramientas lean, siendo esto un 26.66% el porcentaje de afinidad con la filosofía Lean Construction y el modelo LPDS.

En base al alcance de ejecución del subcontrato de estudio y las características del proceso constructivo expuesto, en el Cuadro N° 6.5 se identifican las herramientas Lean que podrían aplicarse adicionalmente, siendo estas las oportunidades de mejora para la ejecución de otra estación subterránea con características similares a la estación E-22.

Cuadro N° 6.5 Oportunidad de mejora de las herramientas LPDS para aplicación en obra.

LPDS	# HERRAM.	HERRAMIENTA	APLICADO EN OBRA	OPORTUNIDAD DE MEJORA
EJECUCION	21	FIRST RUN STUDIES	NO	-
	22	NIVEL DE ACTIVIDAD	NO	OPORTUNIDAD
	23	CARTA BALANCE	NO	OPORTUNIDAD
	24	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	NO	-
	25	POKA YOKE	NO	-
	26	MANUAL DE PROCESOS	SI	-
	27	ANDON	NO	-
	28	ON TOUCH HANDLING	NO	-
CONTROL	34	PLANIFICACION MAESTRA	SI	-
	35	PLANIFICACION POR FASES	SI	-
	36	LOOKAHEAD PLANNING	SI	-
	37	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	NO	OPORTUNIDAD
	38	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO	NO	OPORTUNIDAD
	39	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	NO	-
	40	LINEAS DE BALANCE	NO	-

De esto, se puede indicar que, tomando como referencia las herramientas Lean que corresponden a la etapa del desarrollo del proyecto, para la ejecución del subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22 se podrían haber aplicado adicionalmente 04 de 15 herramientas Lean, y considerando las herramientas ya aplicadas, el porcentaje de afinidad para la ejecución del proyecto se incrementaría a 53.33%.

## 6.2 MEJORAS EN LA PLANIFICACIÓN DE OBRA

De las herramientas empleadas en la planificación de obra del subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22, se identifica que no se contó con una planificación intermedia temprana, con lo cual se procede a exponer dicha oportunidad de mejora.

### 6.2.1 Plan semanal de obra

De acuerdo con la filosofía Lean Construction y el Last Planner System (LPS), establecer un plan semanal de obra con objetivos reales generaría un mayor compromiso con la planificación, ya que se establecería en base a actividades con restricciones atendidas, siendo dichas tareas controladas posteriormente con el PPC (Plan de Porcentaje Cumplido), con la finalidad de registrar el cumplimiento de los rendimientos y plazos de ejecución, así como generar lecciones aprendidas para obtener oportunidades de mejora.

Por otro lado, el establecer un plan semanal de obra reduciría la variabilidad de la programación diaria de obra respecto al Lookahead generado con horizonte a 3 semanas como mínimo, ya que el balance de recursos de la obra se ajustaría a un horizonte más temprano y sin restricciones permitiendo la asignación de estos a tareas específicas, haciendo dicho proceso más efectivo. Se presenta un ejemplo de lo descrito en la Figura N° 6.2.

ACTIVIDA	ENERO						UND	METRADO	RESTRICCIONES						LIBERADO	
	SEM 11-03								INFORMACION	ACTIVIDAD PRECEDENTES	ESPACIO	MANO DE OBRA	MATERIAL	EQUIPOS		CONDICIONES EXTERNAS
	17	18	19	20	21	23										
<b>COLUMNAS Y PLACAS</b>																
FIERRO COLUMNAS Y PLACAS							KG	4,000	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	SI
ENCOFRADO COLUMNAS Y PLACAS							M2	250	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	SI
CONCRETO COLUMNAS Y PLACAS				♦ SÓTANO 1			M3	23	OK	OK	OK	OK	FALTA AGREGADO	OK	OK	NO
<b>LOSAS, VIGAS Y ESCALERAS</b>																
FIERRO LOSAS, VIGAS Y ESCALERAS							KG	2,900	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	SI
ENCOFRADO LOSAS, VIGAS Y ESCALERAS							M2	255	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	SI
LADRILLO DE TECHO							UND	2,900	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	SI
CONCRETO LOSAS, VIGAS Y ESCALERAS				♦ SÓTANO 1	♦		M3	70	OK	OK	OK	OK	FALTA AGREGADO	OK	OK	NO

Figura N° 6.2 Ejemplo de un plan semanal de obra con restricciones levantadas  
Fuente: Castillo, 2014

### 6.3 MEJORAS EN EL CONTROL DE OBRA

De las herramientas empleadas en el control de obra del subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22, se identifica que no se contó con una planificación intermedia temprana, por lo cual tampoco se realizó un seguimiento a dicho nivel. Así mismo, para el control de la productividad de obra solo se utilizó los registros generales del reporte diario de obra, con lo cual no se han obtenido muestras precisas de las cantidades de trabajo productivo, contributorio, y no contributorio. Dicho esto, se procede a exponer las oportunidades de mejora identificadas.

#### 6.3.1 Porcentaje de plan completado (PPC)

De acuerdo con la filosofía Lean Construction y el Last Planner System, el Porcentaje de Plan Completado es una herramienta de control que permitiría visualizar la fiabilidad de la planificación semanal, comparando la cantidad de trabajo real ejecutado respecto a la cantidad de trabajo planificado. Así mismo, de acuerdo al porcentaje de plan completado obtenido y las causas justificativas para los trabajos no cumplidos, se generaría un análisis de causas de no cumplimiento el cual sería la base para la toma de acciones y decisiones que permitan mitigar o reparar el impacto negativo que dichas causas generaron. Se presenta un ejemplo de lo descrito en la Figura N° 6.3.

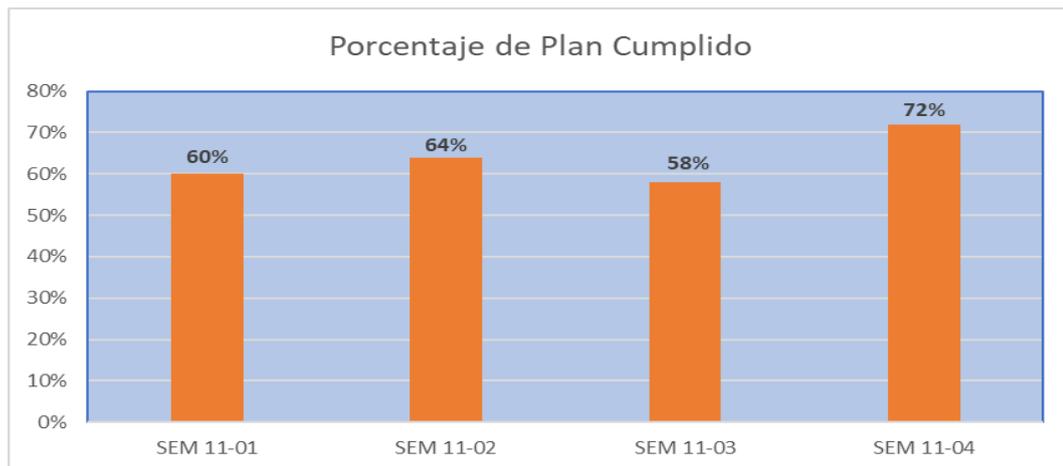


Figura N° 6.3 Ejemplo de un registro de PPC  
Fuente: Castillo, 2014

### 6.3.2 Nivel de actividad

De acuerdo a la filosofía Lean Construction, el nivel de actividad es una herramienta que permitirá identificar de manera adecuada los tiempos empleados en la ejecución de un trabajo considerando las siguientes categorías: a) Tiempo productivo (TP), b) Tiempo contributorio (TC), y c) Tiempo no contributorio (TNC). Con la información recopilada durante la ejecución de una actividad en un tiempo específico, se podrán tomar las acciones necesarias para aumentar el tiempo productivo, controlar el tiempo contributorio, y mitigar el tiempo no contributorio. Ver ejemplos de formatos de la herramienta en Figura N° 6.4 y Figura N° 6.5.

<b>NIVEL DE ACTIVIDAD</b>				
PROYECTO: NOMBRE DEL OBSERVADOR:			FECHA: HORA INICIO:	
N°	Cuadrilla	TP	TC	TNC
1	Fierrero	P		
2	Carpintero		T	
3	Concreto	P		
4	Abañiles		L	
5	Fierrero		L	
6	Concreto			V
7	Carpintero	P		
8	Concreto			E
9	Fierrero			E
10	Abañiles			R
11	Abañiles		M	
12	Concreto	P		
13	Carpintero			N
14	Concreto			E
15	Fierrero	P		
16	Fierrero	P		
17	Concreto		I	
18	Abañiles		L	
19	Abañiles		I	
20	Carpintero	P		
21	Carpintero			
22	Concreto		M	
23	Abañiles			R
24	Fierrero	P		
25	Concreto			E
<b>TT</b>		8	8	9

<b>Clasificación del Trabajo</b>		
Total	Trabajo Contributorio	
1	T	Transporte
3	L	Limpieza
2	I	Instrucciones
2	M	Mediciones
0	X	Otros TC

Total	Trabajo No Contributorio	
1	V	Viajes
1	N	Tiempo Ocioso
4	E	Espera
2	R	Trabajo rehecho
0	D	Descanso
0	B	Nec Fisiológicas
0	Y	Otros TNC

Figura N° 6.4 Ejemplo formato Nivel general de actividad  
Fuente: Castillo, 2014

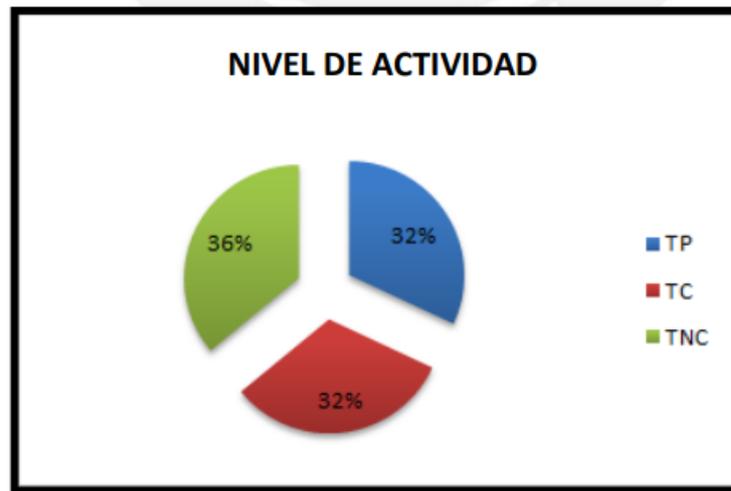


Figura N° 6.5 Ejemplo formato Cuadro de nivel general de actividad  
Fuente: Castillo, 2014

### 6.3.3 Carta Balance

De acuerdo con la filosofía Lean Construction, la carta balance es una herramienta estadística que permitiría determinar la distribución del tiempo que se dedica a cada una de las tareas dentro de la actividad escogida, permitiendo evaluar el proceso constructivo empleado y determinar la cantidad de obreros para la cuadrilla, con la finalidad de optimizar los recursos empleados. Con ella, se podría determinar si la cuadrilla a analizar se encuentra correctamente balanceada, y buscar mejorar la eficiencia del grupo de trabajo con la reasignación de tareas o modificación del tamaño de la cuadrilla de trabajadores. Se presenta un ejemplo del formato de Carta Balance en la Figura N° 6.6.

CARTA BALANCE								
PROYECTO: NOMBRE DEL OBSERVADOR: ACTIVIDAD OBSERVADA: Vaciado de Concreto de losa						FECHA: HORA INICIO:		
N°	Trabajador 1	Trabajador 2	Trabajador 3	Trabajador 4	Trabajador 5	Trabajador 6	Trabajador 7	Trabajador 8
1	A	D	E	A	F	C	C	F
2	D	C	A	H	B	F	D	B
3	E	A	F	E	F	B	C	F
4	F	I	B	C	I	F	A	I
5	B	E	F	D	A	I	I	C
6	F	F	I	A	A	B	E	F
7	I	A	B	B	H	H	F	B
8	B	H	H	I	E	C	A	F
9	H	A	C	B	C	C	B	I
10	C	B	B	I	C	D	H	B
11	D	I	H	B	A	C	A	H
12	C	F	B	F	I	A	E	C
13	A	B	F	B	E	I	H	B
14	I	F	B	F	F	E	C	I
15	E	I	F	I	A	F	G	A
16	F	B	I	B	F	A	A	B
17	A	B	B	H	A	F	H	I
18	B	F	H	C	A	A	E	F
19	I	F	A	A	H	F	C	A
20	G	B	B	B	E	B	A	A
21	A	F	I	I	C	F	A	F
22	H	I	B	H	C	I	B	B
23	E	A	I	E	A	B	I	F
24	C	B	H	C	B	H	B	I
25	E	I	E	F	I	C	I	C

Trabajador	Nombre completo	Categoría
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

TPO	Letras	Tarea
TP	A	Vaciado de concreto
	B	Vibrado
	C	Regleado
	D	Lampesado
TC	E	Transporte de concreto
	F	Mediciones
	G	Instrucciones
TNC	H	Limpeza
	I	Esperas
	J	Descanso

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	TT
4	4	2	3	7	3	6	3	3		25
3	6	8	6	2	4	4	3	6		25
3	1	1	3	4	4	4	4	3		25
2	1	0	1	0	1	1	1	0		25
4	1	2	2	3	1	3	0			25
3	6	4	3	4	6	1	7			25
1	0	0	0	0	0	1	0			25
2	1	4	3	2	2	3	1			25
3	5	4	4	3	3	3	5			25
0	0	0	0	0	0	0	0			25
25	25	25	25	25	24	25	25			25

TOTAL	
32	TP
38	
23	
6	
16	TC
34	
2	
18	TNC
30	
0	
199	

Figura N° 6.6 Ejemplo de un formato de registro de carta balance  
Fuente: Castillo, 2014

## CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realizará el análisis y comparación de la planificación y control de la producción empleados en la ejecución del subcontrato de Movimiento de Tierras y Obras Civiles de la Estación E-22 respecto a la filosofía Lean Construction, así como también analizar las mejoras identificadas y el valor que aportarían.

Respecto a la planificación de obra que se empleó, se puede apreciar que el desarrollo de esta respecto a la filosofía Lean Construction es bastante semejante, con la única diferencia de que no se empleó una planificación a nivel semanal, lo cual hubiese permitido tener un mejor control del balance de los recursos tales como la mano de obra, así como la aplicación del Plan de Porcentaje Completado para tener un registro de la confiabilidad de la planificación establecida.

Sobre la herramienta del Last Planner System, que está involucrado tanto en el proceso de planificación como en el proceso de control, se encontró que no se desarrollaron 2 de los 3 componentes principales de este, los cuales son la planificación anticipada y el aprendizaje. El desarrollar durante la ejecución el componente de la planificación anticipada permitiría tener un mejor control de las restricciones que puedan presentarse durante el desarrollo de las actividades; y desarrollar el componente del aprendizaje permitiría obtener un registro de lecciones aprendidas para la mejora de toma de acciones para la resolución de problemas y situaciones que se puedan presentar en un futuro.

Respecto al control de obra que se empleó, se aprecia que se desarrollaron registros diarios de los trabajos ejecutados y el seguimiento mensual de la producción ejecutada comparándola con la planificada. Revisando los componentes de la filosofía Lean Construction para este proceso, se encuentra que el desarrollar el Plan de Porcentaje Completado aportaría en el control de los recursos a un nivel más específico, ya que se realizaría de forma semanal, y esta periodicidad estaría sintonizada con los planes semanales de obra y el balance de recursos que se realizaría para los trabajos; así mismo, para algunas actividades masivas el uso de las herramientas Nivel de Actividad y Carta Balance podrían aportar en el mejoramiento del dimensionamiento de las cuadrillas de trabajo, ya que se tendría un registro diario de los rendimientos del personal y su respectiva curva de aprendizaje.

## CONCLUSIONES

El proyecto de la línea 2 del metro de Lima será el primer sistema de transporte subterráneo del país (27 km) y el pionero de su clase, por lo cual generar cualquier registro sobre su construcción generará valor para la ejecución de las siguientes líneas subterráneas (101.4 km) que se tienen proyectadas construir en el Perú, ya que dicha ejecución está siendo un 21% del total de kilómetros pendientes a ejecutar en el sistema ferroviario proyectado.

El proyecto se encuentra dividido en 3 etapas de ejecución, y en cada etapa se encuentran estaciones y pozos de ventilación. Para la ejecución de las estaciones subterráneas se subcontrata con empresas de acuerdo a las especialidades y etapas constructivas correspondientes. El subcontrato de Movimiento de tierras y Obras civiles de la estación E-22 fue adjudicado a la empresa constructora de capitales españoles Harlam Syo Perú debido a la experiencia del grupo empresarial en la construcción de megaproyectos a nivel internacional.

El alcance de la gestión de la producción de obra empleada en la ejecución del subcontrato de Movimiento de tierras y Obras civiles de la estación E-22 contemplo los procesos de planificación, ejecución, y control de obra.

El subcontrato en estudio se encuentra en la fase de “Ejecución” de acuerdo al modelo LPDS de la filosofía Lean Construction, así como la fase de “Control de la producción” que está involucrada en todas las fases del modelo.

Las herramientas que propone el modelo LPDS para la fase de “Ejecución” son 08 herramientas, y para la fase de “Control de producción” son 07 herramientas, por lo que para el caso de estudio se tiene como referencia un total 15 herramientas Lean de posible aplicación.

El proceso de planificación de obra contemplo la generación de un plan maestro de obra, la realización de la sectorización de los frentes de trabajo, la elaboración del Lookahead de obra semanal, y el desarrollo de un plan diario de obra. De esto se identificó el uso de 03 herramientas Lean.

El proceso de ejecución de obra contemplo la ejecución del subcontrato de Movimiento de tierras y Obras Civiles de la estación E-22 de acuerdo al método constructivo Cut and Cover modalidad de top down, desarrollando los trabajos

involucrados de acuerdo al alcance contractual y los procedimientos constructivos correspondientes. De esto se identificó el uso de 01 herramienta Lean.

El proceso de control de obra contemplo la realización del seguimiento mensual de la venta estimada de la obra respecto a la producción real, el registro de las incidencias presentadas durante la ejecución de obra, y la elaboración de reportes diarios de obra de acuerdo a las actividades realizadas. No se identificaron herramientas Lean en ese proceso.

La gestión de obra que se empleó en la ejecución del subcontrato de Movimiento de tierras y Obras civiles de la estación E-22 se encuentra alineada en sus procesos de manera parcial a la filosofía Lean Construction, ya que se usaron 04 herramientas Lean con lo cual se obtuvo un 26.66% de afinidad de acuerdo al modelo LPDS de la filosofía Lean Construction.

Las características de la obra ejecutada podrían permitir que para el proceso de planificación que se empleó en la ejecución de la obra, este se puede mejorar con la implementación y desarrollo de un plan semanal de obra (01 herramienta Lean).

Las características de la obra ejecutada podrían permitir que para el proceso de control que se empleó en la ejecución de la obra, este se puede mejorar con la implementación y desarrollo las herramientas Porcentaje de Plan Completado, Nivel de actividad, y la Carta balance (03 herramientas Lean).

De acuerdo a las oportunidades de mejora identificadas para su posible implementación (04 herramientas Lean), se obtiene que el porcentaje de afinidad con el que se podría desarrollar el proyecto aumenta a un 53.33%, por lo que dicho incremento aportaría a la mejora en los procesos y optimización de los recursos involucrados ya que hay relación directa con la mitigación de desperdicios en la construcción.

## RECOMENDACIONES

La ejecución del proyecto de la línea 2 del metro de Lima debería servir como referencia para el desarrollo de proyectos futuros de similar índole, por lo cual se recomienda generar un registro de lecciones aprendidas para ser usado como documento de consulta, ya que este comprende el 21% del total de volumen de infraestructura, quedando un 79% pendiente de ejecución.

La filosofía Lean Construction contiene más herramientas que las identificadas como oportunidad de mejora que pueden permitir generar una mejora continua en los procesos de gestión, por lo cual se recomienda como prospectiva se investigue sobre que herramientas podrían agregar valor de acuerdo a las características de obras de similar índole.

Las oportunidades de mejora identificadas y propuestas están orientadas al contexto en el cual se desarrolló la gestión de la producción del proyecto, por lo que se recomienda que para proyectos de similar índole se realice una investigación previa sobre las herramientas Lean Construction y se elabore un sistema de gestión adecuando todas aquellas que agreguen valor y permitan optimizar los recursos asignados.

Para cuantificar los resultados y la optimización que se obtendría sobre la implementación de las herramientas Lean adicionales a las empleadas se recomienda buscar información sobre la ejecución de un proyecto similar (estación subterránea) y comparar los resultados de manera porcentual.

Como prospectiva, se recomienda investigar sobre el sistema de gestión de la producción de proyectos similar índole y realizar una comparativa sobre las herramientas utilizadas de acuerdo al alcance del área de trabajo, con la finalidad de identificar que herramientas no se aplicaron en la ejecución del subcontrato de Movimiento de tierras y Obras civiles de la estación E-22 y cuales podrían haberse implementado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baca, J. (2017). El metro de Lima. Alerta Económica. Recuperado de <https://alertaeconomica.com/el-metro-de-lima/>

Caso, C. (2002). Programación y control de obra del canal principal Cascajal, Nepeña, Casma, Sechin Tramo correspondiente a las progresivas 70 + 540 al 72 + 862.654 cruce del río Nepeña, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Castillo, I. (2014). Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos Lean (LPDS), (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Conto, P. (2019). Comparación del costo y plazo en la construcción de estaciones subterráneas tipo cut and cover y caverna en la Provincia Constitucional del Callao, (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

El Peruano (2014). La Línea 2 del Metro beneficiará a 660,000 personas diariamente. Recuperado de <https://elperuano.pe/noticia/16816-la-linea-2-del-metro-beneficiara-a-660000-personas-diariamente>

MAPAdeLIMA.COM (2023). Mapa del metro de Lima. Recuperado de <https://www.mapadelima.com/mapa-del-metro-de-lima/>

Mego, E. (2017). Proceso constructivo de pozo de ventilación para mejorar los plazos y la calidad – línea 2 del metro de Lima etapa 1 A, (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Padilla, A. & Pando, L. & Soto, H. (2017). Análisis de los procesos constructivos cut and cover para evaluar el plazo y costo de la construcción de una estación subterránea típica, (Trabajo de Investigación). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

Pons, J. (2014). Introducción a Lean Construction. Madrid, España. Fundación Laboral de la Construcción.

Quispe, A. (2015). Gestión de la producción en las obras del túnel de conducción de la central hidroeléctrica Cerro del Águila, (Informe de Suficiencia). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Rivera, V. (2015). Programación, planificación y control de obras de infraestructura civil, en la República de Guatemala, (Trabajo de Graduación). Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

Velásquez, H. (2020). Planificación y programación para la construcción de una estación de tren subterránea de la Línea 2 del metro de Lima y Callao, Aplicando la metodología Lean Construction para el control y ejecución del proyecto, (Trabajo de investigación). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

Vilcapoma, A. (2014). Diseño del planeamiento y programación en cadena del tramo "v" del viaducto elevado de la Línea 1 tramo 2 Metro de Lima, (Informe de Suficiencia). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

## ANEXOS

### 1. Anexo N° 1: Referencias Fotográficas



Foto 1. Proceso de curado de losa de hormigón en el nivel de cubierta.

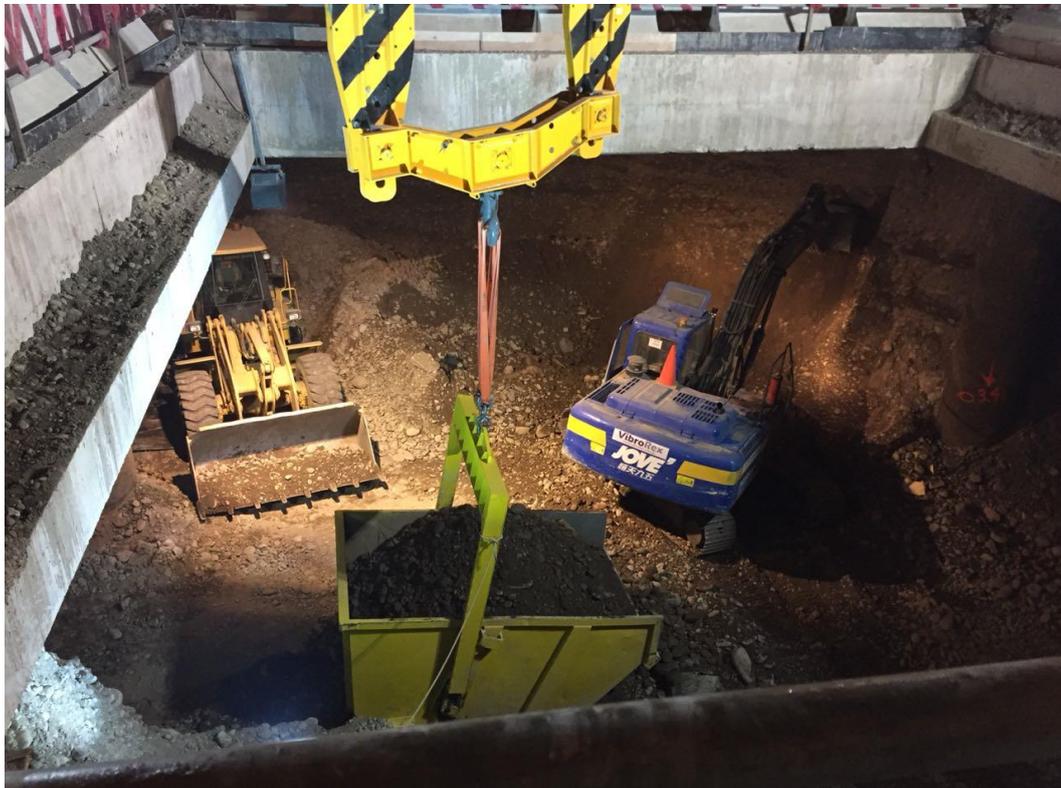


Foto 2. Extracción vertical de tierras del nivel de vestíbulo.



Foto 3. Corte y carguío de tierras a nivel de vestíbulo.

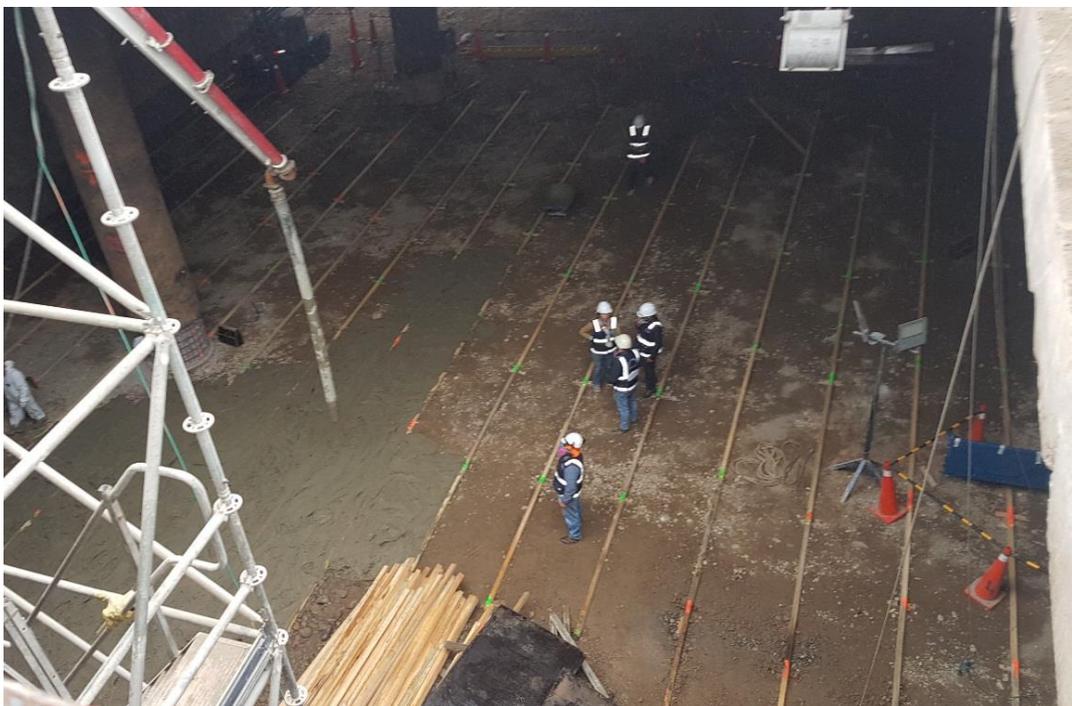


Foto 4. Proceso de trabajos de encofrado perdido sobre terreno.



Foto 5. Proceso de anclajes de barras de acero a pantallas de concreto.



Foto 6. Hormigonado masivo de una fase de losa de nivel de vestíbulo.



Foto 7. Proceso de curado de losa de hormigón a nivel de vestíbulo.



Foto 8. Corte de terreno a nivel de losa de fondo.



Foto 9. Extracción vertical de tierras con balde basculante y grúa telescópica.

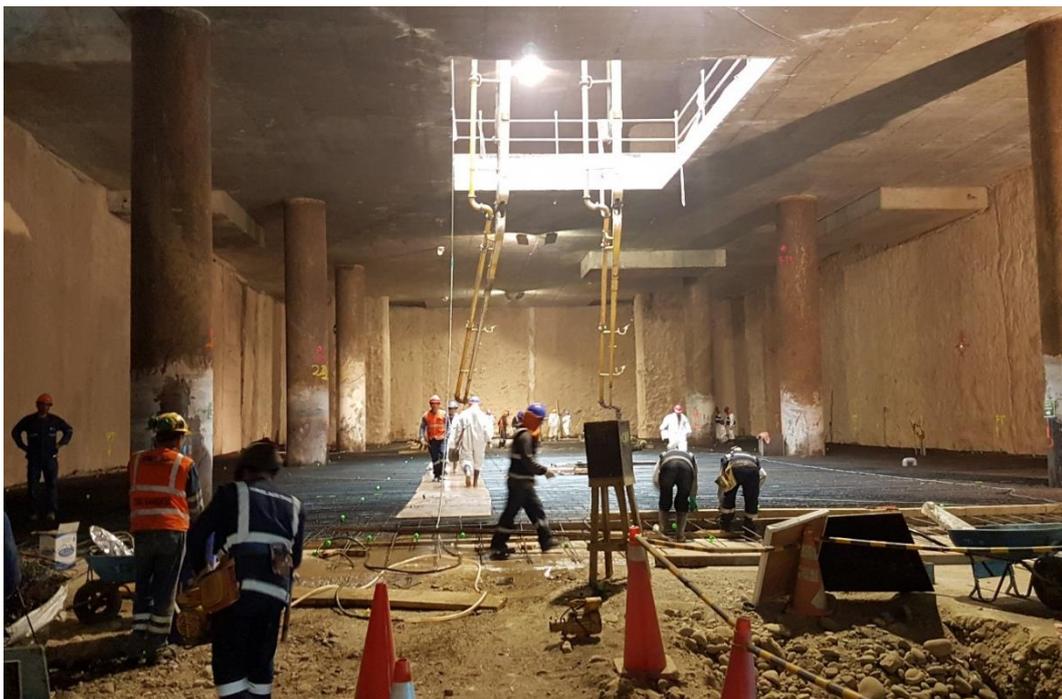


Foto 10. Hormigonado masivo de una fase de losa de fondo.



Foto 11. Encofrado de muros laterales del Acceso Sur.