

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



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**“APLICACIÓN DEL METODO DE DIAGRAMA DE LÍNEAS  
DE FLUJO A REDES DE ALCANTARILLADO PROFUNDO  
CON ENTIBADOS DESLIZANTES”**

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

**ELABORADO POR**

**RAÚL OMAR LAVADO GUZMÁN**

**ASESOR**

**Ing. LUIS IVAN GOTELLI VILLANUEVA**

**Lima- Perú**

**2020**

© 2020, 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 parte, con fines estrictamente académicos.”**

Lavado Guzman, Raúl Omar

[raul\\_153@hotmail.com](mailto:raul_153@hotmail.com)

940294839

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de suficiencia profesional a mis padres y a la Universidad Nacional de Ingeniería, responsables de mi formación y de todo lo concretado al día de hoy.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres por ser partícipes en mi formación profesional y en mis valores como persona, por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi vida.

Agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería por la formación integral impartida en mi querida facultad, al Ingeniero Luis Gotelli Villanueva por la inversión de tiempo y apoyo en la elaboración del Trabajo de Suficiencia Profesional.

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| RESUMEN.....   | 3         |
| ABSTRACT.....  | 4         |
| PRÓLOGO.....   | 5         |
| LISTA DE TABLAS.....   | 6         |
| LISTA DE FIGURAS.....  | 7         |
| LISTA DE SIGLAS.....   | 9         |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>                           | <b>10</b> |
| 1.1. GENERALIDADES.....  | 10        |
| 1.2. PROBLEMÁTICA.....   | 11        |
| 1.3. OBJETIVOS.....  | 11        |
| 1.3.1. Objetivo Principal.....                                 | 11        |
| 1.3.2. Objetivos Específicos.....                              | 11        |
| <b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>                    | <b>12</b> |
| 2.1. GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL.....               | 12        |
| 2.2. LEAN CONSTRUCTION.....                                    | 13        |
| 2.2.1. Teoría de Producción.....                               | 14        |
| 2.2.2. Herramientas y métodos de Lean Construction.....        | 16        |
| 2.3. PROGRAMACIÓN BASADO EN LOCALIZACIÓN.....                  | 18        |
| 2.3.1. Visualización de línea de flujo.....                    | 20        |
| 2.4. ENTIBADOS.....  | 22        |
| 2.4.1. Entibado descenso directo.....                          | 22        |
| 2.4.2. Entibado descenso escalonado.....                       | 23        |
| 2.4.3. Entibado cajones especiales.....                        | 24        |
| 2.4.4. Entibado con paneles deslizantes.....                   | 24        |
| <b>CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO.....</b> | <b>25</b> |
| 3.1. ENUNCIADO DEL ALCANCE DEL PROYECTO.....                   | 25        |
| 3.1.1. Datos generales.....                                    | 25        |
| 3.1.2. Alcance global del proyecto.....                        | 25        |
| 3.1.3. Alcance específico a estudiar.....                      | 26        |
| 3.2. CONSIDERACIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO.....        | 27        |
| 3.3. EJECUCIÓN DEL SISTEMA DE ENTIBACIÓN.....                  | 29        |
| 3.4. RECURSOS A EMPLEAR.....                                   | 30        |
| 3.5. ACTIVIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO.....                 | 31        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.5.1. Mejoramiento del terreno.....   | 31        |
| 3.5.2. Excavación de banquetta (N.T. – 4.50 m).....  | 33        |
| 3.5.3. Instalación de entibado y excavación.....   | 34        |
| 3.5.4. Instalación de tubería.....   | 36        |
| 3.5.5. Retiro de entibado.....   | 37        |
| 3.5.6. Relleno de zanja.....   | 38        |
| <b>CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE “DIAGRAMA DE LINEAS DE FLUJO” (DLF).....</b> | <b>40</b> |
| 4.1. LÍNEA BASE (INFORMACIÓN EXPEDIENTE TÉCNICO).....  | 40        |
| 4.2. LÍNEAS DE FLUJO – DIRECCIÓN TÉCNICA DE PROVEEDOR (SEMANA 0 – 1).....                    | 42        |
| 4.2.1. Armado de pórticos y Mejoramiento del terreno.....                                    | 43        |
| 4.2.2. Inicio del Proceso Constructivo.....  | 46        |
| 4.3. LÍNEAS DE FLUJO – SIN DIRECCIÓN TÉCNICA DE PROVEEDOR (SEMANA 2).....                    | 49        |
| <b>CAPÍTULO V: CONTROL Y SEGUIMIENTO EMPLEANDO METODOLGIA DLF.....</b>                       | <b>51</b> |
| 5.1. ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD (SEMANA 3).....  | 51        |
| 5.2. SECTORIZACIÓN (SEMANA 4).....   | 54        |
| 5.3. CONTROL DE TIEMPO Y ALCANCE (SEMANA 5).....   | 55        |
| 5.4. LÍNEAS DE FLUJO BALANCEADAS (SEMANA 6).....   | 59        |
| <b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>  | <b>61</b> |
| 6.1. ANÁLISIS DE DLF.....  | 61        |
| 6.2. ANÁLISIS DE COSTOS DIARIOS.....   | 63        |
| 6.3. ANÁLISIS DIAGRAMA TIEMPO COSTO.....   | 67        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>   | <b>69</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>  | <b>70</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>   | <b>71</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>   | <b>73</b> |

## RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional muestra el desarrollo de la aplicación del método de “Diagrama de líneas de flujo” en el proceso constructivo “Redes de Alcantarillado Profundo con Entibados Deslizantes”.

Este método se desarrolló en la ejecución del proyecto “Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado para El Macro Proyecto Pachacutec – Etapa I” a cargo del contratista CONSORCIO SADE-COSAPI, centrandose su aplicación en la instalación de los tramos profundos del Colector Pachacutec, el cual se empleó un proceso constructivo nuevo distinto a lo tradicional durante el proyecto.

Dicho método muestra la programación basada en localización, graficando las actividades o tareas como líneas de flujo (Diagrama de líneas de flujo, uso de conceptos de Lean Construction), el cual permitió analizar semana a semana como se comportaban y relacionaban las actividades, a su vez como relacionar con el costo diario y entender el proceso constructivo de la instalación de entibados deslizantes.

Finalmente este método permite generar flujos continuos (líneas o flujos balanceados) en las distintas actividades de un proyecto lineal y/o repetitivo, permitiendo obtener mejoras y reducción de pérdidas en el proceso constructivo.

## ABSTRACT

The present work of professional sufficiency shows the development of the application of the "Flowchart Diagram" method in the construction process "Deep sewer networks with sliding shutters".

This method was developed in the execution of the project "Expansion and Improvement of the Drinking Water and Sewerage System for the Pachacutec Macro Project - Stage I" by the contractor CONSORCIO SADE-COSAPI, focusing its application on the installation of the deep sections of the Collector Pachacutec, which used a new construction process different from the traditional one during the project.

This method shows the programming based on location, graphing the activities or tasks as flow lines (Flow line diagram, use of Lean Construction concepts), which allowed to analyze week by week how the activities behaved and related, to their time how to relate to the daily cost and understand the construction process of the installation of sliding liners.

Finally, this method allows generating continuous flows (lines or balanced flows) in the different activities of a linear and / or repetitive project, obtaining improvements and reducing losses in the construction process.



## PRÓLOGO

En la industria de la construcción la planificación y programación se desarrolla usando el Diagrama de Gantt, sin embargo este último no facilita bien su desarrollo cuando se trata de un proyecto lineal como instalación de tuberías, instalaciones de líneas de alta tensión, construcción de sistemas de caminos, carreteras, túneles, etc. No brindando una descripción general de la iteración entre el sitio y el cronograma.

El objetivo principal del presente trabajo de suficiencia profesional es aplicar una metodología que permita planificar, realizar el seguimiento y control de un proyecto lineal y/o proceso constructivo específico, dicha aplicación permitirá obtener mejoras.

Dicho trabajo también muestra la relación del costo con el seguimiento y control del proceso constructivo, todo en base a la programación basada en localización.

En la parte final del trabajo de suficiencia profesional se presentan conclusiones y recomendaciones respecto a la implementación de dicho método en el proceso constructivo específico del proyecto mencionado.

**Ing. Luis Gotelli Villanueva**  
**ASESOR**

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 2.1. Herramientas Lean Construction.....   | 17 |
| Tabla 2.2. Comparación de Diagrama de Barras con método lineal<br>(programación basada en localización)..... | 19 |
| Tabla 4.1. Presupuesto de las partidas relacionadas a los tramos profundos....                               | 40 |
| Tabla 4.2. Progresiva – estructura – profundidad.....  | 41 |
| Tabla 5.1. Estudio de productividad (análisis de 5 días).....  | 52 |
| Tabla 6.1. Análisis de costo diario – Línea Base (Plan).....   | 63 |
| Tabla 6.2. Análisis de costo diario – Capacitación y armado de pórticos.....                                 | 64 |
| Tabla 6.3. Análisis de costo diario – Explicación en campo.....  | 64 |
| Tabla 6.4. Análisis de costo diario – 3 cajones.....   | 65 |
| Tabla 6.5. Análisis de costo diario – 2 cajones.....   | 66 |
| Tabla 6.6. Análisis de costo diario – Reajuste plazo 2 cajones.....  | 67 |
| Tabla 6.7. Comparativo de costos.....  | 68 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1. Plan del trabajo actual.....   | 12 |
| Figura 2.2. Control del trabajo actual.....  | 12 |
| Figura 2.3. Lean Construction.....   | 15 |
| Figura 2.4. Curvas de producción equilibradas y desequilibradas para procesos repetitivos..... | 19 |
| Figura 2.5. Líneas de flujo de dos tareas.....   | 20 |
| Figura 2.6. Cantidades variables de acuerdo a la localización.....                             | 22 |
| Figura 2.7. Instalación de cajón (descenso directo).....                                       | 23 |
| Figura 2.8. Instalación de cajón (descenso escalonado).....                                    | 23 |
| Figura 2.9. Cajón especial.....  | 24 |
| Figura 2.10. Entibados deslizantes.....  | 24 |
| Figura 3.1. Recorrido del Colector Pachacutec.....   | 26 |
| Figura 3.2. Tramo profundo Colector Pachacutec – Vista en planta.....                          | 26 |
| Figura 3.3. Tramo profundo Colector Pachacutec – Vista en perfil.....                          | 26 |
| Figura 3.4. Sección transversal de tramo profundo de Colector Pachacutec.....                  | 28 |
| Figura 3.5. Modelo Double Slide Rail RS Series 750.....  | 29 |
| Figura 3.6. Mejoramiento de terreno a N.T.....   | 32 |
| Figura 3.7. Mejoramiento de terreno (N.T. - 4.50 m).....                                       | 32 |
| Figura 3.8. Perfil de excavación – Mejoramiento de terreno.....                                | 32 |
| Figura 3.9. Excavación de banqueta (hasta N.T. - 4.50 m).....                                  | 33 |
| Figura 3.10. Carguío a volquete, material de zona de banqueta (hasta N.T. - 4.50 m) .....      | 33 |
| Figura 3.11. Perfil de excavación – Excavación de banqueta (N.T. - 4.50 m).....                | 34 |
| Figura 3.12. Instalación del primer cajón.....   | 34 |
| Figura 3.13. Instalación del segundo cajón.....  | 35 |
| Figura 3.14. Excavación dentro de los cajones instalados.....                                  | 35 |
| Figura 3.15. Instalación de paneles sobre pórticos instalados.....                             | 36 |
| Figura 3.16. Perfil de excavación – Instalación de entibado.....                               | 36 |
| Figura 3.17. Instalación de tubería.....   | 37 |
| Figura 3.18. Perfil de excavación – Instalación de tubería.....                                | 37 |
| Figura 3.19. Retiro de pórticos.....   | 38 |
| Figura 3.20. Perfil de excavación – Retiro de paneles.....                                     | 38 |
| Figura 3.21. Relleno de zanja.....   | 39 |
| Figura 3.22. Relleno y compactación de zanja.....  | 39 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.23. Perfil de excavación – Relleno de zanja.....  | 39 |
| Figura 4.1. Perfil longitudinal tramos profundos.....  | 41 |
| Figura 4.2. Línea Base en gráfico Progresiva vs. Tiempo.....   | 42 |
| Figura 4.3. Trabajos en los muelles de Loira, Francia. Empresa SADE.....                                   | 43 |
| Figura 4.4. Parantes con carril deslizante.....  | 43 |
| Figura 4.5. Tensores rodantes.....   | 44 |
| Figura 4.6. Distanciadores.....  | 44 |
| Figura 4.7. Paneles inferiores, intermedios y superiores.....  | 45 |
| Figura 4.8. Armado de pórticos (carril deslizante con tensor rodante) con presencia del proveedor.....     | 45 |
| Figura 4.9. Arroceras para mejoramiento de terreno.....  | 46 |
| Figura 4.10. Izaje e instalación de pórtico, con dirección técnica de proveedor..                          | 46 |
| Figura 4.11. Instalación de pórtico con paneles.....   | 47 |
| Figura 4.12. Excavación de rampa para llegar a banqueta.....   | 47 |
| Figura 4.13. Leyenda Semana 0 – 1.....   | 48 |
| Figura 4.14. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 0 a 1.....   | 48 |
| Figura 4.15. Diagrama de flujo del proceso constructivo.....   | 49 |
| Figura 4.16. Excavación e instalación de entibado, usando 4 pórticos – 3 cajones.....                      | 49 |
| Figura 4.17. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 2.....   | 50 |
| Figura 5.1. Leyenda de DLF – Semana 3.....   | 53 |
| Figura 5.2. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 0 a 3.....  | 53 |
| Figura 5.3. Mediciones – Liberación de nivelación de tubería con Supervisión, trabajos contributorios..... | 54 |
| Figura 5.4. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 0 a 4.....  | 55 |
| Figura 5.5. Uso de 2 cajones, largo del brazo de excav. llega sin dificultad.....                          | 56 |
| Figura 5.6. Diagrama de líneas de flujo – Semana 2 a 5.....  | 56 |
| Figura 5.7. Proyección de la semana 5.....   | 57 |
| Figura 5.8. Ciclo diario del proceso constructivo.....   | 58 |
| Figura 5.9. Leyenda DLF – Semana 7.....  | 59 |
| Figura 5.10. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 4 a 7.....   | 59 |
| Figura 5.11. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 8 a 11.....  | 60 |
| Figura 5.12. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 12 a 14.....                                       | 60 |
| Figura 6.1. Línea Balance promedio semanal – Semana 0 a 5.....   | 62 |
| Figura 6.2. Leyenda Diagrama Flujo Costo.....  | 67 |

## LISTA DE SIGLAS

|           |   |
|-----------|---|
| DLF       | Diagrama de Líneas de Flujo   |
| HD        | Hierro Dúctil   |
| DN        | Diámetro nominal  |
| N.T.      | Nivel de terreno  |
| WBS       | Work Breakdown Structure (Estructura de descomposición del trabajo) |
| MRP       | Material Resource Planning  |
| OBS       | Organizational Breakdown Structure                                  |
| JIT       | Just in Time  |
| CPM       | Critical Path Method  |
| LSM       | Linear Scheduling Method  |
| LOB       | Línea de Balance  |
| ENT MET   | Entibado metálico   |
| EXO       | Excavadora sobre orugas   |
| RET       | Retroexcavadora   |
| PL COMP   | Plancha compactadora  |
| Cap       | Capataz   |
| Op Equipo | Operador de equipo  |
| Op        | Operario  |
| Of        | Oficial   |
| Pe        | Peón  |
| Vg        | Vigía   |
| VOL       | Volquete capacidad 18 m3  |
| L.P.      | Límite de propiedad   |

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En los proyectos de construcción tipo lineales se tiene la necesidad de aplicar una metodología de planificación, la cual permita hacer el seguimiento correspondiente para tomar ciertas decisiones como optimizar los recursos, reducir el tiempo, entre otros. Más aún si es en proyectos con características particulares las cuales necesitan de un seguimiento continuo.

### 1.1. GENERALIDADES

En la construcción se sigue apreciando solo la conversión de materias primas o insumos en productos (transformación), no teniendo en cuenta los flujos o desplazamientos que tienen que recorrer los materiales, la mano de obra, y equipos. Es por eso que basándose en la filosofía Lean se debe dar una mayor importancia a los flujos para entender la producción en la construcción.

Por otro lado, el método de programación más utilizado en la industria de la construcción es el CPM (Método de la Ruta Crítica) y PERT (Técnica de Programación, Evaluación y Revisión). Pero estos métodos de programación no son capaces de modelar con precisión los proyectos repetitivos y lineales.<sup>1</sup> Esto incluye la incapacidad de proporcionar continuidad de trabajo para los recursos, planificar el gran número de actividades necesarias para representar un proyecto repetitivo o lineal, indicar las tasas de progreso, y reflejar con exactitud las condiciones reales. La consecuencia de esto es que ha habido muchos intentos de encontrar una técnica de programación efectiva para la construcción lineal.<sup>2</sup>

El método de programación basado en localización, o también conocido como método Línea de Balance (para proyectos repetitivos discretos), Diagrama Tiempo Locación, Método de Programación Lineal (para proyectos repetitivos lineales), Cadenas de Tiempo, Carta de Marcha, Diagrama Francés, Gráfico Tiempo Camino (conocido en proyectos lineales de carreteras), utiliza las ventajas de CPM

---

<sup>1</sup> Proyecto Lineal: De carácter continuo, pocas actividades y carácter repetitivo de las mismas, por ejemplo carreteras, tuberías, líneas de transmisión, etc.  
Proyecto Repetitivo: Producto final está constituido por un grupo de unidades iguales, por ejemplo edificios, urbanizaciones, etc.

<sup>2</sup> Jiang Aiyin, Cheng Bin, Flood Ian, Issa Raymond. Modified Linear Scheduling in Scheduling Multiple Utility Line Construction Project.

y PERT, y no los reemplaza; cabe mencionar que la construcción de unidades repetitivas puede ser considerada como la producción continua de muchas unidades que requieren de cierto tiempo para que cada una de ellas sea completada.

## **1.2. PROBLEMÁTICA**

A pesar de que se conoce la metodología de planificación basada en localización (llamado línea balance, diagrama tiempo locación, diagrama tiempo camino, etc.), no se aplica del todo en los proyectos lineales de saneamiento, optando solo por un Diagrama Gantt para el control y seguimiento de dichos proyectos. Al momento de ejecutar este tipo de obras (proyectos lineales de saneamiento), es necesario el uso de esta herramienta Lean para mejorar el planeamiento, seguimiento y control, de esta manera se pueda obtener mejoras y reducción de pérdidas en dichos proyectos.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo Principal**

- Implementar el método de diagrama de líneas de flujo en el planeamiento, seguimiento y control de obras, para proyectos tipo lineales con alguna característica distinto a lo tradicional (instalación de tuberías en excavaciones profundas con entibados deslizantes).

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

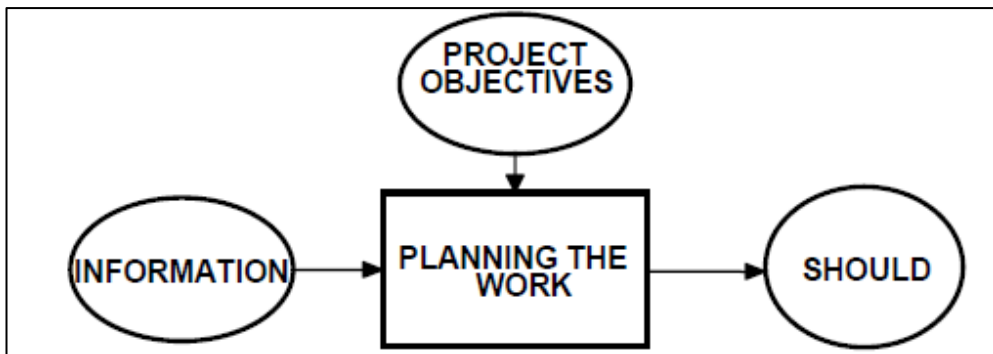
- Analizar los resultados de la metodología implementada para optimizar el proceso constructivo.
- Relacionar el diagrama de líneas de flujo con el control de costos (diagrama flujo costo) para tener un mejor seguimiento.
- Describir y mapear el proceso del entibado metálico tipo deslizante para zanjas profundas (profundidades de 10.00 m) en suelos arenosos.

## CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

Actualmente en la mayoría de proyectos se ve a la producción solo como la conversión de materias primas en productos, siendo su planificación vista solo como una transformación de entradas y salidas.

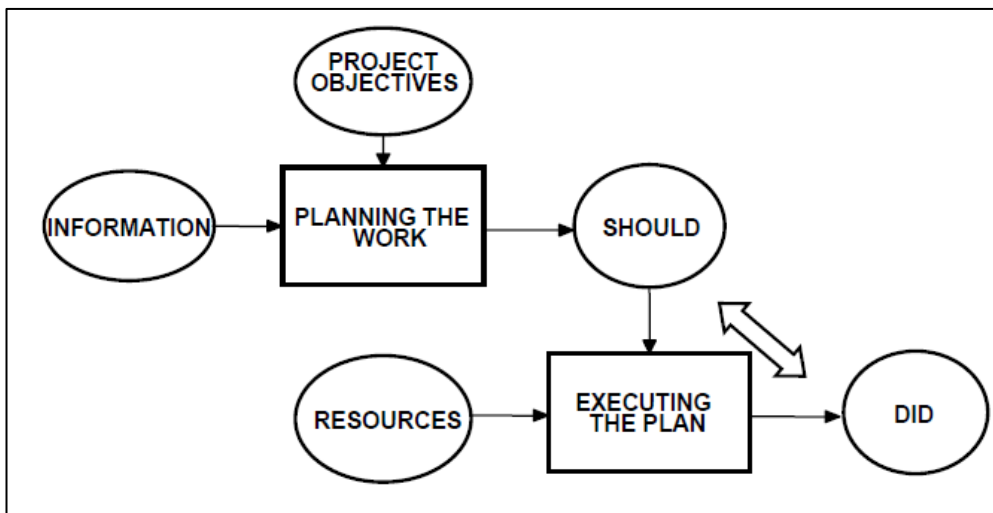
Figura 2.1. Plan del trabajo actual



Fuente: (Abdelhamid, 2008)

Al realizar el control de los proyectos se enfoca solo en lo que se debe hacer contra lo que se hizo, analizando los costos y variaciones de horario, planes de recuperación, monitoreo del progreso del trabajo (producción) y el rendimiento (productividad).

Figura 2.2. Control del trabajo actual



Fuente: (Abdelhamid, 2008)



Siendo lo anterior mencionado (Gestión de la construcción tradicional) insuficiente para un correcto seguimiento, el cual no permite obtener mejoras en general. Es por eso que la gestión de la construcción debe estar enfocada con los conceptos de Lean Construction.

## 2.2. LEAN CONSTRUCTION

Lean Construction es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto, una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructura. La gestión de la producción Lean ha provocado una revolución en el diseño, suministro y montaje del sector industrial. Aplicado a la gestión integral de proyectos, desde su diseño hasta su entrega, Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. Lean Construction se extiende desde los objetivos de un sistema de producción ajustada (maximizar el valor y minimizar los desperdicios) hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto; como resultado:

- La edificación o infraestructura y su entrega son diseñados juntos para mostrar y apoyar mejor los propósitos de los clientes.
- El trabajo se estructura en todo el proceso para maximizar el valor y reducir los desperdicios a nivel de ejecución de los proyectos.
- Los esfuerzos para gestionar y mejorar, están destinados a mejorar el rendimiento total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costos o el aumento de la velocidad de ninguna actividad aislada.
- El Control se redefine como pasar de “monitorear los resultados” a “hacer que las cosas sucedan”. Los rendimientos de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoran.
- La notificación fiable del trabajo entre especialistas en diseño, suministro y montaje o ejecución asegura que se entregue valor al cliente y se reduzcan los desperdicios. Lean Construction es especialmente útil en proyectos complejos, inciertos y de alta velocidad.<sup>3</sup>

### 2.2.1. Teoría de Producción

---

<sup>3</sup> Pons A. Juan Felipe (2014). Introducción a Lean Construction. Fundación Laboral de la Construcción, Madrid.

Como se mencionó anteriormente la producción actualmente es vista solo como transformación, y la explicación fundamental de la naturaleza de la producción de la construcción es la teoría de la Transformación – Flujo – Valor (TFV) (Koskela 2000), dicha teoría explica muy bien la naturaleza de la construcción.

#### **Vista de Transformación:**

- Concepto: Convertir / transformar entradas en salidas.
- Principios: Lograr la producción de manera eficiente; descomponer la tarea de producción, y minimizar los costos de todas las tareas descompuestas.
- Métodos: WBS, MRP, OBS.
- Contribución práctica: Prestar atención a lo que se tiene que hacer.
- Esencialmente una filosofía de "Gestión de Tareas".

#### **Vista de Flujo:**

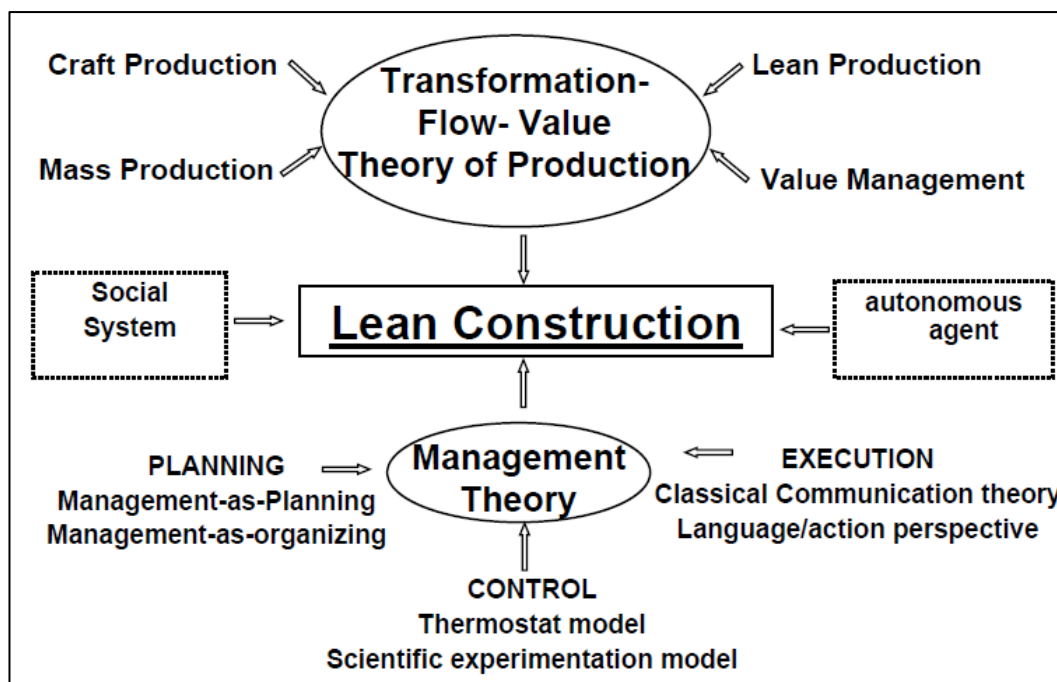
- Concepto: El flujo de material se compone de transformación, inspección, movimiento y esperas.
- Principios: Eliminación del desperdicio (actividades sin valor agregado), comprimiendo los plazos de entrega, reduciendo la variabilidad, mayor transparencia y flexibilidad.
- Métodos: Flujo continuo, control de producción pull, JIT, mejora continua.
- Contribución práctica: Prestar atención para hacer lo menos posible aquello que es innecesario.
- Esencialmente una filosofía de "Gestión de Flujos".

#### **Vista de Generación de Valor:**

- Concepto: La producción cumple con los requisitos de un cliente, creación y entrega de valor.
- Principios: Eliminación de la pérdida de valor (alcanzar valor en relación con el mejor valor posible).
- Métodos: Métodos para captura de requerimientos, despliegue de la función de calidad.

- Contribución práctica: Prestar atención en que los requerimientos del cliente sean satisfechos de la mejor manera posible.
- Esencialmente una filosofía de “Gestión de Valor”.<sup>4</sup>

Figura 2.3. Lean Construction



Fuente: (Abdelhamid, 2008)

Como se describió anteriormente la Teoría de Producción Transformación – Flujo – Valor agrupa los tres aspectos de la producción a nivel operativo aportando las vistas mencionadas a Lean Construction. Lo que se busca es una gestión diferente (planificación, ejecución y control).

## 2.2.2. Herramientas y métodos de Lean Construction

<sup>4</sup> Abdelhamid, Tariq (2008). Lean Construction Principles and Methods. Michigan State University, EE.UU.

Existen varias herramientas y/o métodos de Lean Construction que buscan mejorar la forma en que se lleva a cabo la actividad laboral, eliminando el desperdicio del proceso. La mejora de las operaciones tiene como objetivo reducir el tiempo del ciclo para completar la actividad laboral, mejorar la productividad, garantizar la calidad correcta por primera vez y apoyar el trabajo seguro, cubriendo lo siguiente:

- Identificación y eliminación de factores que impiden la finalización efectiva y eficiente del trabajo.
- Seguimiento, análisis y mejora del rendimiento.
- Optimización de la forma en que se realiza el trabajo, cubriendo la configuración, organización, operación del ambiente de trabajo, los métodos utilizados, y uso efectivo de todos las formas de recursos (mano de obra, materiales, herramientas, equipos).<sup>5</sup>

A continuación se visualiza (Tabla 2.1.) las distintas herramientas Lean aplicadas en cada fase de un proyecto.

---

<sup>5</sup> O'Connor Richard (2013). Implementing Lean in Construction: Lean tools and techniques - an introduction. CIRIA, London.

Tabla 2.1. Herramientas Lean Construction

| Lean tool/activity                                     | Tool type  |             | Project phase |        |              |              |
|--|------------|-------------|---------------|--------|--------------|--------------|
|  | Diagnostic | Improvement | Feasibility   | Design | Mobilisation | Construction |
| 'Go See'   |            |             |               | **     | **           | **           |
| Current state value stream mapping/<br>process mapping |            |             | *             | **     | **           | **           |
| Activity sampling                                      |            |             |               | **     | **           | **           |
| Production loss analysis                               |            |             | *             | **     | **           | **           |
| Eight waste analysis                                   |            |             | *             | **     | **           | **           |
| The seven quality tools                                |            |             |               | **     | **           | **           |
| Day in life of (DILo)                                  |            |             |               | *      | *            | **           |
| Constraint analysis                                    |            |             | *             | **     | **           | **           |
| Quality benchmarking                                   |            |             |               | **     | *            | **           |
| Hoshin Kanri   |            |             | **            | **     | **           | **           |
| Future state value stream mapping/<br>process mapping  |            |             | **            | **     |              |              |
| Value management/value engineering                     |            |             | *             | **     |              |              |
| Failure Mode Effect Analysis (FMEA)                    |            |             | *             | **     |              |              |
| Design for Manufacture and Assembly<br>(DfMA)          |            |             | *             | **     | *            |              |
| Design standardisation                                 |            |             | *             | **     |              |              |
| Process design (SIPOC)                                 |            |             | **            | **     | **           | *            |
| Gateway planning                                       |            |             | **            | **     | **           |              |
| Plan-to-protect  |            |             |               | **     | **           | **           |
| Lean collaboration planning and project<br>management  |            |             | *             | **     | **           | **           |
| Theory of constraints                                  |            |             |               | **     | **           | **           |
| First run studies/direct observation of work           |            |             |               |        | *            | **           |
| 5S workplace organisation                              |            |             |               | *      | **           | **           |
| Visual management                                      |            |             | *             | **     | **           | **           |
| Standard operations                                    |            |             |               | *      | *            | **           |
| Quick changeover                                       |            |             |               |        | *            | **           |
| Structured problem solving                             |            |             | *             | **     | **           | **           |
| Line balance/even flow                                 |            |             |               | *      | *            | **           |
| Lean logistics   |            |             |               |        | **           | **           |
| Plan-Do-Check-Act (PDCA)                               |            |             | *             | **     | **           | **           |

Fuente: (O'Connor Richard, 2013)

Del cuadro anterior se tiene la herramienta de Líneas de Balance o Flujo uniforme (fase Construcción). Líneas de Balance busca equilibrar el tiempo que toman las diferentes operaciones para completar sus tareas de trabajo, con un ritmo definido. Es particularmente aplicable a actividades de construcción repetibles y ayuda a lograr un mejor flujo y productividad en el trabajo.<sup>6</sup> Esta herramienta

### 2.3. PROGRAMACIÓN BASADO EN LOCALIZACIÓN

El método de programación más común utilizado en la industria de la construcción es el gráfico de Gantt (gráfico de barras) y el método de ruta crítica (CPM). El diagrama de Gantt (gráfico de barras) ha ganado amplia aceptación y popularidad debido a su simplicidad y facilidad de preparación y comprensión. No hay "teoría" o cálculos complicados involucrados. La red de CPM puede mostrar las dependencias lógicas de las actividades y estimar y predecir la fecha de finalización de un proyecto basándose en cálculos matemáticos. Pero tanto el diagrama de Gantt como el CPM no pueden modelar con precisión la naturaleza repetitiva de la construcción lineal. Esto incluye la incapacidad de CPM para proporcionar continuidad de trabajo para cuadrillas o recursos, para planificar la gran cantidad de actividades necesarias para representar un proyecto lineal o repetitivo, y la incapacidad del gráfico de Gantt (gráfico de barras) y CPM para indicar tasas de progreso, y para reflejar con precisión las condiciones reales. La consecuencia de esto es que ha habido muchos intentos de encontrar una técnica de programación efectiva para la construcción lineal. La programación basada en localización, Línea de Balance (LOB), el método de producción vertical (VPM), el modelado de proyecto repetitivo (RPM), el método de programación lineal (LSM), el método de programación repetitiva (RSM). Todos estos conceptos y métodos son las variaciones de la programación basada en localización.

---

<sup>6</sup> O'Connor Richard (2013). Implementing Lean in Construction: Lean tools and techniques - an introduction. CIRIA, London.

**Tabla 2.2. Comparación de Diagrama de Barras con método lineal (programación basado en localización)**

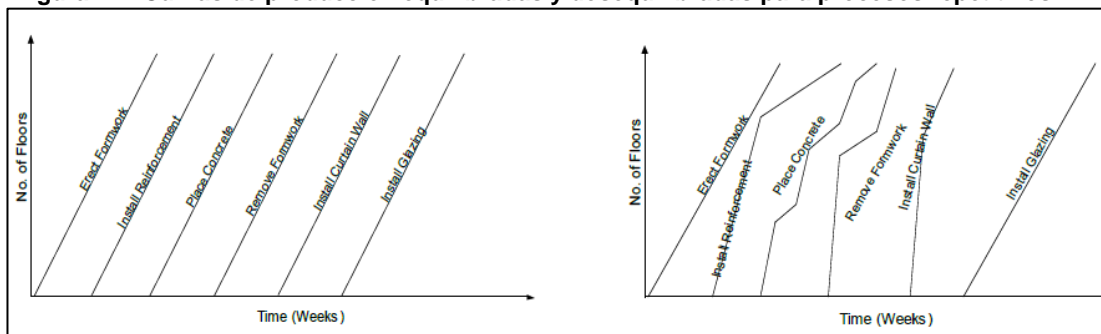
|                                    | Linked Bar Chart                                | Linear Schedule Method                                |
|------------------------------------|---|---|
| Time-based chart                   | √   | √   |
| Space-based chart                  | -   | √   |
| Time buffer                        | -   | √   |
| Space buffer                       | -   | √   |
| Identification of project progress | Sort of. Without identifying the exact location | √   |
| Production rate                    | -   | √   |
| Flow of Labor                      | -   | Different production rates indicate the flow of labor |
| Space Conflicts                    | -   | -   |

Fuente: (Jiang Aiyin, Cheng Bin, Flood Ian, Issa Raymond, 2006).

Los proyectos de construcción lineal a menudo consisten en procesos repetitivos que tienen diferentes tasas de producción. Este fenómeno de desequilibrio en la tasa de producción tiene el potencial de tener un impacto negativo en el rendimiento del proyecto al provocar paros laborales, una utilización ineficiente de los recursos asignados, y los costos excesivos. El desequilibrio en la tasa de producción se produce cuando las curvas de producción de los procesos principales se intersectan con las curvas del proceso siguiente debido a las diferentes tasas de producción y el retraso insuficiente entre los tiempos de inicio de los procesos.

El principal beneficio de la programación basada en localización es que proporciona información sobre la tasa de producción y la duración en forma de un formato gráfico de fácil interpretación, poniendo énfasis en la planificación de la productividad.

**Figura 2.4. Curvas de producción equilibradas y desequilibradas para procesos repetitivos**



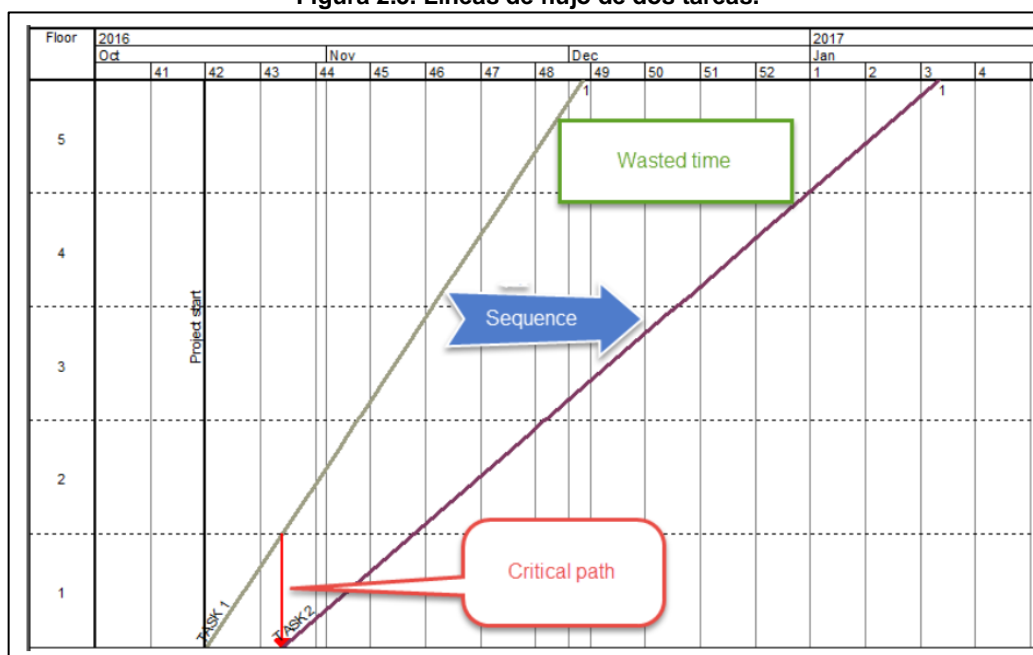
Fuente: (Jiang Aiyin, Cheng Bin, Flood Ian, Issa Raymond, 2006).

### 2.3.1. Visualización de líneas de flujo

Las cantidades determinan los lugares donde se ubica cada tarea y la duración de estas mismas, esta información se puede utilizar para trazar la línea de flujo de una tarea. En una figura de línea de flujo, cada tarea se muestra como una línea diagonal, la pendiente de la línea significa la tasa de producción de la tarea.

Suponiendo que el factor de dificultad de cada ubicación es el mismo, la pendiente de la línea de flujo refleja la variación de cantidad entre ubicaciones, cuando se muestran múltiples líneas de flujo juntas, la secuencia de trabajo se puede leer horizontalmente, las oportunidades de optimización y el tiempo perdido se pueden ver en el diagrama al observar las áreas vacías entre las tareas.<sup>7</sup>

Figura 2.5. Líneas de flujo de dos tareas.



Fuente: (Seppänen Olli, 2005).

Dentro de la fase de ejecución es necesario el control de la producción, es en donde al planificar con el método basado en localización se puede obtener un mejor control con la visualización de las líneas de flujo, buscando el flujo uniforme o balanceado (línea de balance).

<sup>7</sup> Seppänen Olli (2005). *Location – Based Management System*. Proceedings IGLC-13, July 2005, Sydney, Australia.



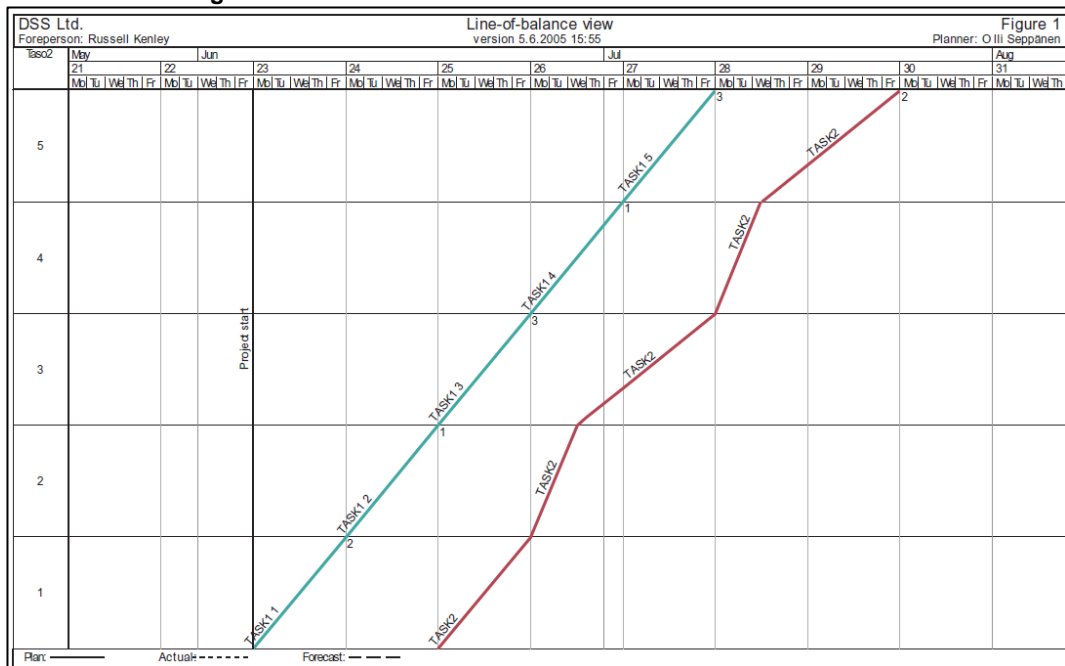
Los diagramas de líneas de flujo para un proyecto de construcción lineal se pueden construir fácilmente, puede mostrar de un vistazo lo que está mal con el progreso del proyecto y permite detectar posibles cuellos de botella futuros. Aunque la programación basada en localización se puede utilizar para ayudar en la planificación y el control de cualquier tipo de proyecto, es más adecuado para la aplicación en proyectos repetitivos en lugar de proyectos no repetitivos.

El principal beneficio de usar cantidades basadas en la ubicación es poder planificar el flujo de trabajo continuo con un uso uniforme o equilibrado de los recursos y mano de obra directa. Simplemente dibujar líneas de tareas con pendientes paralelas no es suficiente, porque requiere la suposición implícita de que las cantidades son las mismas en cada ubicación o que los recursos se agregan o disminuyen dependiendo de la demanda en cada ubicación (este es un error común cometido por aquellos quienes consideran que la programación lineal es simplista). Esta suposición es peligrosa porque puede dañar los beneficios potenciales de la gestión de producción de la línea de flujo con las necesidades de recursos fluctuantes resultantes e inesperadas.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Seppänen, Olli y Kenley, Russell (2005). *Performance Measurement Using Location – Based Status Data*. Proceedings IGLC-13, July 2005, Sydney, Australia

Figura 2.6. Cantidades variables de acuerdo a la localización



Fuente: (Seppänen Olli y Kenley Russell, 2005).

Con la medición del rendimiento basada en la ubicación, es fácil estimar si la tasa de producción debe ajustarse aumentando o disminuyendo los recursos.

## 2.4. ENTIBADOS

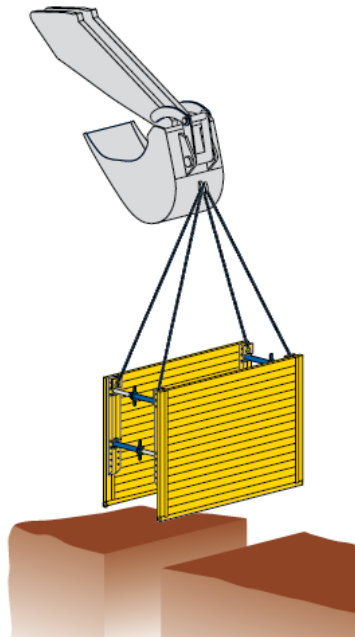
En el mercado existen distintas marcas y proveedores, pero se tienen ciertos tipos de entibados para todos, los cuales se describen a continuación:

### 2.4.1. Entibación descenso directo

Sólo es posible cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Suelo cohesivo.
- Ausencia de edificaciones próximas a la zona de trabajo.
- Ausencia de tráfico próximo y condiciones peligrosas.
- Pueden aceptarse asentamientos.

**Figura 2.7. Instalación de cajón (descenso directo)**

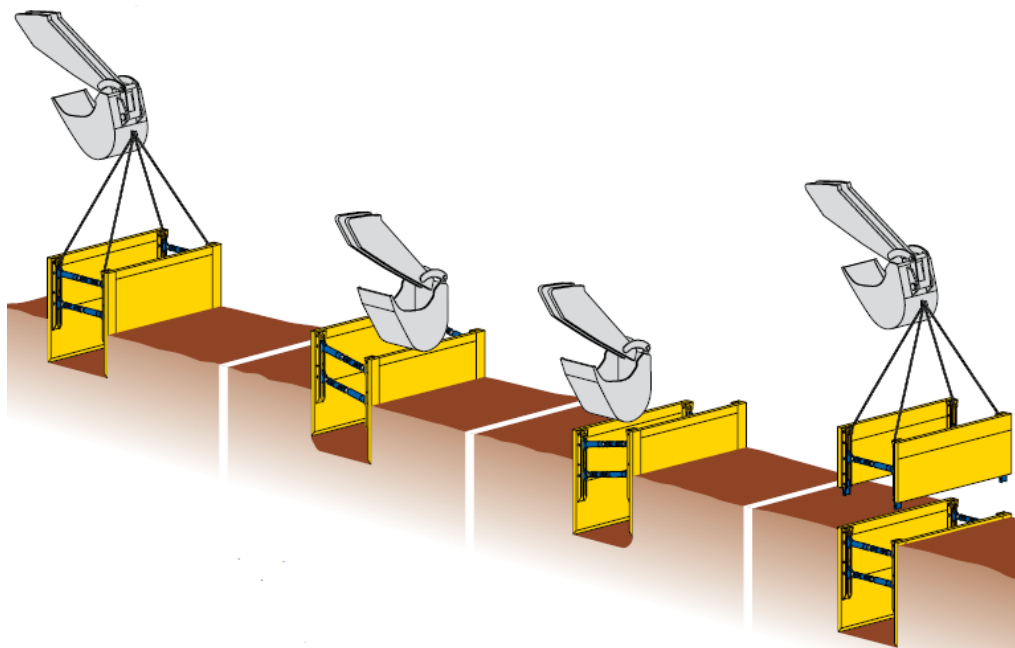


Fuente: (SBH Tiefbautechnik).

#### **2.4.2. Entibación descenso escalonado**

En suelos no cohesivos, presionando alternadamente ambas caras de la entibación.

**Figura 2.8. Instalación de cajón (descenso escalonado)**

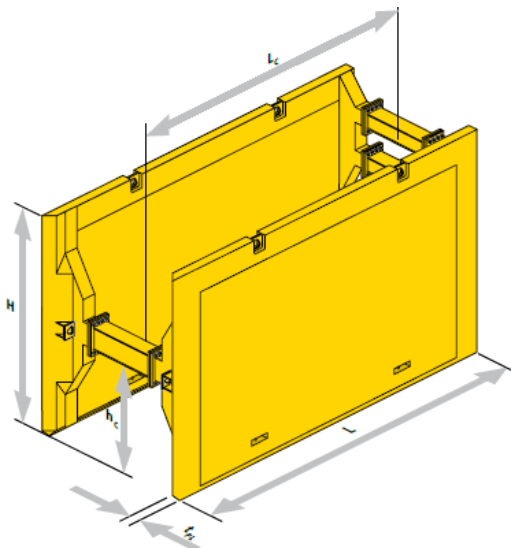


Fuente: (SBH Tiefbautechnik).

### 2.4.3. Entibación cajones especiales

Estos son rígidos y se usan en campo abierto o despejado para alguna estructura especial.

Figura 2.9. Cajón especial

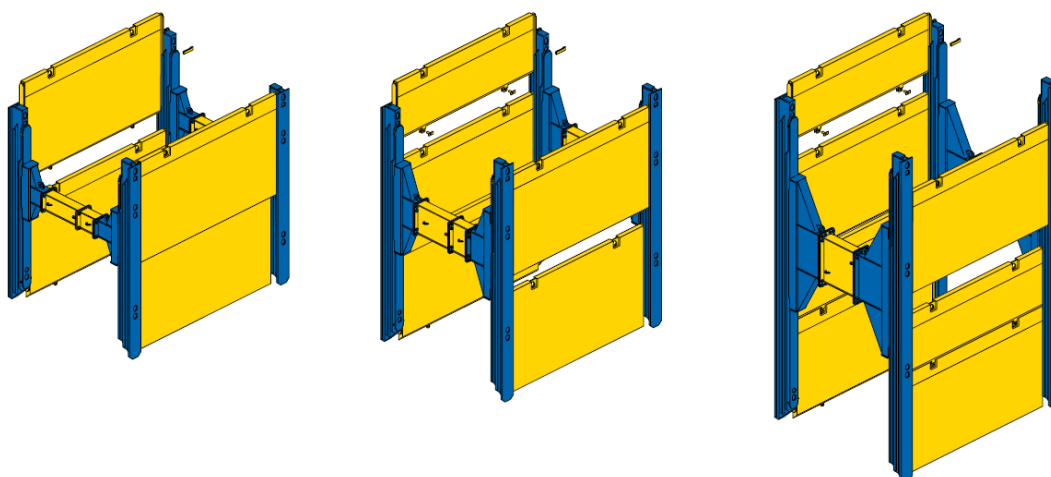


Fuente: (SBH Tiefbautechnik).

### 2.4.4. Entibación con paneles deslizantes

Para profundidades considerables, cuenta con pórticos con rieles en los cuales se deslizan los paneles.

Figura 2.10. Entibados deslizantes



Fuente: (SBH Tiefbautechnik)

Los tipos de entibados mencionados anteriormente, son los comunes en el mercado, existiendo otros sistemas de entibación, ver anexo N°3.

## CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo que se estudió para el presente trabajo de suficiencia profesional es la Instalación de tuberías de alcantarillado en los tramos profundos (profundidad 10.00 m) del Colector Pachacutec.

A continuación se describirá los datos generales, alcance global de todo el proyecto y el proceso constructivo a estudiar (alcance específico).

### 3.1. ENUNCIADO DEL ALCANCE DEL PROYECTO

#### 3.1.1. Datos Generales

- **Nombre del Proyecto:** AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACUTEC – ETAPA I
- **Ubicación:** VENTANILLA – CALLAO
- **Cliente:** SEDAPAL
- **Proyectista:** INNCIVE
- **Supervisor:** TYPASA – A&A
- **Contratista:** CONSORCIO SADE COSAPI
- **Presupuesto:** s/. 333,973,720.16
- **Plazo contractual:** 540 días

#### 3.1.2. Alcance Global del Proyecto

- **Línea Refuerzo Chillón:** 12.68 km tubería HD DN 200 – 1000 mm.
- **Líneas de Agua Potable:** 26.40 km tubería HD DN 80 – 450 mm.
- **Líneas de Alcantarillado:** 6.50 km tubería HDPE DN 150 – 900 mm, 21.09 km tubería PVC DN 200 – 355 mm.
- **Equipamiento Hidráulico y Electromecánico:** 25 estructuras a equipar.
- **Obras Civiles:** 07 Reservorios proyectados, 04 Cámaras de bombeo de desagüe, 01 Cisterna proyectada, 01 Ampliación de cisterna existente, 03 Pozos (cercos perimétricos).
- **Redes y Conexiones de Alcantarillado:** 323.74 km tubería PVC DN 110 – 250 mm, 30828 conexiones domiciliarias.

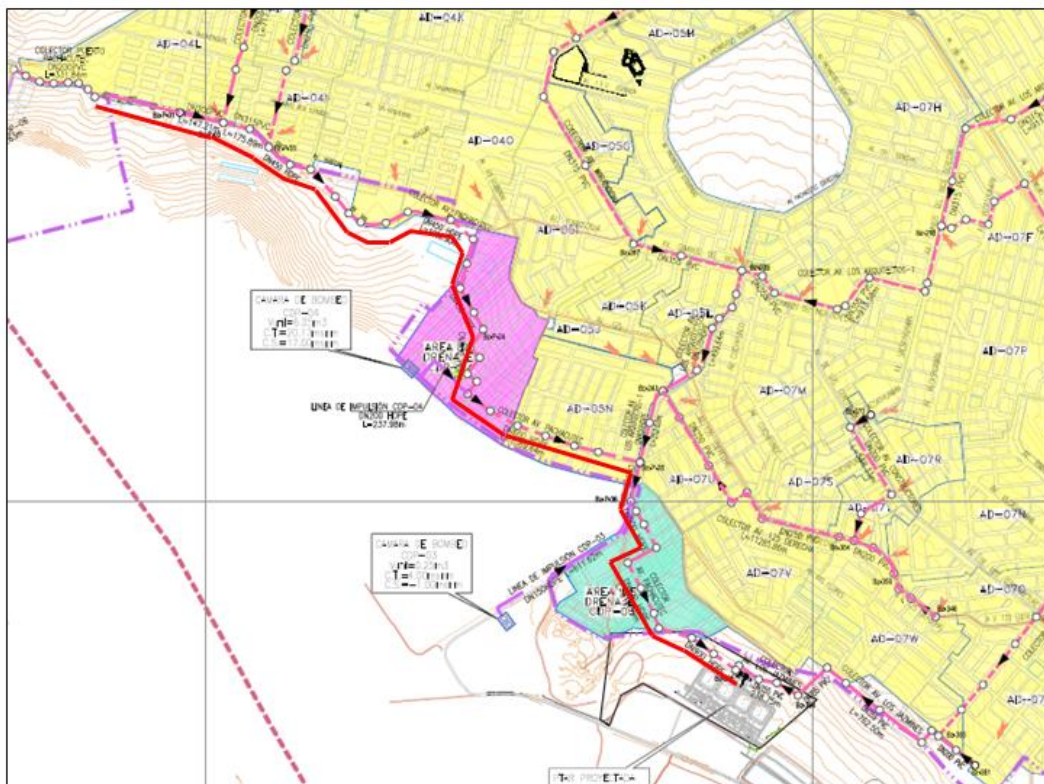
- **Redes y Conexiones de Agua Potable:** 280.90 km tubería PVC DN 90 – 250 mm, 30828 conexiones domiciliarias.

Ver anexos N°1 y N°2 (layout general), el proceso constructivo a estudiar en el presente trabajo de suficiencia se encuentra dentro del alcance de “Líneas de Alcantarillado”.

### 3.1.3. Alcance específico a estudiar

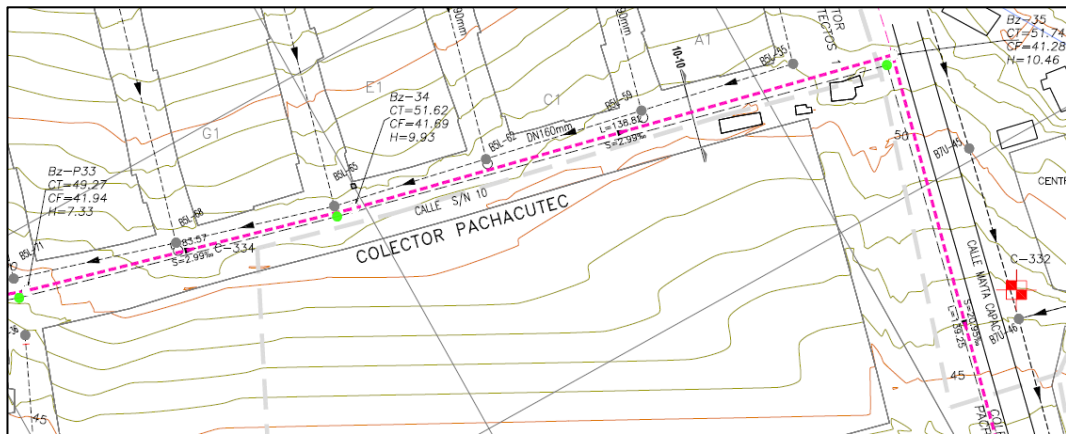
Dentro de las líneas de Alcantarillado (27.59 km de tuberías principales) se tiene el colector Pachacutec, que transporta todas las aguas servidas de la ciudad de Pachacutec descargando en la planta de tratamiento de aguas residuales, dicho colector tiene 3.27 km (ver figura 3.1), y por temas de topografía presenta tramos profundos (profundidad 10.00 m), los cuales por tratarse de tener características distinto a lo tradicional (profundidad y condiciones a ser mencionadas más adelante) se analizó de una manera distinta, el cual dicho procedimiento constructivo será estudiado y analizado en el presente informe de trabajo de suficiencia profesional.

Figura 3.1. Recorrido del Colector Pachacutec



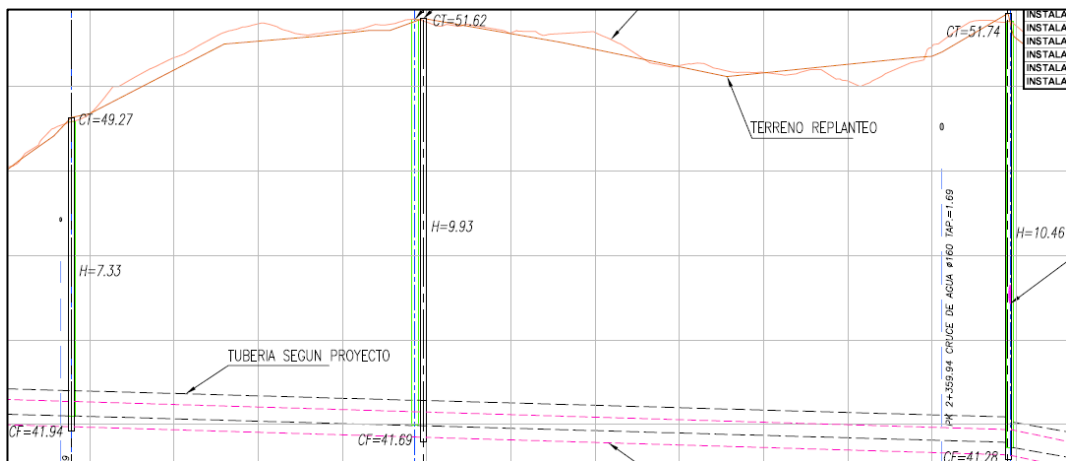
Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.2. Tramo profundo Colector Pachacutec – Vista en planta**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.3. Tramo profundo Colector Pachacutec – Vista en perfil**



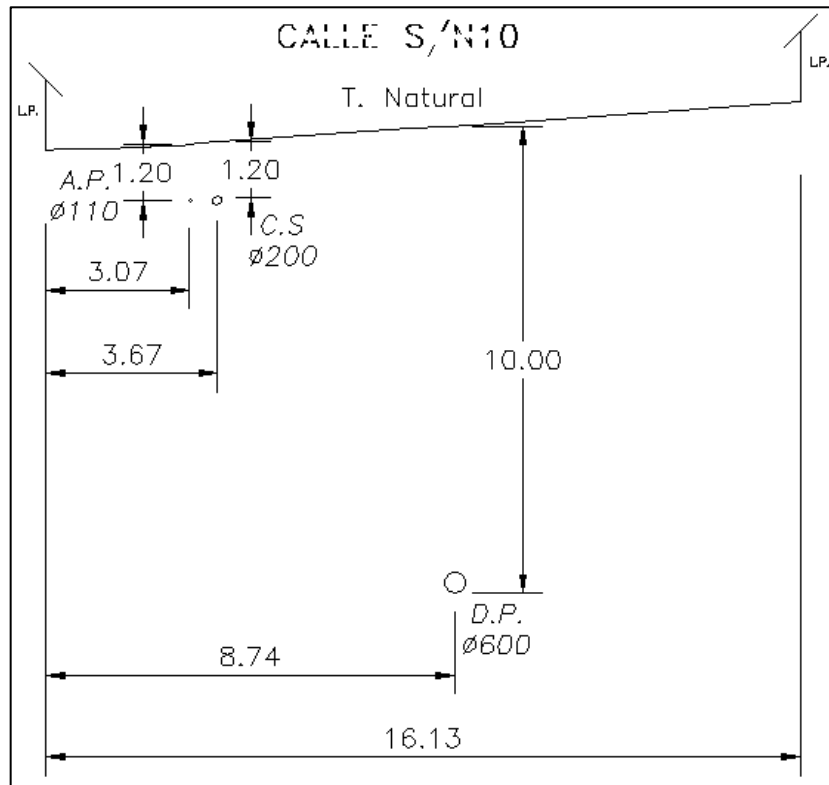
Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

### 3.2. CONSIDERACIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO

Los tramos profundos (ver figura 3.2.) se encuentran en calles no amplias, teniendo como topes los límites de propiedad de las viviendas (ver figura N° 3.4.). Esto sumado a que el tipo de terreno es arenoso, resulto buscar un método de excavación que no esté muy pegado a los límites de propiedad de las viviendas aledañas.

Por la profundidad presente, fue necesario el cierre total de la vía para poder realizar los trabajos correspondientes, resultando un impacto social sobre los pobladores de la zona.

Figura 3.4. Sección transversal de tramo profundo de Colector Pachacutec



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

A continuación se describen las principales consideraciones que se tuvo en cuenta para poder definir el proceso constructivo.

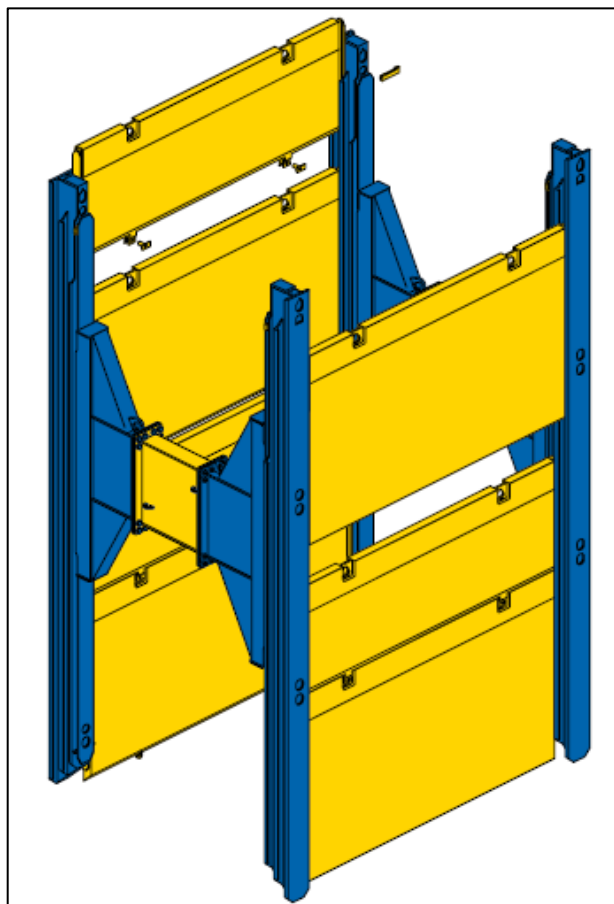
- Profundidad de 10.00 m.
- Suelo arenoso.
- Plan de desvío, cierre total de la vía.
- Pasos peatonales y delimitación mediante malla raschel o arpillera, dando todas las facilidades posibles a los pobladores cercanos a la zona de trabajo.



### 3.3. ELECCIÓN DEL SISTEMA DE ENTIBACIÓN

De acuerdo a lo antes mencionado se escogió el sistema de “Entibación con paneles deslizantes (doble carril)”, (ver Anexo N°3), siendo el más conveniente para las características y consideraciones ya mencionadas.

Figura 3.5. Modelo Double Slide Rail RS Series 750



Fuente: (SBH Tiefbautechnik)

El sistema de entibación escogido, según se describe en el capítulo II y en el Anexo N°3 solo tiene una profundidad de 6.00 a 7.00 m, es por eso que la excavación inicial fue una banqueta para poder llegar a la profundidad requerida, de tratarse de un tipo de suelo arenoso fue necesario el uso de arrocera<sup>9</sup> (pozos llenos de agua) con el fin de obtener que el comportamiento del suelo sea más trabajable y permita realizar los trabajos correspondientes.

<sup>9</sup> Arrocera: Excavaciones previas a los trabajos a realizar que son empozados de agua para que el terreno gane humedad y sea más trabajable.

### 3.4. RECURSOS A EMPLEAR

Definido el sistema de entibación, conociendo sus dimensiones y peso, se partió por iniciar con lo siguiente:

#### **Equipos:**

- Excavadora sobre orugas (30 ton)
- Entibados metálicos (deslizantes)
- Camión grúa
- Retroexcavadora
- Plancha compactadora
- Volquetes

#### **Mano de Obra:**

- Mano de obra calificada
- Operadores de equipo
- Peones y vigías

#### **Materiales:**

- Combustible para los equipos
- Agua potable
- Arena de Cama (Arena gruesa como base y primer recubrimiento para tubería, según especificaciones técnicas)
- Tubería

### 3.5. ACTIVIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo pasó por varias etapas a lo largo del tiempo, el cual está descrito en los capítulos posteriores (seguimiento semanal), en donde las actividades fueron analizadas en el diagrama de líneas de flujo.

Las actividades del proceso constructivo “Instalación de red de alcantarillado profundo con entibados deslizantes” son las siguientes:

- Mejoramiento de terreno (preparación de arrocetas antes de empezar con la excavación)
- Excavación de banqueta (hasta nivel N.T. – 4.50 m)
- Instalación de entibado y excavación (dentro del entibado)
- Instalación de tubería
- Retiro de entibado
- Relleno de zanja

A continuación se describe cada una de las actividades:

#### 3.5.1. Mejoramiento de terreno

De acuerdo al tipo de terreno presente es necesario realizar las arrocetas con un día de anticipación, tal cual se explica en el Anexo N°4 “Procedimiento de trabajo realizado por el Área de Suelos y pavimentos”, esto con la finalidad de poder excavar en un terreno con mayor cohesión, tanto para la zona de banqueta (desde el N.T. hasta el N.T. - 4.50 m) como para la zona donde se instala el entibado (desde N.T. - 4.50 m hasta el fondo de excavación).

**Figura 3.6. Mejoramiento de terreno a N.T.**



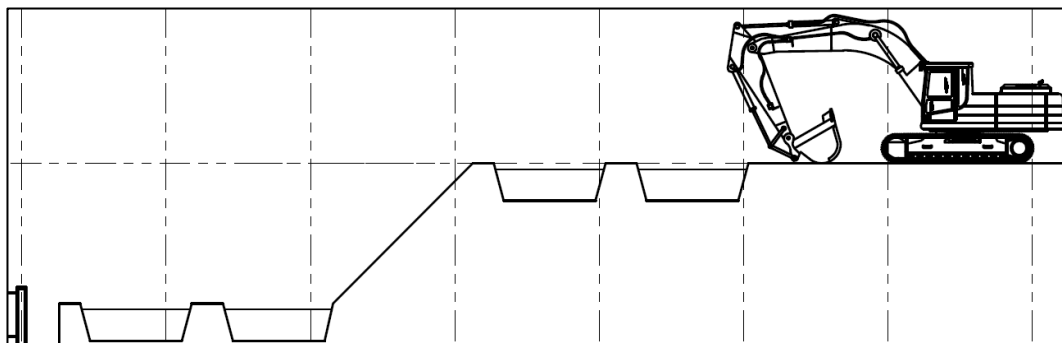
Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.7. Mejoramiento de terreno (N.T. - 4.50 m)**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.8. Perfil de excavación – Mejoramiento de terreno**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

### 3.5.2. Excavación de banqueteta (N.T. – 4.50 m)

De acuerdo al sistema de entibación escogido y la profundidad total, fue necesario realizar una banqueteta, con el terreno húmedo, habiéndose realizado un día anterior la arrocera respectiva a dicho nivel.

Figura 3.9. Excavación de banqueteta (hasta N.T. - 4.50 m)



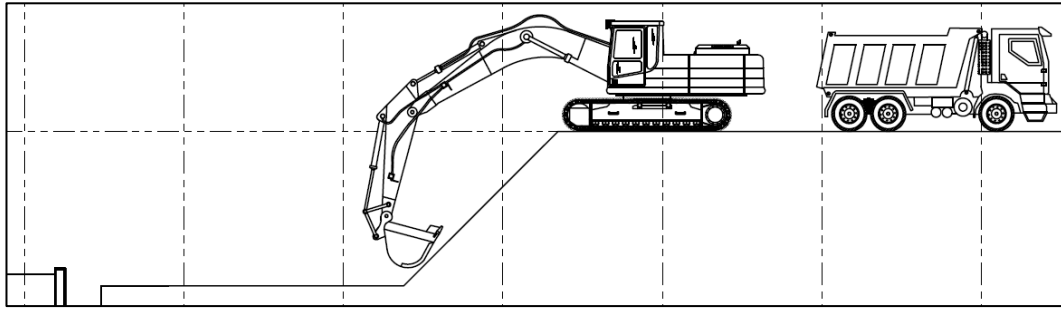
Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

Figura 3.10. Carguío a volquete, material de zona de banqueteta (hasta N.T. - 4.50 m)



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.11. Perfil de excavación – Excavación de banqueteta (N.T. - 4.50 m)**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

### 3.5.3. Instalación de entibado y excavación

Una vez realizado la banqueteta, la excavadora pasa al nivel N.T. - 4.50 m con los pórticos y paneles, y empieza a instalar los cajones para que posteriormente se excave dentro de ellos, cabe precisar que también se hacen arroceras con un día de anticipación sobre el nivel N.T. - 4.50 m, tal cual se indica en el ítem 3.5.1.

**Figura 3.12. Instalación del primer cajón**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I



**Figura 3.13. Instalación del segundo cajón**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.14. Excavación dentro de los cajones instalados**



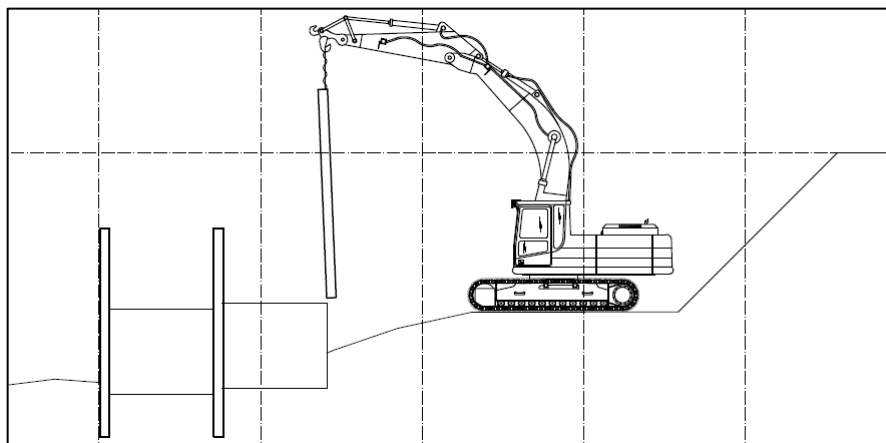
Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.15. Instalación de paneles sobre pórticos instalados**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.16. Perfil de excavación – Instalación de entibado**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

#### **3.5.4. Instalación de tubería**

Con el entibado ya instalado, se coloca una capa de 10 cm de arena de cama, apisonada manualmente, se instala la tubería la cual será nivelada topográficamente, una vez se valide la nivelación se procede a rellenar con material sobre la tubería.

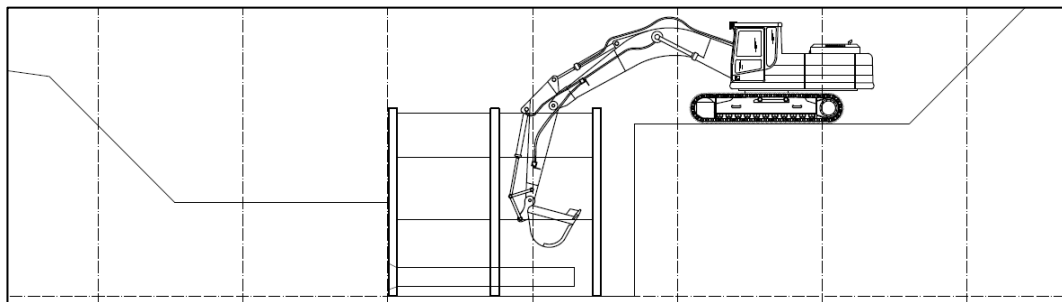


**Figura 3.17. Instalación de tubería**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.18. Perfil de excavación – Instalación de tubería**

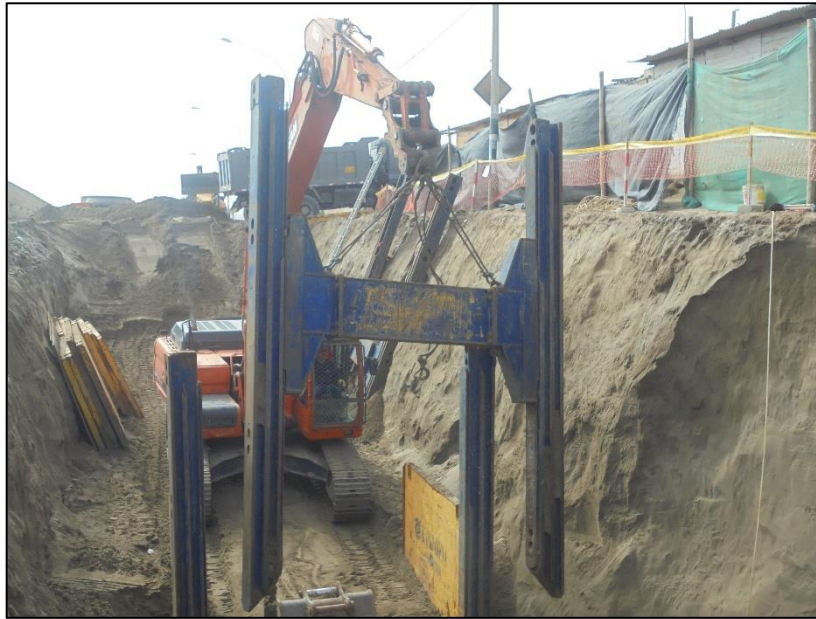


Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

### 3.5.5. Retiro de entibado

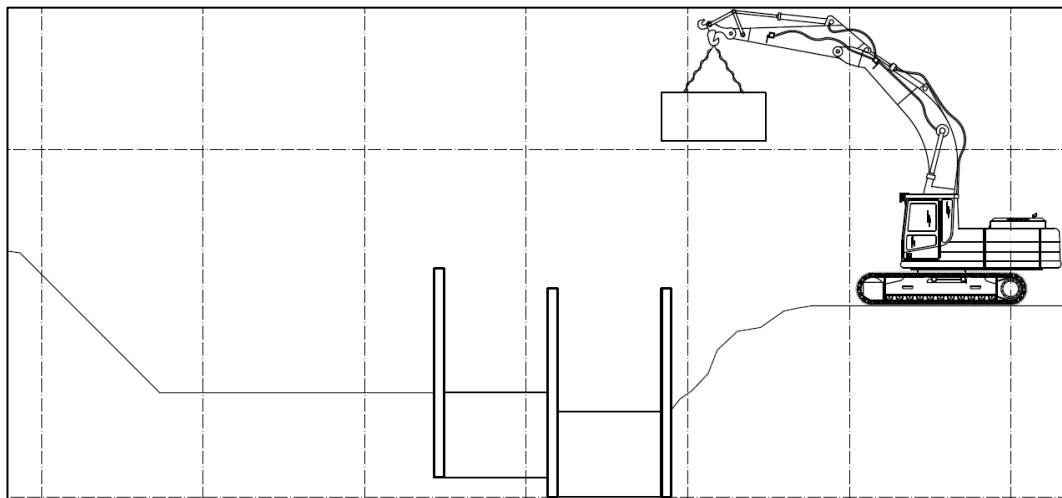
Una vez terminada la actividad anterior se procede a retirar los paneles y pórticos progresivamente, posterior a esto se repite los procesos desde la primera actividad mencionada.

**Figura 3.19. Retiro de pórticos**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.20. Perfil de excavación – Retiro de paneles**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

### 3.5.6. Relleno de zanja

El proceso de mejoramiento de terreno, excavación de banqueta, instalación de entibado excavación, instalación de tubería y retiro de entibado se realizan prácticamente en serie, mientras que la actividad de relleno de zanja viene atrás completando el tapado de la zanja.

**Figura 3.21. Relleno de zanja**



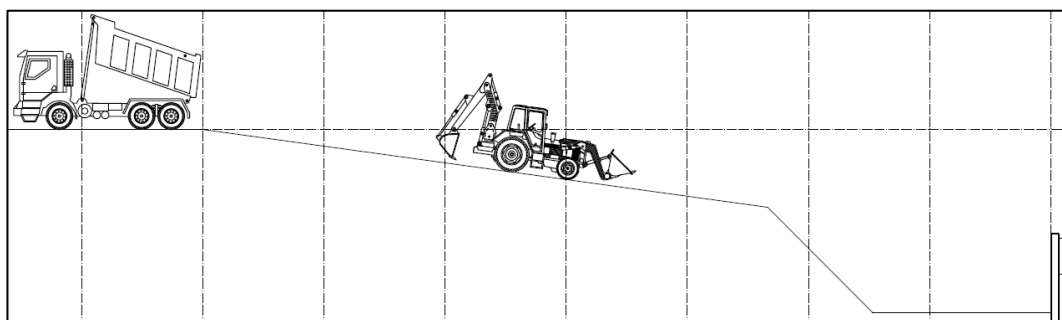
Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.22. Relleno y compactación de zanja**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 3.23. Perfil de excavación – Relleno de zanja**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

## CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DE LA METODOLÓGIA DE "DIAGRAMA DE LÍNEAS DE FLUJO" (DLF)

El proceso constructivo descrito fue un trabajo crítico por las consideraciones y características del entorno, a su vez fue un proceso nuevo distinto a lo tradicional (entibado distinto al usado en el proyecto, profundidad hasta 3.00 m). En todo lo mencionado se necesitó hacer un seguimiento continuo a todo el proceso constructivo, para poder cumplir con las fechas y optimizar dicho proceso.

De tratarse de un proyecto lineal repetitivo se empleó el uso de la programación basada en localización representada por el diagrama de líneas de flujo.

### 4.1. LÍNEA BASE (INFORMACIÓN DEL EXPEDIENTE TÉCNICO)

El expediente técnico no describía el procedimiento a emplearse, como información propia del Expediente Técnico se tiene el presupuesto (ver Tabla 4.1.) y los análisis de precios unitarios.

**Tabla 4.1. Presupuesto de las partidas relacionadas a los tramos profundos**

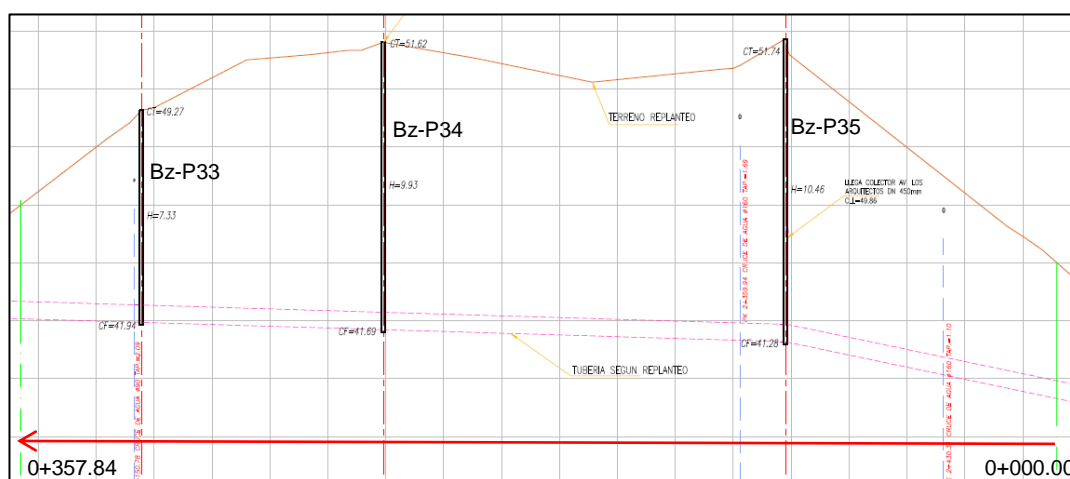
| ÍTEM            | DESCRIPCIÓN   | UND. | METRADO | PRECIO UNITARIO | PRECIO PARCIAL    |
|-----------------|---|------|---------|-----------------|-------------------|
| <b>03.51</b>    | <b>COLECTOR PROYECTADO PACHACUTEC DN 600MM</b>  |      |         |                 | <b>754,752.54</b> |
| <b>03.51.01</b> | <b>SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA</b>  |      |         |                 |                   |
| 03.51.01.02     | INSTALACION TUB. POLIETILENO HDPE CORRUGADA DN 600 INCLUYE PRUEBA HIDRAULICA            | m    | 357.84  | 41.78           | 14,950.56         |
| <b>03.51.02</b> | <b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>  |      |         |                 |                   |
| 03.51.02.06     | EXCAVACION ZANJA (MAQ) P/TUB. T-NORMAL DN 500-600 DE 6,01 M A 7,00 M PROF.              | m    | 41.73   | 836.90          | 34,923.84         |
| 03.51.02.07     | EXCAVACION ZANJA (MAQ) P/TUB. T-NORMAL DN 500-600 DE 7,01 M A 8,00 M PROF.              | m    | 93.72   | 987.10          | 92,511.01         |
| 03.51.02.08     | EXCAVACION ZANJA (MAQ) P/TUB. T-NORMAL DN 500-600 DE 8,01 M A 9,00 M PROF.              | m    | 83.57   | 1,137.29        | 95,043.33         |
| 03.51.02.10     | EXCAVACION ZANJA (MAQ) P/TUB. T-NORMAL DN 500-600 DE 10,01 M A 11,00 M PROF.            | m    | 138.82  | 2,187.69        | 303,695.13        |
| 03.51.02.11     | REFINE Y NIVEL DE ZANJA T-NORMAL PARA TUB. DN 500 -600 PARA TODA PROFUNDIDAD            | m    | 357.84  | 2.99            | 1,069.94          |
| 03.51.02.17     | RELLENO COMPACTADO ZANJA (MAQ) P/TUB T-NORMAL DN 500 - 600 DE 6,01 M A 7,00 PROFUNDIDAD | m    | 41.73   | 272.44          | 11,368.92         |
| 03.51.02.18     | RELLENO COMPACTADO ZANJA (MAQ) P/TUB T-NORMAL DN 500 - 600 DE 7,01 M A 8,00 PROFUNDIDAD | m    | 93.72   | 421.07          | 39,462.68         |
| 03.51.02.19     | RELLENO COMPACTADO ZANJA (MAQ) P/TUB T-NORMAL DN 500 - 600 DE 8,01 M A 9,00 PROFUNDIDAD | m    | 83.57   | 569.70          | 47,609.83         |

|             |   |   |        |        |            |
|-------------|---|---|--------|--------|------------|
| 03.51.02.21 | RELLENO COMPACTADO ZANJA (MAQ)<br>P/TUB T-NORMAL DN 500 - 600 DE 10,01 M A<br>11,00 PROFUNDIDAD | m | 138.82 | 780.19 | 108,305.98 |
| 03.51.02.22 | ELIMINACION DESMONTE (CARG+V) T-<br>NORMAL D= 10 KM P/TUB DN 500-600 PARA<br>TODA PROFUNDIDAD   | m | 357.84 | 16.24  | 5,811.32   |

Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

Las partidas mencionadas corresponden a los tramos profundos, los cuales fueron las que figuran en el perfil longitudinal (figura 4.1.), tramos en donde se usarían los entibados deslizantes, en total 357.84 m, se realizó la instalación en la dirección mostrada (desde progresiva 0+000.00 hasta la progresiva 0+357.84).

**Figura 4.1. Perfil longitudinal tramos profundos**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

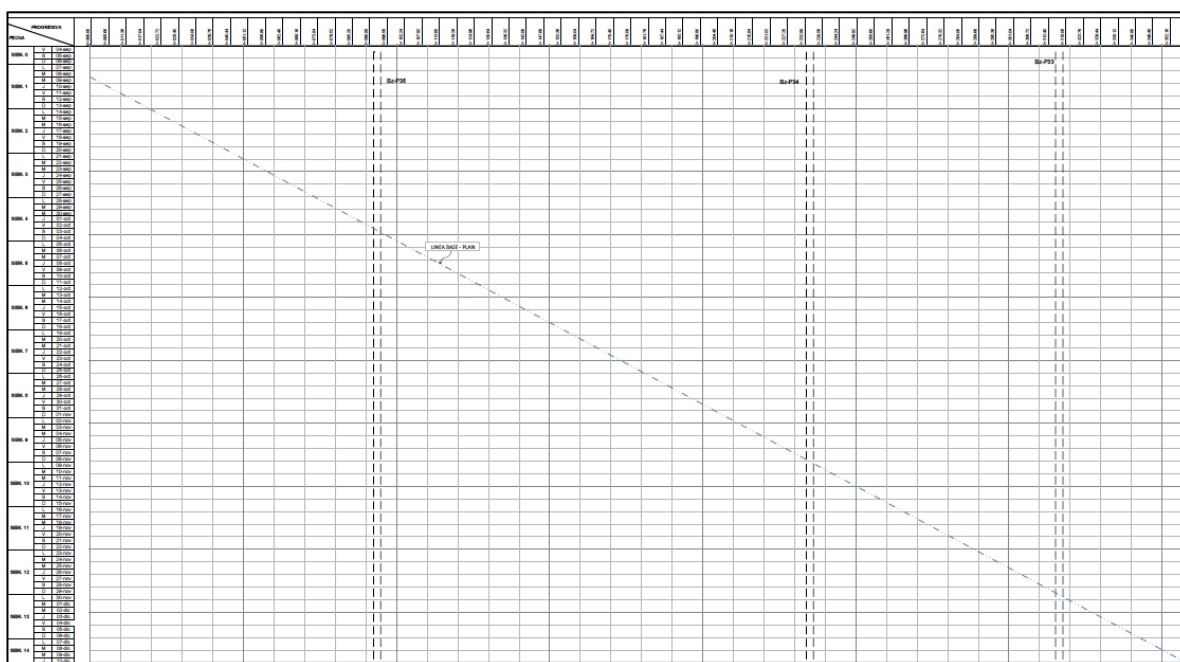
**Tabla 4.2. Progresiva – estructura – profundidad**

| Ítem | Progresiva | Estructura | Profundidad (m) |
|------|------------|------------|-----------------|
| 1    | 0+000.00   | -          | 5.00            |
| 2    | 0+093.72   | Bz-P35     | 10.46           |
| 3    | 0+232.54   | Bz-P34     | 9.93            |
| 4    | 0+316.11   | Bz-P33     | 7.33            |
| 5    | 0+357.84   | -          | 5.00            |

Ya elegido el sistema de entibación, "Entibación con paneles deslizantes (doble carril)", con los datos del expediente técnico y la información brindada por el proveedor de dichos entibados, se realizó una línea base, la cual sería lo planeado a cumplirse.



Figura 4.2. Línea Base en gráfico Progresiva vs. Tiempo



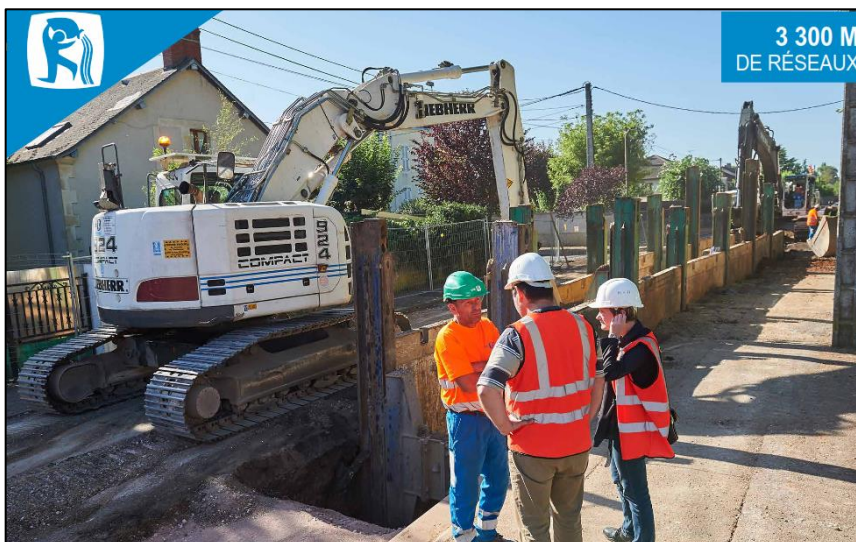
En el eje "X" figuran las progresivas y en el eje "Y" el tiempo. Se graficó una línea de flujo que representa a todas las actividades (actividades planeadas), esto sirvió como referencia para mantener o mejorar el ritmo de producción.

#### 4.2. LÍNEAS DE FLUJO (DIRECCIÓN TÉCNICA DE PROVEEDOR – SEMANA 0-1)

Con la experiencia en proyectos pasados, este tipo de entibados por lo general necesita de 02 equipos (ver figura 4.3.), uno para la instalación y el otro para el retiro del entibado; y de acuerdo a lo indicado en el ítem 3.2 resultaba imposible usar dos excavadoras o una grúa para el retiro del entibado, por las condiciones del terreno y profundidad.

De esta manera la excavadora estuvo encargada de excavar, instalar y retirar el entibado.

Figura 4.3. Trabajos en los muelles de Loira, Francia. Empresa SADE C.G.T.H.



Fuente: Empresa SADE C.G.T.H.

Se realizó una charla técnica por parte del proveedor a los trabajadores sobre el uso correcto de dichos entibados, y se procedió a la dirección técnica del armado de 04 pórticos (03 cajones), los cuales fueron recomendados por el proveedor para la zona de trabajo.

#### 4.2.1. Armado de pórticos y Mejoramiento del Terreno

A continuación se muestran las partes que componen el entibado deslizante:

Figura 4.4. Parantes con carril deslizante



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 4.5. Tensores rodantes**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

**Figura 4.6. Distanciadores**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I



**Figura 4.7. Paneles inferiores, intermedios y superiores**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

Con la descripción de las partes del entibado, se procedió a armar los pórticos (parantes, tensor rodante y distanciadores), los cuales quedarán fijos durante todo el tiempo de ejecución.

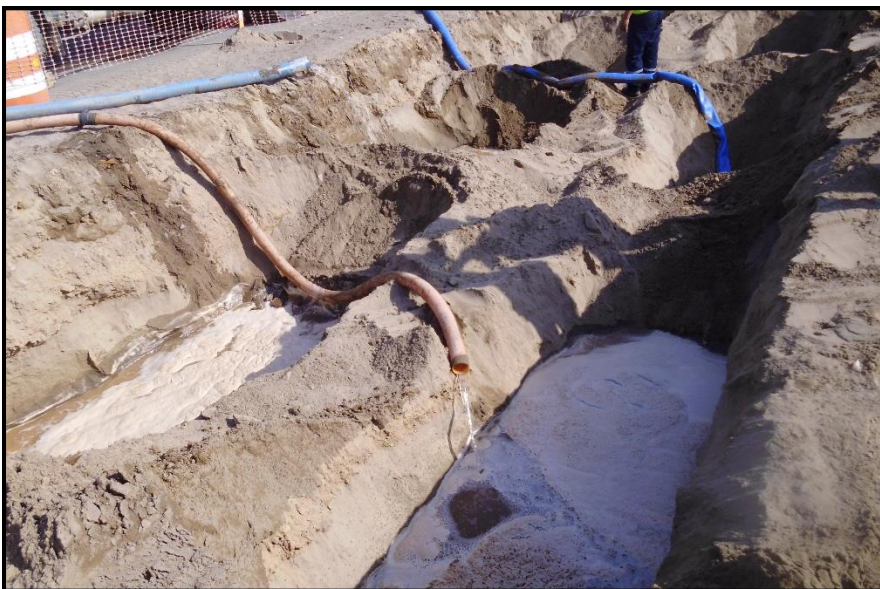
**Figura 4.8. Armado de pórticos (carril deslizante con tensor rodante) con presencia del proveedor**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

Por recomendación del área de suelos y pavimentos del proyecto se realizó con anticipación el mejoramiento de terreno (ver anexo N°4).

**Figura 4.9. Arroceras para mejoramiento de terreno**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

El primer día se armó junto al proveedor los pórticos, al día siguiente se continuó con la explicación en campo y se realizó el mejoramiento de terreno (estos trabajos previos considerados como Semana 0).

#### **4.2.2. Inicio del Proceso Constructivo**

El proceso empezó con la dirección técnica del proveedor para la correcta instalación de los entibados.

**Figura 4.10. Izaje e instalación de pórtico, con dirección técnica de proveedor**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I



**Figura 4.11. Instalación de pórtico con paneles**



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

Se generó una rampa de acceso inicial para excavar una banqueta la cual sirvió para llegar a la profundidad final de la excavación (altura del entibado de 6.00 a 7.00 m), profundidad total de la zanja 10.00 m.

**Figura 4.12. Excavación de rampa para llegar a banqueta**

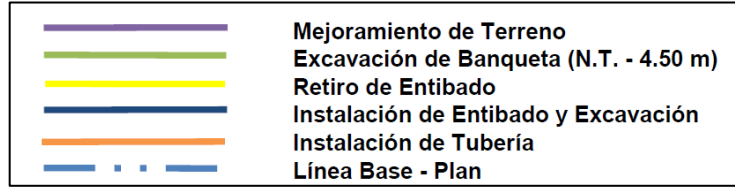


Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

Durante dicha semana se alternó el mejoramiento de terreno con la excavación de banqueta, se empezó a instalar el entibado (con presencia del proveedor), y sucesivamente la instalación de tubería.

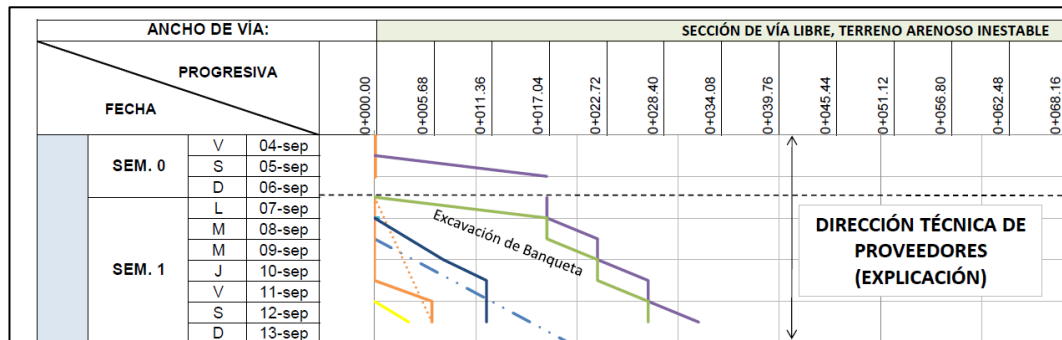
Teniendo definido las tareas o actividades del proceso constructivo se procedió a dibujar las líneas de flujo.

Figura 4.13. Leyenda Semana 0 - 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 0 a 1



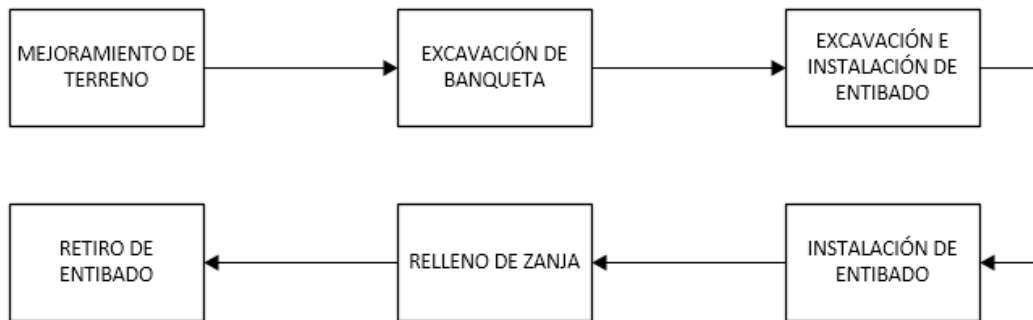
Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en el Diagrama de líneas de flujo (DLF), la semana 0 fue de capacitación (ítem 4.2.1.), en la semana 1 se inician los trabajos de instalación de entibados con presencia aún del proveedor (explicación en campo). Como primera semana no había un orden o procedimiento definido, el cual se aprecia en las líneas de flujo, no teniendo un ritmo constante.

### 4.3. LÍNEAS DE FLUJO (SIN DIRECCIÓN TÉCNICA DE PROVEEDOR – SEMANA 2)

Ya identificado las actividades del proceso constructivo (ver figura 4.15. Diagrama de flujo) y la explicación en campo del proveedor, con los conceptos claros se procedió a continuar con la ejecución sin acompañamiento técnico del proveedor, se empezó a realizar el seguimiento (semana a semana) mediante el diagrama de líneas de flujo.

Figura 4.15. Diagrama de flujo del proceso constructivo



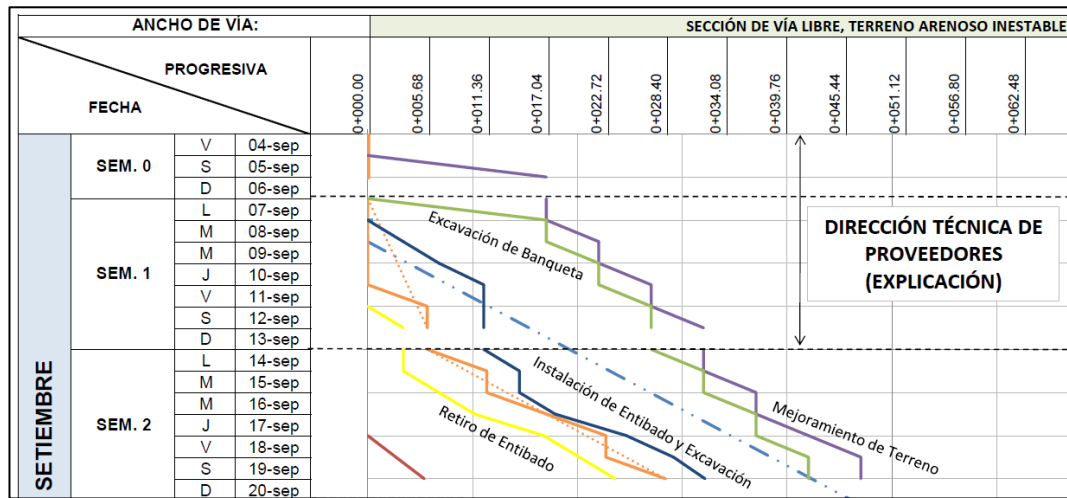
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16. Excavación e instalación de entibado, usando 4 pórticos – 3 cajones



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

Figura 4.17. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 2



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en esa semana se continuo con los trabajos, pero aún se tiene un ritmo de producción por debajo de la línea de flujo "Línea Base", de igual manera no hay un ritmo constante ni mucho menos uniformidad en las líneas de flujo.

## CAPÍTULO V. CONTROL Y SEGUIMIENTO EMPLEANDO LA METODOLOGÍA DLF

Analizando los aspectos de la producción a nivel operativo en estas dos primeras semanas, según la teoría de producción TFV, se tiene los tres conceptos siguientes:

- Vista de Transformación: Prestar atención a lo que se tiene que hacer (explicación de proveedor en campo y desarrollo de lo explicado).
- Vista de Flujo: Representación mediante los flujos (uso del diagrama de líneas de flujo).
- Vista de Generación del Valor: Se buscó capturar las necesidades del cliente y la población, apoyando con el tránsito peatonal en el cierre total de la vía, de tal manera se buscó hacer el seguimiento para acabar lo antes posible por el malestar de los pobladores.

A partir de lo mencionado se buscó realizar el control y seguimiento de cada línea de flujo.

### 5.1. ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD (SEMANA 3)

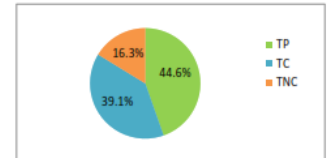
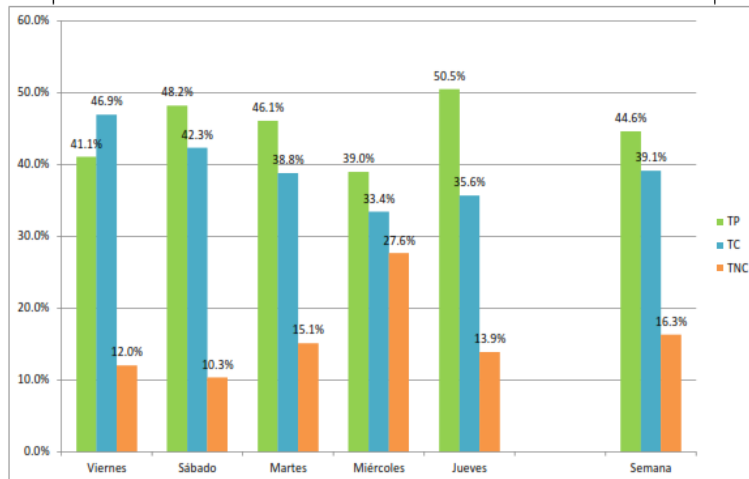
Terminando la semana 2 y durante la semana 3 se realizó un estudio de productividad, identificando durante esos días que actividades tenían tiempos productivos, tiempos contributorios y no contributorios, como resultado se tuvo la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Estudio de productividad (análisis de 5 días)

| ESTUDIO DE TIEMPO SEMANAL      |   |                 |              |                 |              |                 |              |                 |              |                 |              |                  |               |
|--------------------------------|---|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|------------------|---------------|
| TP                             | Actividades productivas                 | Viernes         |              | Sábado          |              | Martes          |              | Miércoles       |              | Jueves          |              | Semana           |               |
|                                |   | Horas           | %            | Horas           | %            | Horas           | %            | Horas           | %            | Horas           | %            |                  |               |
| EZ                             | Excavación de zanja                     | 3:12:00         | 8.2%         | 4:38:00         | 10.9%        | 0:20:00         | 0.7%         | 3:58:00         | 7.6%         | 5:44:00         | 15.9%        | 17:52:00         | 8.3%          |
| RZ                             | Relleno de zanja                        | 1:44:00         | 4.4%         | 2:46:00         | 6.5%         | 1:04:00         | 2.4%         | 0:12:00         | 0.4%         | 2:20:00         | 6.5%         | 8:06:00          | 3.8%          |
| CA                             | Camá de arena                           | 0:08:00         | 0.3%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:08:00          | 0.1%          |
| TA                             | Transporte de arena                     | 3:34:00         | 9.1%         | 1:28:00         | 3.5%         | 3:12:00         | 7.1%         | 1:58:00         | 3.8%         | 0:44:00         | 2.0%         | 10:56:00         | 5.1%          |
| DEN                            | Desencofrado                            | 4:02:00         | 10.3%        | 0:00:00         | 0.0%         | 3:46:00         | 8.3%         | 3:02:00         | 5.8%         | 0:52:00         | 2.4%         | 11:42:00         | 5.4%          |
| EN                             | Encofrado                               | 3:26:00         | 8.8%         | 10:08:00        | 23.9%        | 12:04:00        | 26.7%        | 4:22:00         | 8.4%         | 6:24:00         | 17.8%        | 36:24:00         | 16.9%         |
| A                              | Arozeras                                | 0:00:00         | 0.0%         | 0:12:00         | 0.5%         | 0:26:00         | 1.0%         | 0:08:00         | 0.3%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:46:00          | 0.4%          |
| IT                             | Instalación de tubería                  | 0:00:00         | 0.0%         | 0:58:00         | 2.3%         | 0:00:00         | 0.0%         | 4:02:00         | 7.8%         | 1:12:00         | 3.3%         | 6:12:00          | 2.9%          |
| AT                             | Alineamiento de tubería                 | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 2:04:00         | 4.0%         | 0:16:00         | 0.7%         | 2:20:00          | 1.1%          |
| EM                             | Eliminación de Material                 | 0:00:00         | 0.0%         | 0:16:00         | 0.6%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:30:00         | 1.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:46:00          | 0.4%          |
| C                              | Compactación                            | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:38:00         | 1.8%         | 0:38:00          | 0.3%          |
| <b>Tiempo productivo</b>       |   | <b>16:06:00</b> | <b>41.1%</b> | <b>20:26:00</b> | <b>48.2%</b> | <b>20:52:00</b> | <b>46.1%</b> | <b>20:16:00</b> | <b>39.0%</b> | <b>18:10:00</b> | <b>50.5%</b> | <b>95:50:00</b>  | <b>44.6%</b>  |
| TC                             | Actividades contributorias              | Viernes         |              | Sábado          |              | Martes          |              | Miércoles       |              | Jueves          |              | Semana           |               |
| H                              | Habilitado (Materiales y herramientas)  | 2:04:00         | 5.3%         | 1:16:00         | 3.0%         | 1:18:00         | 2.9%         | 2:04:00         | 4.0%         | 0:50:00         | 2.3%         | 7:32:00          | 3.5%          |
| SA                             | Señalización de área                    | 0:00:00         | 0.0%         | 0:24:00         | 0.9%         | 0:40:00         | 1.5%         | 0:04:00         | 0.1%         | 0:42:00         | 1.9%         | 1:50:00          | 0.9%          |
| V                              | Vigía                                   | 5:30:00         | 14.0%        | 6:50:00         | 16.1%        | 6:08:00         | 13.5%        | 6:30:00         | 12.5%        | 5:42:00         | 15.8%        | 30:40:00         | 14.3%         |
| TM                             | Transporte de Materiales y Herramientas | 1:38:00         | 4.2%         | 1:02:00         | 2.4%         | 2:08:00         | 4.7%         | 2:50:00         | 5.4%         | 0:54:00         | 2.5%         | 8:32:00          | 4.0%          |
| P                              | Puntero de maquinaria                   | 5:06:00         | 13.0%        | 3:02:00         | 7.2%         | 0:00:00         | 0.0%         | 1:50:00         | 3.5%         | 0:00:00         | 0.0%         | 9:58:00          | 4.6%          |
| LV                             | Línea de vida                           | 3:52:00         | 9.9%         | 2:54:00         | 6.8%         | 6:42:00         | 14.8%        | 3:30:00         | 6.7%         | 3:46:00         | 10.5%        | 20:44:00         | 9.6%          |
| OL                             | Orden y limpieza                        | 0:06:00         | 0.3%         | 1:52:00         | 4.4%         | 0:16:00         | 0.6%         | 0:34:00         | 1.1%         | 0:56:00         | 2.6%         | 3:44:00          | 1.74%         |
| AM                             | Apilado de arena                        | 0:08:00         | 0.3%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:08:00          | 0.1%          |
| M                              | Mediciones                              | 0:00:00         | 0.0%         | 0:36:00         | 1.4%         | 0:10:00         | 0.4%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:46:00          | 0.4%          |
| CO                             | Coordinación                            | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:12:00         | 0.4%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:12:00          | 0.1%          |
| <b>Tiempo contributorio</b>    |   | <b>18:24:00</b> | <b>46.9%</b> | <b>17:56:00</b> | <b>42.3%</b> | <b>17:34:00</b> | <b>38.8%</b> | <b>17:22:00</b> | <b>33.4%</b> | <b>12:50:00</b> | <b>35.6%</b> | <b>84:06:00</b>  | <b>39.1%</b>  |
| TNC                            | Actividades no contributorias           | Viernes         |              | Sábado          |              | Martes          |              | Miércoles       |              | Jueves          |              | Semana           |               |
| E2                             | Espera / excavación de zanja            | 0:20:00         | 0.9%         | 0:36:00         | 1.4%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:28:00         | 1.3%         | 1:24:00          | 0.65%         |
| MO                             | Movilización sin transportar nada       | 0:50:00         | 2.1%         | 0:10:00         | 0.4%         | 0:42:00         | 1.5%         | 0:28:00         | 0.9%         | 0:00:00         | 0.0%         | 2:10:00          | 1.01%         |
| EV                             | Espera por volquete                     | 0:36:00         | 1.5%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:36:00          | 0.28%         |
| RM                             | Espera - combustible                    | 0:10:00         | 0.4%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:10:00         | 0.3%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:20:00          | 0.16%         |
| DEN1                           | Espera por Desencofrado                 | 0:10:00         | 0.4%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:08:00         | 0.3%         | 1:26:00         | 2.8%         | 0:40:00         | 1.9%         | 2:24:00          | 1.12%         |
| EN1                            | Espera por encofrado                    | 2:36:00         | 6.6%         | 1:48:00         | 4.2%         | 0:04:00         | 0.1%         | 1:52:00         | 3.6%         | 1:14:00         | 3.4%         | 7:34:00          | 3.52%         |
| M1                             | Espera por mediciones                   | 0:00:00         | 0.0%         | 0:20:00         | 0.8%         | 0:10:00         | 0.4%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:30:00          | 0.23%         |
| E                              | Espera sin motivo                       | 0:00:00         | 0.0%         | 0:40:00         | 1.6%         | 1:54:00         | 4.2%         | 1:04:00         | 2.1%         | 0:16:00         | 0.7%         | 3:54:00          | 1.82%         |
| B                              | Baño                                    | 0:00:00         | 0.0%         | 0:14:00         | 0.6%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:12:00         | 0.4%         | 0:06:00         | 0.3%         | 0:32:00          | 0.25%         |
| IT1                            | Espera por instalación de tubería       | 0:00:00         | 0.0%         | 0:14:00         | 0.6%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:06:00         | 0.2%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:20:00          | 0.16%         |
| CC                             | Cambio de Cuadrante                     | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 3:36:00         | 8.0%         | 9:04:00         | 17.4%        | 1:10:00         | 3.2%         | 13:50:00         | 6.44%         |
| SA1                            | Espera por Señalización                 | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:16:00         | 0.6%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:16:00          | 0.12%         |
| AT1                            | Espera por Alineamiento de Tubería      | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:20:00         | 0.9%         | 0:20:00          | 0.16%         |
| CBA                            | Movilización en Camión Baranda          | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:00:00         | 0.0%         | 0:46:00         | 2.1%         | 0:46:00          | 0.36%         |
| <b>Tiempo no contributorio</b> |   | <b>4:42:00</b>  | <b>12.0%</b> | <b>4:02:00</b>  | <b>10.3%</b> | <b>6:50:00</b>  | <b>15.1%</b> | <b>14:22:00</b> | <b>27.6%</b> | <b>5:00:00</b>  | <b>13.9%</b> | <b>34:56:00</b>  | <b>16.26%</b> |
| <b>Total horas diarias</b>     |   | <b>39:12:00</b> | <b>100%</b>  | <b>42:24:00</b> | <b>101%</b>  | <b>45:16:00</b> | <b>100%</b>  | <b>52:00:00</b> | <b>100%</b>  | <b>36:00:00</b> | <b>100%</b>  | <b>214:52:00</b> | <b>100%</b>   |

|     | Viernes | Sábado | Martes | Miércoles | Jueves | Semana |
|-----|---------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| TP  | 41.1%   | 48.2%  | 46.1%  | 39.0%     | 50.5%  | 44.6%  |
| TC  | 46.9%   | 42.3%  | 38.8%  | 33.4%     | 35.6%  | 39.1%  |
| TNC | 12.0%   | 10.3%  | 15.1%  | 27.6%     | 13.9%  | 16.3%  |

|     |       |        |
|-----|-------|--------|
| TP  | 44.6% | 100.0% |
| TC  | 39.1% |        |
| TNC | 16.3% |        |

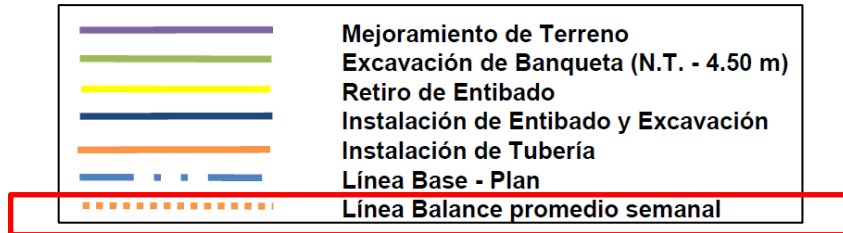


Fuente: Elaboración propia



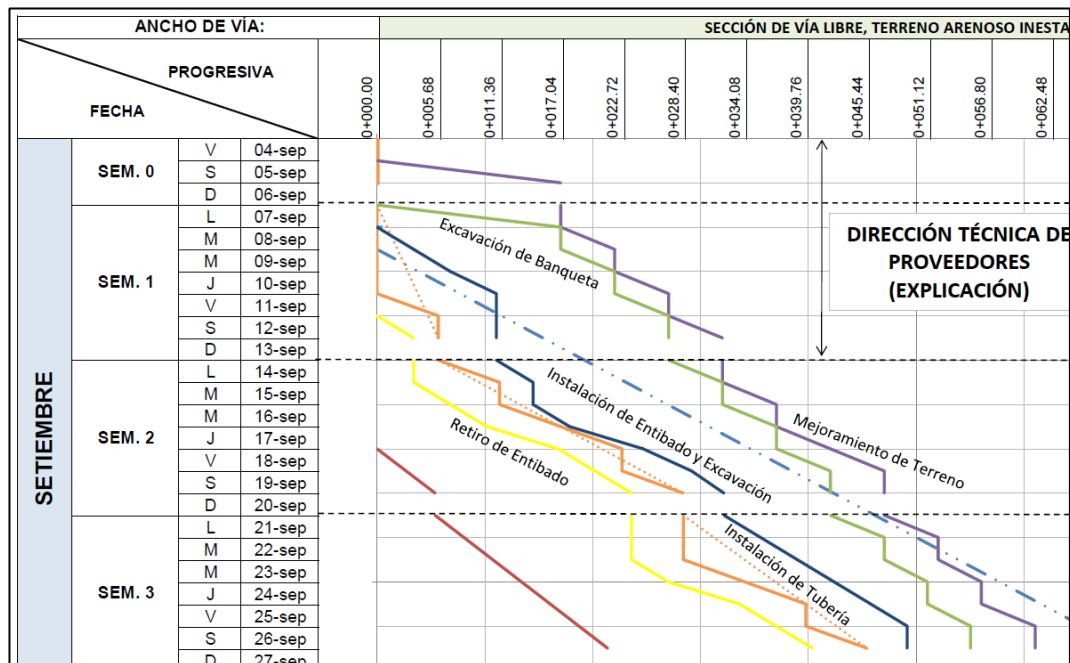
De los cinco días se tiene en promedio 44.6% de trabajos productivos, 39.1% de trabajos contributorios, 16.3% trabajos no contributorios (mucho tiempo de espera).

Figura 5.1. Leyenda de DLF – Semana 3



Fuente: Elaboración propia

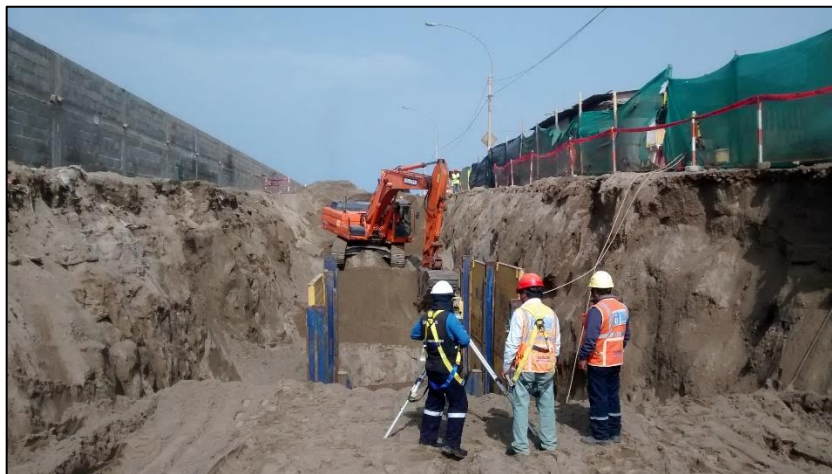
Figura 5.2. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 0 a 3



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la “Línea Balance promedio semanal” (promedio de instalación semanal de tubería, ver figura 5.1 y 5.2) aún se seguía por debajo de la línea base, con el estudio de productividad realizado se procedió a corregir los trabajos no contributorios.

**Figura 5.3. Mediciones – Liberación de nivelación de tubería con Supervisión, trabajos contributorios**



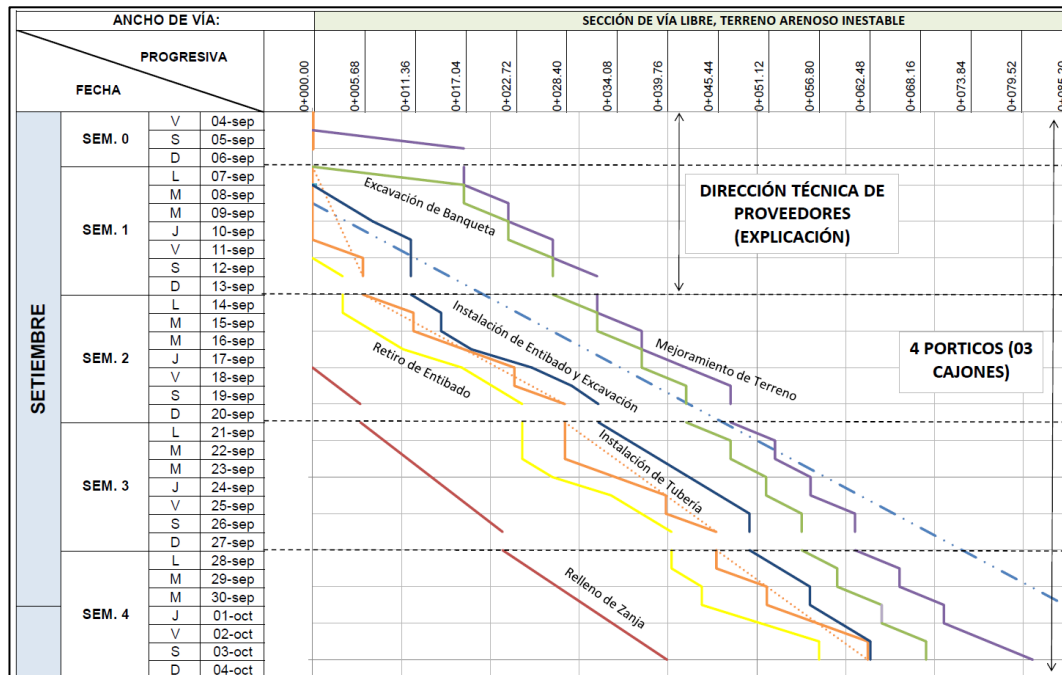
Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

## **5.2. SECTORIZACIÓN (SEMANA 4)**

Se corrigió los tiempos de espera obtenidos del estudio de productividad, durante esa semana se tuvo dificultades en campo, longitud de excavación, excavación de banquetas variables, teniendo un procedimiento de trabajo no constante.

Al finalizar esta semana se identificó la solución de solo usar 3 pórticos (2 cajones) y ya no 4 pórticos (3 cajones), como se aprecia en la figura 4.16, de esta manera se concluyó con sectorizar la producción (reducción de variabilidad), generando un sector de longitud el cual todos los flujos avancen a ritmo de dicho sector.

Figura 5.4. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 0 a 4



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura 5.4 no hay un ritmo constante, la sectorización parte por uniformizar la longitud 5.68 m (longitud de tubería) siendo esta última la actividad o flujo que predomina sobre el resto.

### 5.3. CONTROL DE TIEMPO Y ALCANCE (SEMANA 5)

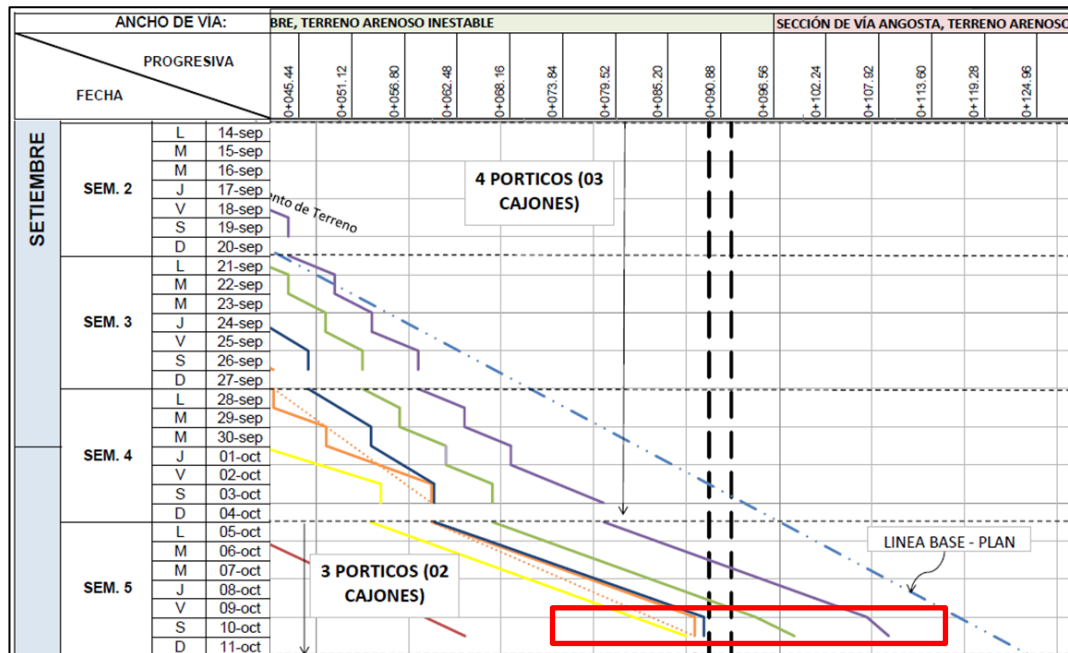
Concluyendo la semana 4, tal cual se describe en el ítem anterior, se inicia la semana con la longitud uniforme de 5.68 m (longitud constante para cada actividad). También se vio que la excavadora instala y retira el entibado en una sola posición.

Figura 5.5. Uso de 2 cajones, largo del brazo de excavadora llega sin dificultad



Fuente: Proyecto Pachacutec Etapa I

Figura 5.6. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 2 a 5

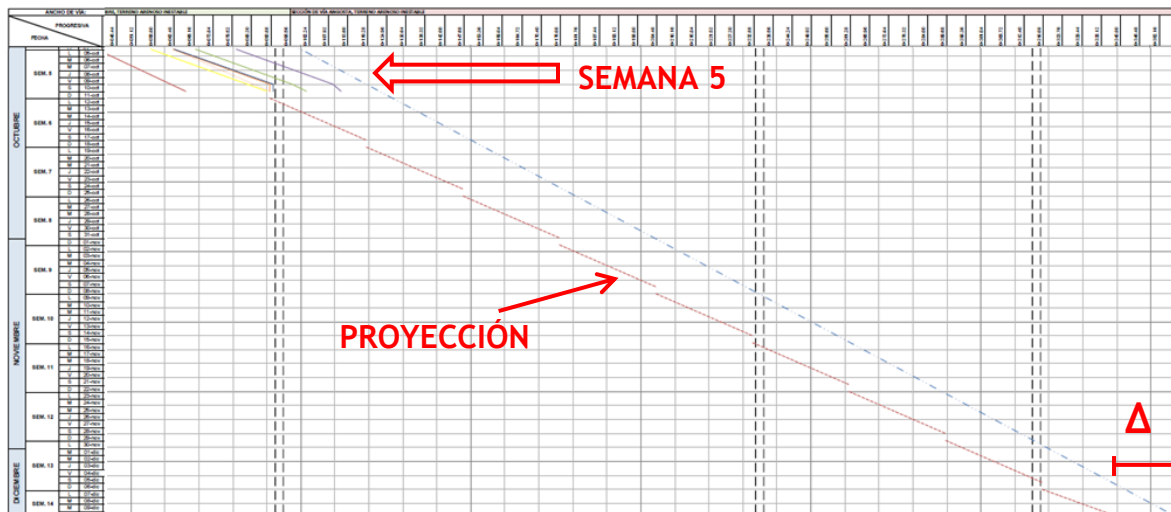


Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura 5.6 se ve uniformidad en los flujos. El comparativo de la “Línea Balance Promedio Semanal” con la “Línea Base” ha mejorado cambiando la pendiente (ritmo de producción).

En la semana 5 las líneas de flujo tienen una variación en el día sábado (flujo uniforme de lunes a viernes) y esto se debe a que el sábado los trabajos son hasta la 1:00 p.m. (jornada laboral reglamentaria). Respetando dicho horario se realizó una proyección del rendimiento de la semana 5 para ver si es que se cumple más adelante con lo programado, ver figura 5.7.

Figura 5.7. Proyección de la semana 5



Fuente: Elaboración propia

Efectivamente se aprecia en la figura 5.7 que si se mantenía el ritmo de producción de la semana 5, no se cumplía con la fecha pactada. Por esta razón se analizó el ciclo diario del proceso constructivo para ver que correcciones se puede tomar, dicho ciclo diario fue obtenido del estudio de productividad y del seguimiento semanal.

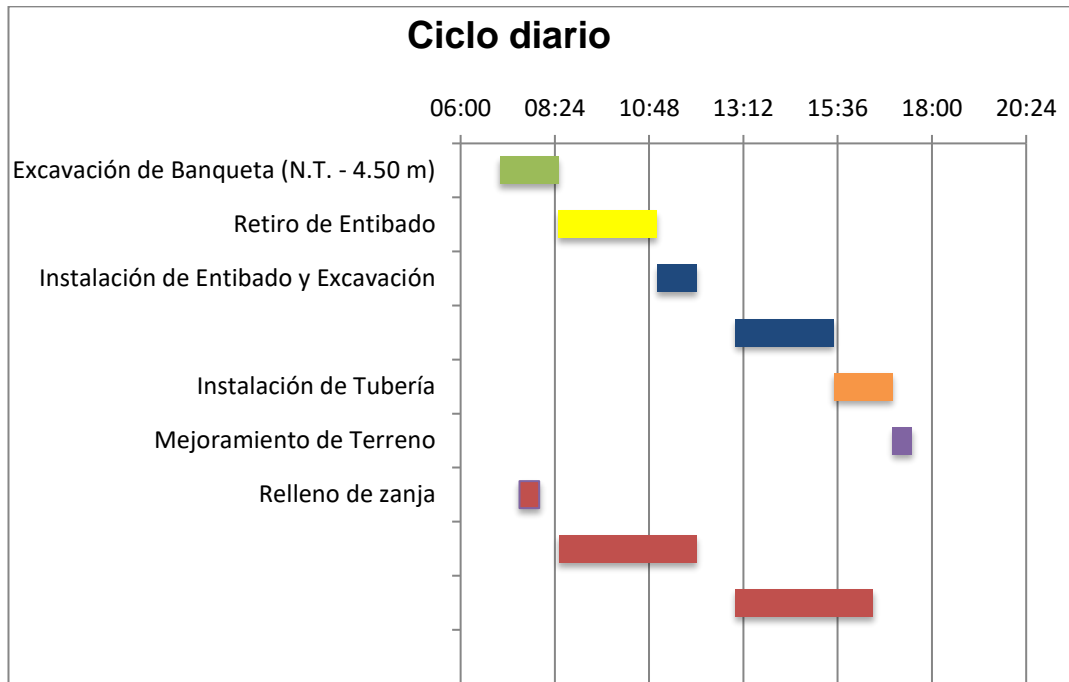
Tabla 5.2. Duraciones de cada actividad.

| Nombre de la Actividad                 | Hora inicio | Hora final | Duración (hrs) |
|--|-------------|------------|----------------|
| Excavación de Banqueta (N.T. - 4.50 m) | 07:00       | 08:30      | 1.5            |
| Retiro de Entibado                     | 08:30       | 11:00      | 2.5            |
| Instalación de Entibado y Excavación   | 11:00       | 12:00      | 1.0            |
|  | 13:00       | 15:30      | 2.5            |
| Instalación de Tubería                 | 15:30       | 17:00      | 1.5            |
| Mejoramiento de Terreno                | 17:00       | 17:30      | 0.5            |

|                  |       |       |     |
|------------------|-------|-------|-----|
| Relleno de zanja | 07:30 | 08:00 | 0.5 |
|                  | 08:30 | 12:00 | 3.5 |
|                  | 13:00 | 16:30 | 3.5 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.8. Ciclo diario del proceso constructivo



Fuente: Elaboración propia

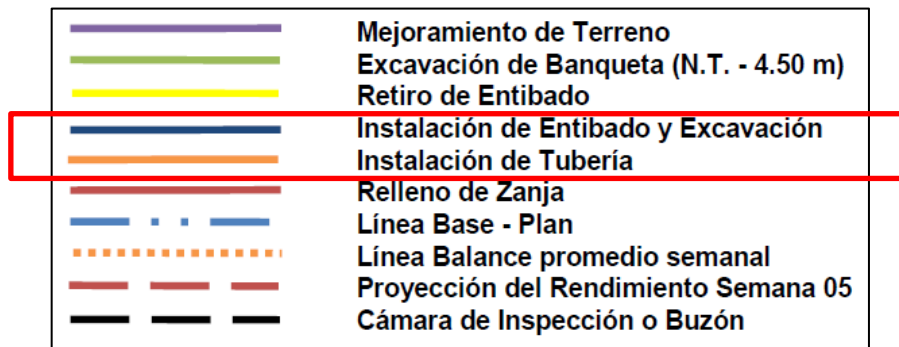
Se ve que el sábado por temas de horarios de trabajo no se logra terminar la actividad de instalación de tubería de acuerdo al ciclo diario mostrado.



#### 5.4. LÍNEAS DE FLUJO BALANCEADAS (SEMANA 6)

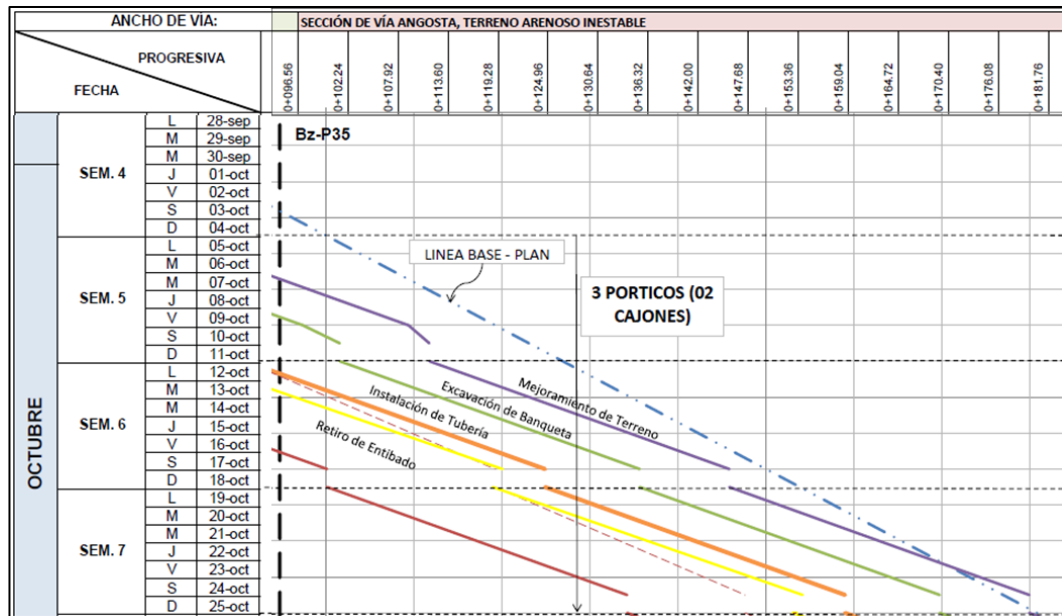
De la figura 5.6 (semana 5) la línea de flujo “Instalación de entibado y excavación” con “Instalación de tubería” prácticamente se sobreponen, se unificó en una sola línea de flujo “Instalación de tubería (Excavación – Entibado – Instalación de tubería)”. Del análisis anterior tabla 5.2, se procedió a trabajar los sábados en horario normal (igual que de lunes a viernes), de esta manera se logró un ritmo constante, líneas de flujo balanceadas de lunes a sábado.

Figura 5.9. Leyenda DLF – Semana 7



Fuente: Elaboración propia

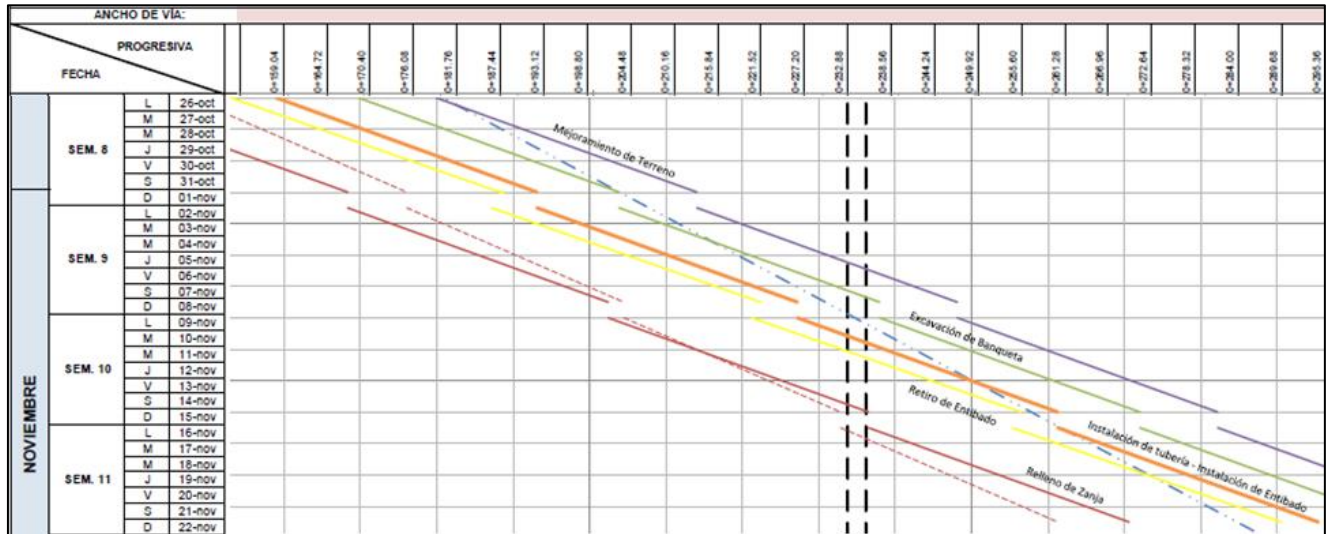
Figura 5.10. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 4 a 7.



Fuente: Elaboración propia

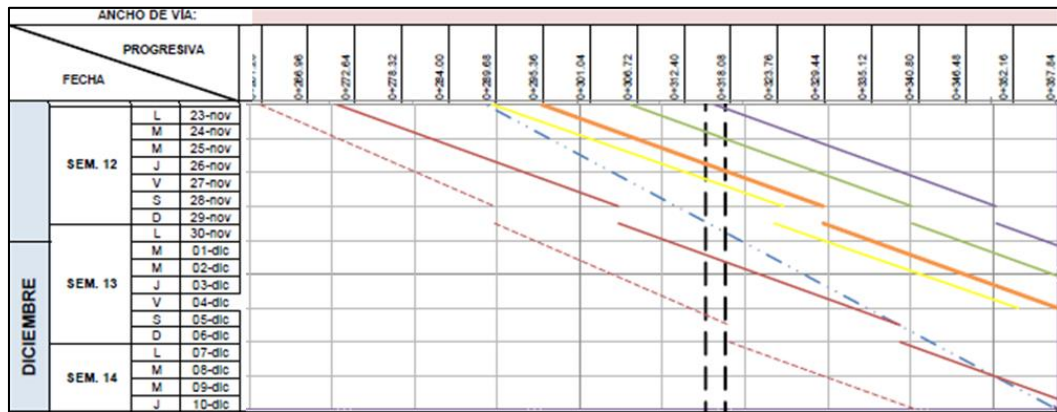
Con el proceso optimizado se hizo la proyección hasta la última progresiva y se comprobó que si se termina el proceso antes que la línea base.

Figura 5.11. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 8 a 11.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.12. Diagrama de líneas de flujo (DLF) – Semana 12 a 14.



Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

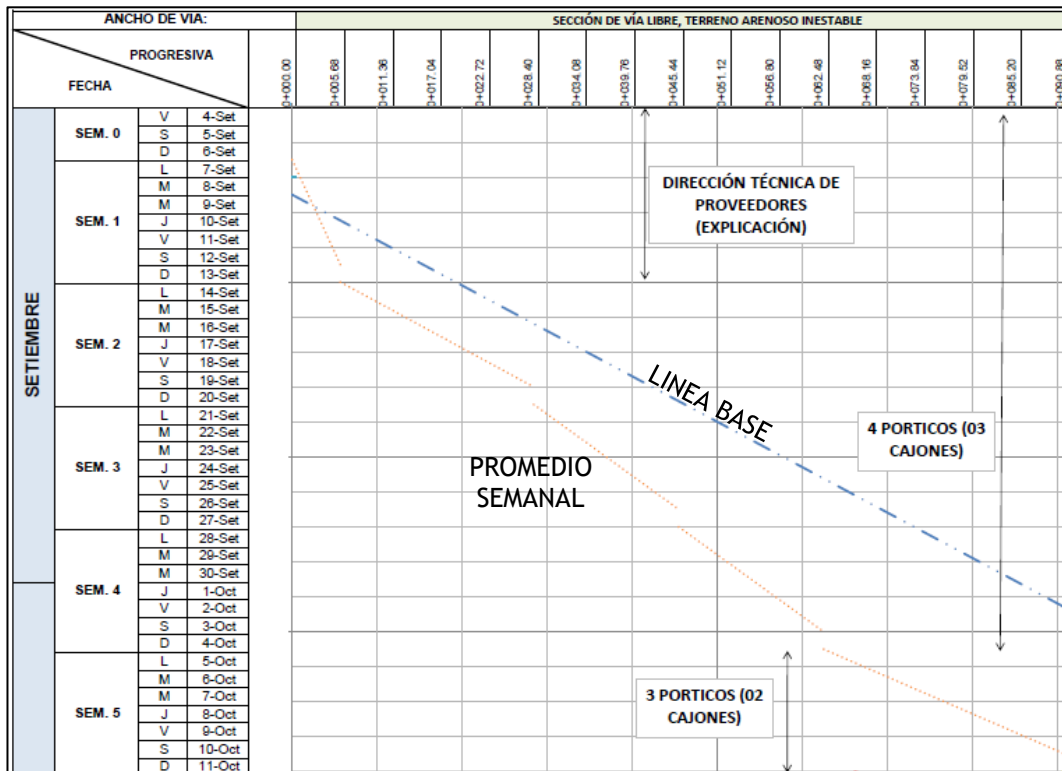
### 6.1. ANÁLISIS DE DLF

En el proceso constructivo “Instalación de tuberías en excavaciones profundas con entibados deslizantes” se buscó implementar el método de diagrama de líneas de flujo, para el seguimiento y control. De dicho seguimiento se analizó los resultados obtenidos logrando optimizar el proceso constructivo, de igual manera se describió el proceso del entibado metálico para zanjas profundas (siendo esta una característica distinta a lo tradicional para el proyecto en sí).

A continuación se detalla como resumen, el análisis de cada semana (seguimiento y control), describiendo los resultados obtenidos de la metodología implementada (DLF):

- Semana N°1: Dirección técnica de proveedores, explicación en campo de la instalación del entibado, explicación del proceso constructivo.
- Semana N°2: Proceso constructivo a realizarse sin dirección técnica de proveedor con lo explicado en la semana anterior.
- Semana N°3: De la figura 4.17 se aprecia de que no hay flujos continuos, es por eso que se realizó un estudio de productividad para identificar los tiempos que no aportan valor, seguimiento diario para que los flujos en el DLF sean uniformes.
- Semana N°4: Correcciones en campo con el estudio de productividad realizado la semana anterior, se identificó sobrecarga de equipo (reducción de un cajón de entibado). Al finalizar la semana 4 se generó un procedimiento para los trabajadores (instalación de entibado y excavación, retiro de entibado, excavación de banquetta, mejoramiento de terreno, todos con longitudes definidas), sectorización, mejoramiento de tareas.
- Semana N°5: Con el procedimiento mejorado al finalizar la semana anterior, se obtuvo flujos uniformes (ver figura 5.6), se realizó una proyección manteniendo el mismo rendimiento en el DLF para comprobar si se termina en la fecha pactada.

Figura 6.1. Línea Balance promedio semanal – Semana 0 a 5.



Fuente: Elaboración propia

- Semana N°6: Con la proyección realizada la semana anterior y analizando el ciclo diario (figura 5.8, duración de cada actividad), se procedió a trabajar los sábados como un día cualquiera de semana. Se generaron las líneas de flujo balanceadas (ver figuras 5.11 y 5.12).

## 6.2. ANÁLISIS DE COSTOS DIARIOS

Durante el seguimiento semanal con el diagrama de líneas de flujo, se realizó en paralelo el seguimiento de costos con los recursos utilizados, como base o referencia se tuvo el análisis de costo diario, Línea Base (Plan), ver tabla 6.1. la cual marca el tope de costo a gastar diario.

**Tabla 6.1. Análisis de costo diario – Línea Base (Plan).**

| Equipos                  | Unidad | LINEA BASE - PLAN |              |          |                   |
|--------------------------|--------|-------------------|--------------|----------|-------------------|
|                          |        | Cantidad          | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) |
| CAMION GRUA              | und    | 0.5               | 30           | 750.00   | 375.00            |
| ENT MET (Cajon)          | und    | 3                 | 0            | 398.49   | 1,195.47          |
| EXO                      | und    | 1                 | 60           | 1,184.00 | 1,184.00          |
| RET                      | und    | 1                 | 17           | 500.00   | 500.00            |
| PL COMP                  | und    | 2                 | 5            | 49.00    | 98.00             |
| <b>Mano de Obra</b>      |        |                   |              |          |                   |
| Cap                      | und    | 1                 |              | 200.00   | 200.00            |
| Op Equipo                | und    | 3                 |              | 175.00   | 437.50            |
| Op                       | und    | 2                 |              | 170.00   | 340.00            |
| Of                       | und    | 2                 |              | 140.00   | 280.00            |
| Pe                       | und    | 4                 |              | 125.00   | 500.00            |
| Vg                       | und    | 1                 |              | 65.00    | 65.00             |
| <b>Material</b>          |        |                   |              |          |                   |
| Combustible              | gal    | 102               |              | 11.34    | 1,156.68          |
| Agua                     | m3     | 40                |              | 15.00    | 600.00            |
| Arena de Cama            | m3     | 2.42              |              | 28.00    | 67.63             |
| Afirmado                 | m3     |                   |              | 28.00    | -                 |
| Tuberia                  | m      |                   |              |          | -                 |
| <b>Subcontrato</b>       |        |                   |              |          |                   |
| VOL (todo costo)         | und    | 2                 |              | 732.00   | 1,464.00          |
| Elim. Desmonte           | m3     |                   |              | 14.50    | -                 |
| <b>TOTAL s/. Por día</b> |        |                   |              |          | <b>8,463.28</b>   |

Fuente: Elaboración propia

En el inicio del proceso constructivo se realizó capacitaciones y explicaciones en campo, (por tratarse de un proceso nuevo distinto a lo tradicional en el proyecto, entibados deslizantes – excavaciones profundas), a los cuales también se le registró el costo gastado, ver tabla 6.2 y 6.3.

**Tabla 6.2. Análisis de costo diario – Capacitación y armado de pórticos.**

| Equipos                  | Unidad | CAPACITACION Y ARMADO DE PORTICOS |              |          |                   |
|--------------------------|--------|-----------------------------------|--------------|----------|-------------------|
|                          |        | Cantidad                          | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) |
| CAMION GRUA              | und    | 0.25                              | 30           | 750.00   | 187.50            |
| ENT MET (Cajon)          | und    | 3                                 | 0            | 398.49   | 1,195.47          |
| EXO                      | und    | 0.75                              | 60           | 1,184.00 | 888.00            |
| RET                      | und    | 0                                 | 17           | 500.00   | -                 |
| PL COMP                  | und    | 0                                 | 5            | 49.00    | -                 |
| <b>Mano de Obra</b>      |        |                                   |              |          |                   |
| Cap                      | und    | 1                                 |              | 200.00   | 200.00            |
| Op Equipo                | und    | 1                                 |              | 175.00   | 175.00            |
| Op                       | und    | 3                                 |              | 170.00   | 510.00            |
| Of                       | und    | 3                                 |              | 140.00   | 420.00            |
| Pe                       | und    | 4                                 |              | 125.00   | 500.00            |
| Vg                       | und    | 1                                 |              | 65.00    | 65.00             |
| <b>Material</b>          |        |                                   |              |          |                   |
| Combustible              | gal    | 52.5                              |              | 11.34    | 595.35            |
| Agua                     | m3     |                                   |              | 15.00    | -                 |
| Arena de Cama            | m3     |                                   |              | 28.00    | -                 |
| Afirmado                 | m3     |                                   |              | 28.00    | -                 |
| Tubería                  | m      |                                   |              |          | -                 |
| <b>Subcontrato</b>       |        |                                   |              |          |                   |
| VOL (todo costo)         | und    |                                   |              | 732.00   | -                 |
| Elim. Desmonte           | m3     |                                   |              | 14.50    | -                 |
| <b>TOTAL s/. Por día</b> |        |                                   |              |          | <b>4,736.32</b>   |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6.3. Análisis de costo diario – Explicación en campo.**

| Equipos                  | Unidad | EXPLIACION EN CAMPO |              |          |                   |
|--------------------------|--------|---------------------|--------------|----------|-------------------|
|                          |        | Cantidad            | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) |
| CAMION GRUA              | und    | 0.2                 | 30           | 750.00   | 150.00            |
| ENT MET (Cajon)          | und    | 3                   | 0            | 398.49   | 1,195.47          |
| EXO                      | und    | 1                   | 60           | 1,184.00 | 1,184.00          |
| RET                      | und    | 1                   | 17           | 500.00   | 500.00            |
| PL COMP                  | und    | 2                   | 5            | 49.00    | 98.00             |
| <b>Mano de Obra</b>      |        |                     |              |          |                   |
| Cap                      | und    | 1                   |              | 200.00   | 200.00            |
| Op Equipo                | und    | 2.2                 |              | 175.00   | 385.00            |
| Op                       | und    | 3                   |              | 170.00   | 510.00            |
| Of                       | und    | 3                   |              | 140.00   | 420.00            |
| Pe                       | und    | 4                   |              | 125.00   | 500.00            |
| Vg                       | und    | 1                   |              | 65.00    | 65.00             |
| <b>Material</b>          |        |                     |              |          |                   |
| Combustible              | gal    | 93                  |              | 11.34    | 1,054.62          |
| Agua                     | m3     | 40                  |              | 15.00    | 600.00            |
| Arena de Cama            | m3     | 0.77                |              | 28.00    | 21.47             |
| Afirmado                 | m3     |                     |              | 28.00    | -                 |
| Tubería                  | m      |                     |              |          | -                 |
| <b>Subcontrato</b>       |        |                     |              |          |                   |
| VOL (todo costo)         | und    | 2                   |              | 732.00   | 1,464.00          |
| Elim. Desmonte           | m3     |                     |              | 14.50    | -                 |
| <b>TOTAL s/. Por día</b> |        |                     |              |          | <b>8,347.56</b>   |

Fuente: Elaboración propia

Como se describe en el capítulo V y en el ítem 6.1 se empezó usando 4 pórticos (3 cajones) para la instalación del entibado, lo cual se identificó a fines de la semana 4 que de acuerdo a la sectorización realizada (longitud constante en todos las actividades) solo fue necesario el uso de 3 pórticos (2 cajones) reducción de costo – equipo, se analizó los siguientes costos diarios, ver tablas 6.4 y 6.5.

**Tabla 6.4. Análisis de costo diario – 3 cajones.**

| Equipos                  | Unidad | 3 CAJONES |              |          |                   |
|--------------------------|--------|-----------|--------------|----------|-------------------|
|                          |        | Cantidad  | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) |
| CAMION GRUA              | und    | 0.2       | 30           | 750.00   | 150.00            |
| ENT MET (Cajon)          | und    | 3         | 0            | 398.49   | 1,195.47          |
| EXO                      | und    | 1         | 60           | 1,184.00 | 1,184.00          |
| RET                      | und    | 1         | 17           | 500.00   | 500.00            |
| PL COMP                  | und    | 2         | 5            | 49.00    | 98.00             |
| <b>Mano de Obra</b>      |        |           |              |          |                   |
| Cap                      | und    | 1         |              | 200.00   | 200.00            |
| Op Equipo                | und    | 2.2       |              | 175.00   | 385.00            |
| Op                       | und    | 3         |              | 170.00   | 510.00            |
| Of                       | und    | 3         |              | 140.00   | 420.00            |
| Pe                       | und    | 4         |              | 125.00   | 500.00            |
| Vg                       | und    | 1         |              | 65.00    | 65.00             |
| <b>Material</b>          |        |           |              |          |                   |
| Combustible              | gal    | 93        |              | 11.34    | 1,054.62          |
| Agua                     | m3     | 40        |              | 15.00    | 600.00            |
| Arena de Cama            | m3     | 1.70      |              | 28.00    | 47.71             |
| Afirmado                 | m3     |           |              | 28.00    | -                 |
| Tuberia                  | m      |           |              |          | -                 |
| <b>Subcontrato</b>       |        |           |              |          |                   |
| VOL (todo costo)         | und    | 2         |              | 732.00   | 1,464.00          |
| Elim. Desmonte           | m3     |           |              | 14.50    | -                 |
| <b>TOTAL s/. Por día</b> |        |           |              |          | <b>8,373.80</b>   |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6.5. Análisis de costo diario – 2 cajones.**

| Equipos                  | Unidad | 2 CAJONES |              |          |                   |
|--------------------------|--------|-----------|--------------|----------|-------------------|
|                          |        | Cantidad  | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) |
| CAMION GRUA              | und    |           |              |          |                   |
| ENT MET (Cajon)          | und    | 2         | 0            | 398.49   | 796.98            |
| EXO                      | und    | 1         | 60           | 1,184.00 | 1,184.00          |
| RET                      | und    | 1         | 17           | 500.00   | 500.00            |
| PL COMP                  | und    | 2         | 5            | 49.00    | 98.00             |
| <b>Mano de Obra</b>      |        |           |              |          |                   |
| Cap                      | und    | 1         |              | 200.00   | 200.00            |
| Op Equipo                | und    | 2         |              | 175.00   | 350.00            |
| Op                       | und    | 1         |              | 170.00   | 170.00            |
| Of                       | und    | 3         |              | 140.00   | 420.00            |
| Pe                       | und    | 2         |              | 125.00   | 250.00            |
| Vq                       | und    | 1         |              | 65.00    | 65.00             |
| <b>Material</b>          |        |           |              |          |                   |
| Combustible              | gal    | 87        |              | 11.34    | 986.58            |
| Agua                     | m3     | 40        |              | 15.00    | 600.00            |
| Arena de Cama            | m3     | 2.56      |              | 28.00    | 71.57             |
| Afirmado                 | m3     |           |              | 28.00    | -                 |
| Tuberia                  | m      |           |              |          | -                 |
| <b>Subcontrato</b>       |        |           |              |          |                   |
| VOL (todo costo)         | und    | 2         |              | 732.00   | 1,464.00          |
| Elim. Desmonte           | m3     |           |              | 14.50    | -                 |
| <b>TOTAL s/. Por día</b> |        |           |              |          | <b>7,156.13</b>   |

Fuente: Elaboración propia

En la semana 5 al realizar la proyección con dicho rendimiento se vio que no se cumplió con los tiempos programados, analizando el tiempo de ciclo se hizo las correcciones para trabajar el sábado como un día cualquiera de la semana, se detalla análisis de costo diario trabajando turno completo los sábados, ver tabla 6.6.

Tabla 6.6. Análisis de costo diario – Reajuste plazo 2 cajones.







| Equipos             | Unidad | REAJUSTE PLAZO - 2 CAJONES |              |                          |                   |
|---------------------|--------|----------------------------|--------------|--------------------------|-------------------|
|                     |        | Cantidad                   | Rend gal/día | P.U.                     | Parcial/día (s/.) |
| CAMION GRUA         | und    |                            |              |                          |                   |
| ENT MET (Cajon)     | und    | 2                          | 0            | 398.49                   | 796.98            |
| EXO                 | und    | 1                          | 60           | 1,184.00                 | 1,184.00          |
| RET                 | und    | 1                          | 17           | 500.00                   | 500.00            |
| PL COMP             | und    | 2                          | 5            | 49.00                    | 98.00             |
| <b>Mano de Obra</b> |        |                            |              |                          |                   |
| Cap                 | und    | 1                          |              | 260.00                   | 260.00            |
| Op Equipo           | und    | 2                          |              | 200.00                   | 400.00            |
| Op                  | und    | 1                          |              | 195.00                   | 195.00            |
| Of                  | und    | 3                          |              | 160.00                   | 480.00            |
| Pe                  | und    | 2                          |              | 145.00                   | 290.00            |
| Vg                  | und    | 1                          |              | 80.00                    | 80.00             |
| <b>Material</b>     |        |                            |              |                          |                   |
| Combustible         | gal    | 87                         |              | 11.34                    | 986.58            |
| Agua                | m3     | 40                         |              | 15.00                    | 600.00            |
| Arena de Cama       | m3     | 3.07                       |              | 28.00                    | 85.88             |
| Afirmado            | m3     |                            |              | 28.00                    | -                 |
| Tuberia             | m      |                            |              |                          | -                 |
| <b>Subcontrato</b>  |        |                            |              |                          |                   |
| VOL (todo costo)    | und    | 2                          |              | 732.00                   | 1,464.00          |
| Elim. Desmante      | m3     |                            |              | 14.50                    | -                 |
|                     |        |                            |              | <b>TOTAL s/. Por día</b> | <b>7,420.44</b>   |

Fuente: Elaboración propia

### 6.3. ANÁLISIS DIAGRAMA TIEMPO COSTO

Los análisis de costos diarios mencionados en el ítem anterior fueron graficados en un diagrama costo diario vs. Tiempo, en donde al igual que en el DLF se hizo el seguimiento semanal, en este caso de acuerdo a los cambios realizados durante el proceso constructivo se tiene la siguiente leyenda, ver figura 6.2.

Figura 6.2. Leyenda Diagrama Flujo Costo.

|   |  |                  |
|---|--|------------------|
|  | <b>Capacitación y Armado de Pórticos</b> | (Semana 0 - 1)   |
|  | <b>Explicación en campo</b>              | (Semana 1)       |
|  | <b>Uso de 03 cajones</b>                 | (Semana 2 al 4)  |
|  | <b>Uso de 02 cajones</b>                 | (Semana 5)       |
|  | <b>Reajuste plazo - 02 cajones</b>       | (Semana 6 al 13) |
|  | <b>Línea Base - Plan</b>                 | (Semana 1 al 14) |

Fuente: Elaboración propia

Cada periodo tiene un análisis de costo diario distinto, el cual fue cambiando en la línea de tiempo para obtener mejoras en producción, tiempo, alcance y costo. Se detalla resumen del análisis en cada periodo:

- Capacitación y armado de pórticos (Semana 0 – 1): Costo relacionado a la instrucción y/o capacitación del personal.
- Explicación en campo (Semana 1): Costo relacionado a la explicación en campo por parte del proveedor de entibado metálico.
- Uso de 3 cajones (Semana 2 al 4): Costo relacionado a la ejecución usando el equipo de entibado con 4 pórticos – 3 cajones.
- Uso de 2 cajones (Semana 5): Costo relacionado a la ejecución usando el equipo de entibado con 3 pórticos – 2 cajones, esto fue identificado como mejora al término de la semana 4.
- Reajuste plazo – 2 cajones (Semana 6 al 13): Costo relacionado al cambio de trabajo completo los días sábado, producto del análisis que se dio en DLF con respecto a la proyección de tiempo, proceso optimizado.

En el Anexo N°7 se aprecia el Diagrama de Flujo Costo; en donde se visualiza las mejoras en cuanto a costo y la relación al análisis de DLF. De la misma manera en el Anexo N°6 se puede ver el resumen de lo expuesto en el ítem 6.2. en comparativo con la Línea Base e incluso con el monto del presupuesto (Información Expediente Técnico).

Tabla 6.7. Comparativo de costos

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| <b>COSTO PPTO (s/.)</b> | <b>740,233.36</b> |
| <b>COSTO PLAN (s/.)</b> | <b>668,599.02</b> |
| <b>COSTO REAL (s/.)</b> | <b>594,761.30</b> |
| <b>Real/Ppto</b>        | <b>80%</b>        |
| <b>Real/Plan</b>        | <b>89%</b>        |

Fuente: Elaboración propia



## CONCLUSIONES

- La implementación del método de diagrama de líneas de flujo en el seguimiento y control de obra fue exitoso porque permitió utilizar la ubicación (progresivas a lo largo de los tramos profundos del colector de alcantarillado) como una herramienta de gestión del sitio, combinando la facilidad de comunicación con la capacidad de controlar el traspaso de trabajo entre actividades y ubicaciones.
- Se analizó que los resultados obtenidos ayudó en la optimización del proceso constructivo porque se pudo identificar la sectorización, sobrecarga de equipo, productividad, control de tiempo y alcance, de acuerdo al seguimiento continuo que se le dio a las líneas de flujo.
- El análisis de costo diario forma parte del seguimiento de producción ya que cada mejora o cambio realizado en el DLF se iba ver reflejado en el Diagrama Tiempo Costo.
- El uso del DLF fue útil para el análisis de las actividades del proceso constructivo del presente trabajo de suficiencia ya que no se contaba con una secuencia y más aun no se tenía conocimiento del armado e instalación del entibado deslizante.

## RECOMENDACIONES

- El Diagrama de Líneas de Flujo se hizo en una hoja Excel, se recomienda usar el software Tilos (programa especializado para programación tiempo – camino).
- Se recomienda imprimir todo el Diagrama de líneas de flujo (tamaño A1, A2) para visualizar de manera global debido a su fácil interpretación.
- Se recomienda relacionar el diagrama de líneas de flujo con el control de costos (diagrama flujo costo) para tener un mejor seguimiento de obra, así como contar con una línea de flujo base para el respectivo comparativo (análisis de pendientes o ritmo de producción) y un presupuesto base o referencial para el comparativo del costo diario.
- Una vez optimizado el proceso constructivo con el DLF, se debe generar un procedimiento de trabajo, un documento que se le entregué el responsable de frente para su desarrollo en campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

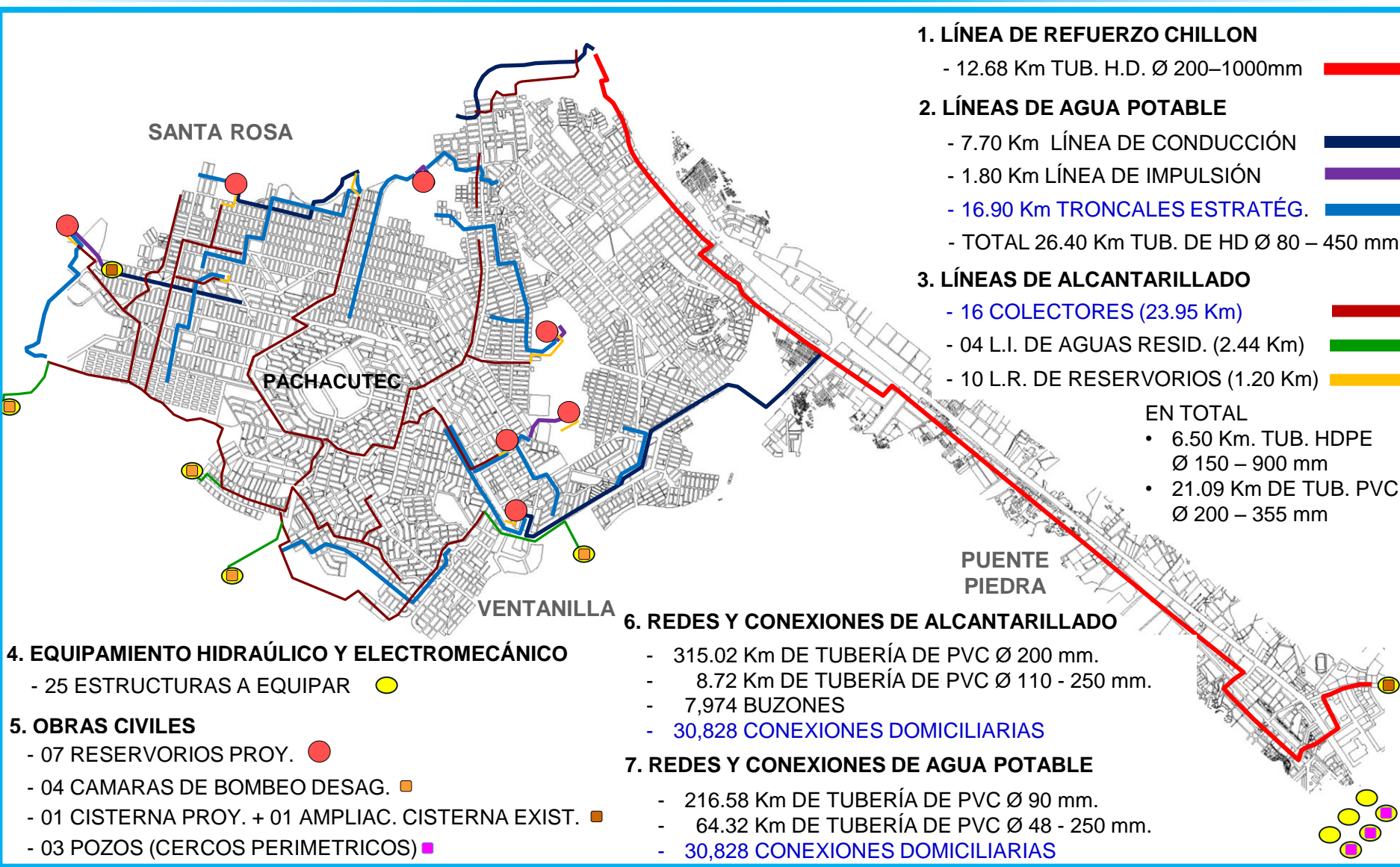
- Abdelhamid, Tariq (2008). *Lean Construction Principles and Methods*. Michigan State University , EE.UU.
- Bertelsen, S. y Bonke S. (2011). *Transformation – Flow – Value as a strategic tool in project production*. IGLC 19 – Lima, Perú.
- Consortio SADE–COSAPI (2015). *Excavación de zanjas con Pre-Compactación en Colectores Primarios Profundos*. Área de Suelos y Pavimentos, Lima, Perú.
- Jiang Aiyin, Cheng Bin, Flood Ian, Issa Raymond (2006). *Modified Linear Scheduling in Scheduling Multiple Utility Line Construction Project*. Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montréal, Canada.
- Kenley, Russell (2005). *Dispelling The Complexity Muth: Founding Lean Construction on Location – Based Planning*. Proceedings IGLC-13, July 2005, Sydney, Australia.
- Kenley, Russell (2004). *Project Micromanagement: Practical Site Planning and Management of Work Flow*. 12<sup>th</sup> Annual Conference on Lean Construction, Denmark, IGLC.
- Koskela, L. (2000). *An exploring towards a production theory and its application to construction*. Espoo: WT Technical Research Centre of Finland.
- LCI. *Lean Project Delivery Glossary*. [www.leanconstruction.org](http://www.leanconstruction.org)
- O'Connor Richard (2013). *Implementing Lean in Construction: Lean tools and techniques – an introduction*. CIRIA, London.
- Pons A. Juan Felipe (2014). *Introducción a Lean Construction*. Fundación Laboral de la Construcción, Madrid.
- Revista CONSTRUCTIVO. *Entibados Metálicos – Ejecutando zanjas de modo seguro*. Lima, Perú.
- SBH Tiefbautechnik. *Operating Manual Double Slide Rail RS Series 750*. [www.sbh-shoring.com](http://www.sbh-shoring.com)
- SBH Tiefbautechnik. *Sistema de Entibación – Moderna Tecnología para la entibación de zanjas*. [www.sbh-shoring.com](http://www.sbh-shoring.com)
- Seppänen, Olli y Kenley, Russell (2005). *Performance Measurement Using Location – Based Status Data*. Proceedings IGLC-13, July 2005, Sydney, Australia.
- Seppänen, Olli y Kenley, Russell (2005). *Using Location-Based Techniques for Cost Control*. 13<sup>th</sup> Annual Lean Construction Conference, Sydney, IGLC.
- Seppänen Olli (2005). *Location – Based Management System*. Proceedings IGLC-13, July 2005, Sydney, Australia.

Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, Gerencia de Desarrollo e Investigación (2014). *Plan Maestro de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado*. Plan Maestro Optimizado 2015 -2044 SEDAPAL, Lima.

## ANEXOS

- Anexo N°1: Layout General – Proyecto Pachacutec
- Anexo N°2: Layout General Diagrama de Flujo – Proyecto Pachacutec
- Anexo N°3: Sistemas de Entibación – Cuadro comparativo
- Anexo N°4: Excavación de zanjas con pre compactación – Colectores primarios profundos
- Anexo N°5: Diagrama de Líneas de Flujo
- Anexo N°6: Comparativos de costos diarios
- Anexo N°7: Diagrama Flujo de Costo

# LAYOUT GENERAL



## 1. LÍNEA DE REFUERZO CHILLON

- 12.68 Km TUB. H.D. Ø 200–1000mm

## 2. LÍNEAS DE AGUA POTABLE

- 7.70 Km LÍNEA DE CONDUCCIÓN
- 1.80 Km LÍNEA DE IMPULSIÓN
- 16.90 Km TRONCALES ESTRATÉG.
- TOTAL 26.40 Km TUB. DE HD Ø 80 – 450 mm

## 3. LÍNEAS DE ALCANTARILLADO

- 16 COLECTORES (23.95 Km)
- 04 L.I. DE AGUAS RESID. (2.44 Km)
- 10 L.R. DE RESERVORIOS (1.20 Km)

### EN TOTAL

- 6.50 Km. TUB. HDPE Ø 150 – 900 mm
- 21.09 Km DE TUB. PVC Ø 200 – 355 mm

## 4. EQUIPAMIENTO HIDRAÚLICO Y ELECTROMECAÁNICO

- 25 ESTRUCTURAS A EQUIPAR

## 5. OBRAS CIVILES

- 07 RESERVORIOS PROJ.
- 04 CAMARAS DE BOMBEO DESAG.
- 01 CISTERNA PROJ. + 01 AMPLIAC. CISTERNA EXIST.
- 03 POZOS (CERCOS PERIMETRICOS)

## 6. REDES Y CONEXIONES DE ALCANTARILLADO

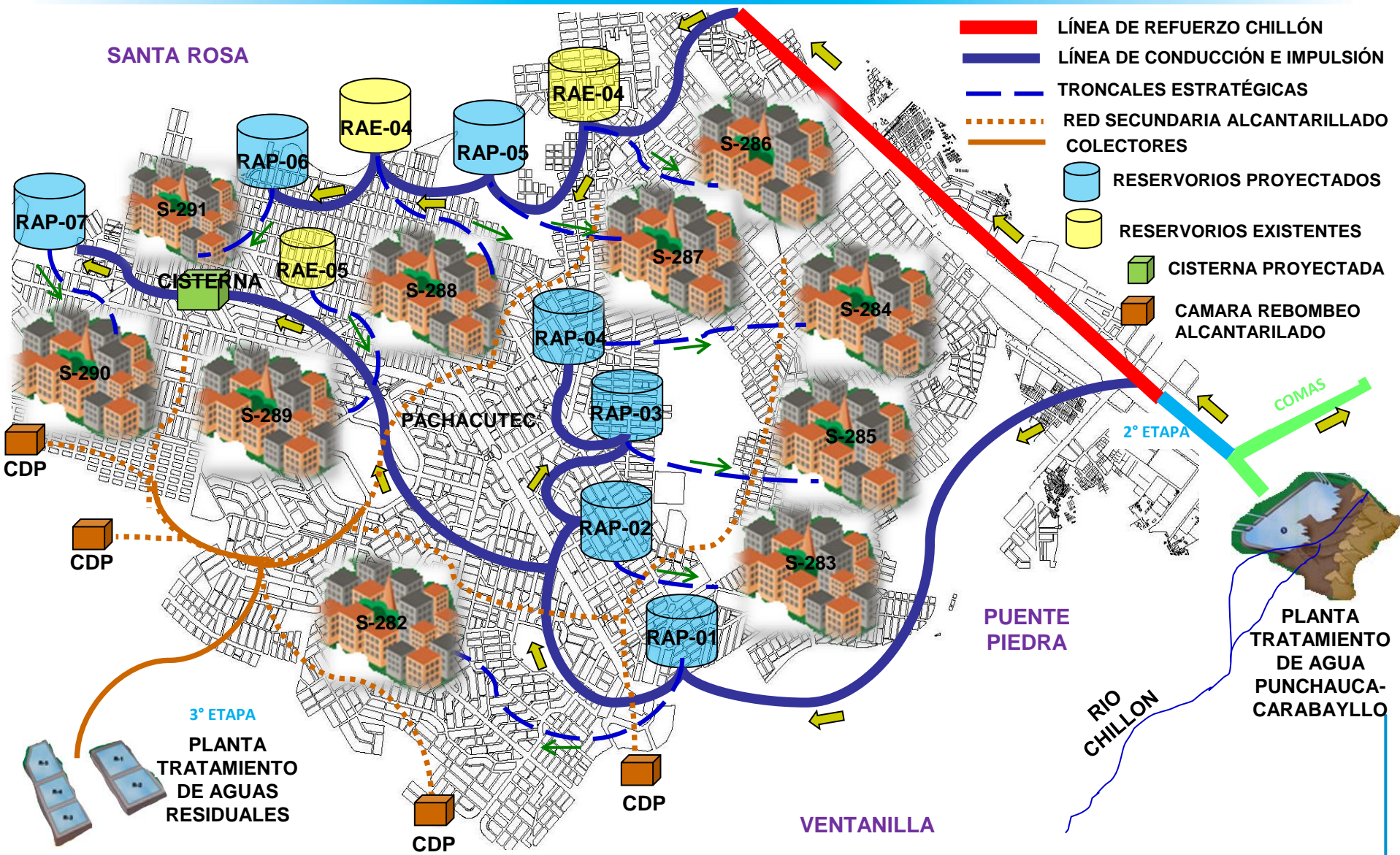
- 315.02 Km DE TUBERÍA DE PVC Ø 200 mm.
- 8.72 Km DE TUBERÍA DE PVC Ø 110 - 250 mm.
- 7,974 BUZONES
- 30,828 CONEXIONES DOMICILIARIAS

## 7. REDES Y CONEXIONES DE AGUA POTABLE

- 216.58 Km DE TUBERÍA DE PVC Ø 90 mm.
- 64.32 Km DE TUBERÍA DE PVC Ø 48 - 250 mm.
- 30,828 CONEXIONES DOMICILIARIAS



# LAYOUT GENERAL – DIAGRAMA DE FLUJO



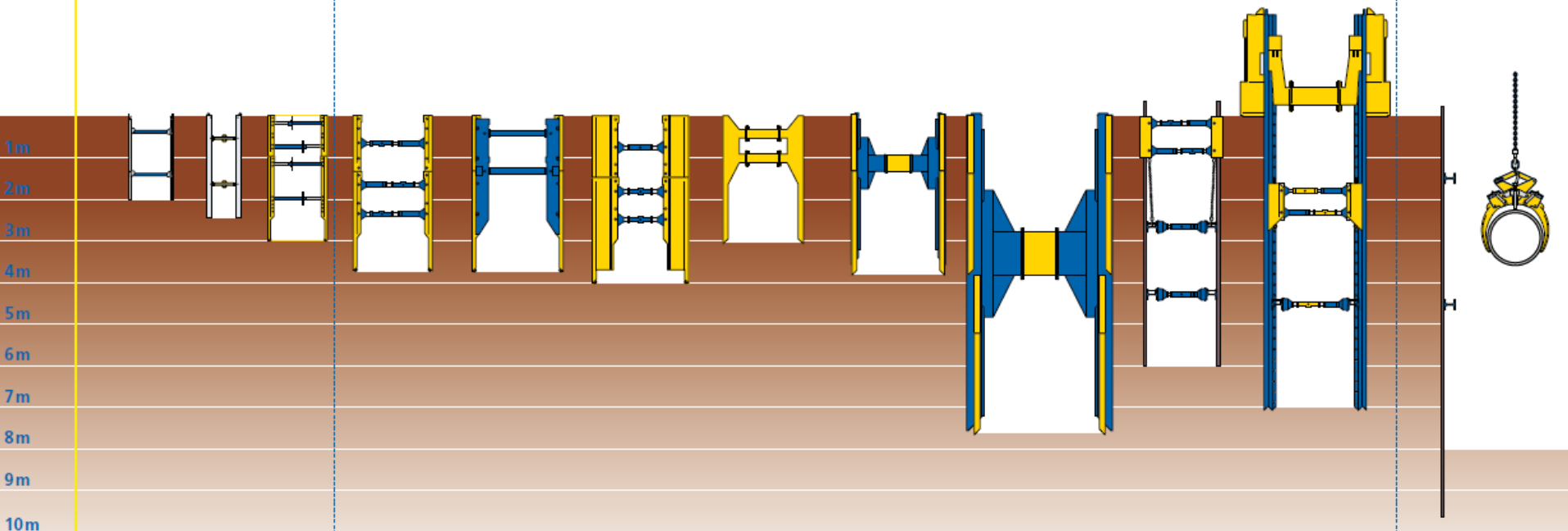


# SISTEMAS DE ENTIBACIÓN CUADRO COMPARATIVO

Colocación en  
suelos cohesivos

Introducción en suelos  
no cohesivos

Otros  
productos



| Entibación rápida       | Entibación ALU             | Entibación ligera            | CAJONES  | Cajón para tubos de gran diámetro             | CAJONES ESPECIALES                         |                                    | Entibación monocodal de patines            |  | Cuando aparecen conducciones transversales   |  | Perfiles laminados           | Pinza curva                       |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------|--|---|--|------------------------------------|--|--|--|--|------------------------------|-----------------------------------|
| Recomendada hasta 2,00m | Recomendada hasta 2,40m    | Recomendada hasta 3,00m      | Recomendada hasta 4,00m  | Recomendada hasta 4,00m                       | CAJON POZO                                 | CAJON TAJADOR                      | Simple guía                                | Doble guía   | Entibación con cámaras DK                    | Entibación hidráulica PRESSBOX   |                              |                                   |
|                         |                            |                              | CAJON LIGERO BOX<br>CAJON EXTRABOX<br>CAJON ESTÁNDARBOX  | Con perfil de repuesto<br>Máxibox<br>Cajón RS | En pozos de registro                       | En campo abierto o despejado       | Recomendada hasta 3,80m                    | Recomendada hasta 7,60m  | En combinación con Tablestacas Kanalas KD6/8 | Presión hidráulica con Tablestacas de perfil cerrado                                       | KD6/8                        | Tipo I - RK2,5<br>Tipo II - RK5,0 |
| No necesaria            | Mini-excavadora<br>3 - 9 t | Excavadora móvil<br>9 - 13 t | Excavadora móvil o de cadenas<br>Solo el cajón cortante 12 - 18 t<br>Con el cajón sobre puesto 18 - 30 t | Excavadora móvil o de cadenas<br>18 - 30 t    | Excavadora móvil o de cadenas<br>18 - 30 t | Excavadora de cadenas<br>30 - 50 t | Excavadora móvil o de cadenas<br>18 - 30 t | Excavadora de cadenas<br>hasta T ≤ 6,2m<br>24 - 31 t<br>Cuando T > 6,2m<br>30 - 50 t | Excavadora móvil<br>9 - 13 t                 | Excavadora móvil o de cadenas<br>18 - 30 t<br>+ de 80 Tm de grúa para montaje y desmontaje | Perfiles LP<br>OMEGA<br>Zeta |                                   |

## Maquinaria exigida

**CONSORCIO SADE-COSAPI**



**EXCAVACIÓN DE ZANJAS CON PRECOMPACTACIÓN  
COLECTORES PRIMARIOS PROFUNDOS**

*Procedimiento de trabajo*

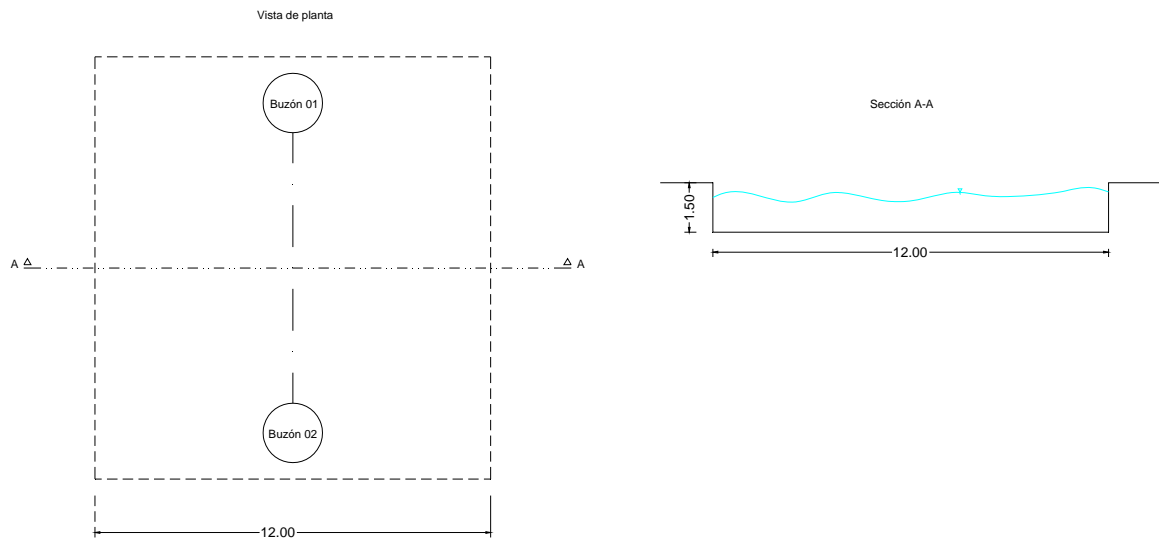
**Elaborado por:  
Área de Suelos y Pavimentos  
CONSORCIO SADE-COSAPI**

**Av. República de Colombia 391  
San Isidro - Lima**

**14 de octubre del 2015**

## 1 Excavación de zanjas

- i) Preparación de arroceras de 12. m. de ancho, 1.50 m. de profundidad y longitudes variables. Las arroceras deberán realizarse 12 horas antes de la excavación de la zanja.



ii) Vertido de agua en las arroceras con un ratio igual a 2.7 m<sup>3</sup> por metro lineal.



iii) Demolición de los muros internos de las arroceras.



iv) Limpieza y nivelación de la superficie para los trabajos de pre compactación.



v) Pre compactación del terreno natural descubierto con plancha vibratoria (2 ciclos).

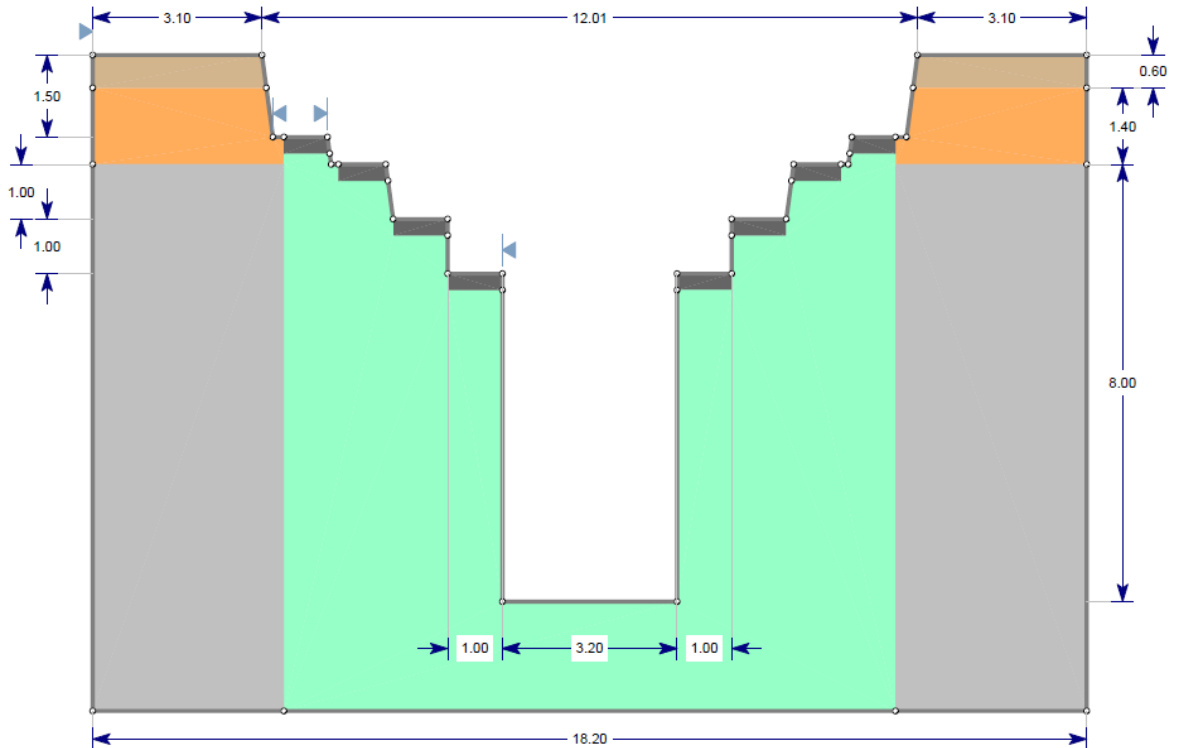


vi) Excavación de la zanja con ancho de cucharón de 1.20 m., hasta la profundidad de 1.0 m. para conformar banquetas de altura 1.0 m. de ancho y talud 7V:1H. Las bermas de las banquetas deberán tener 1.0 m. de ancho.

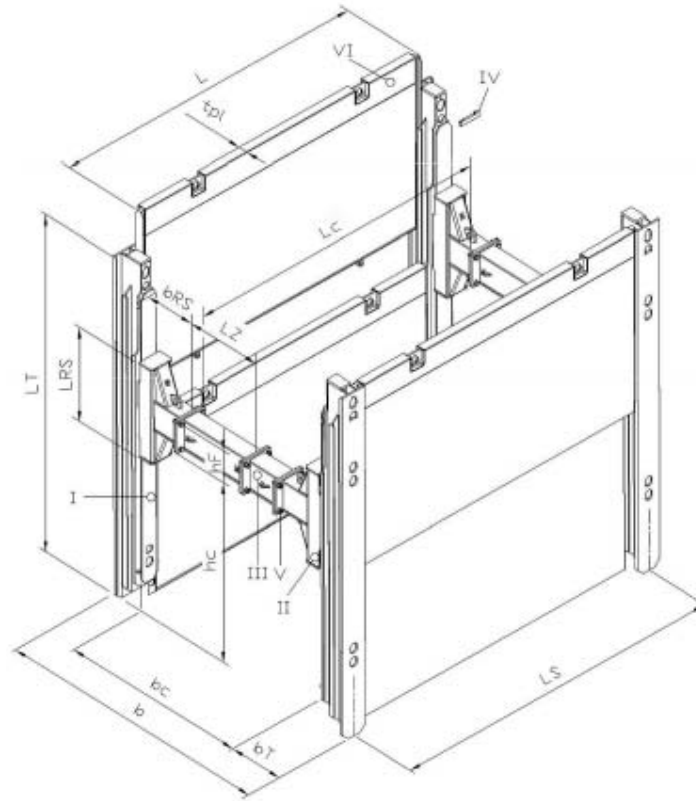


vii) Repetir el procedimiento anterior hasta lograr la profundidad de 3.0m, posteriormente conformar la última banqueta de altura 1.0 m. y talud vertical. Terminada la banqueta excavar con entibado metálico por tensores rodantes con carril de doble deslizamiento hasta lograr la profundidad de 10.0 m.

La geometría de la excavación será la siguiente:



Además el esquema del entibado metálico recomendado es el siguiente:

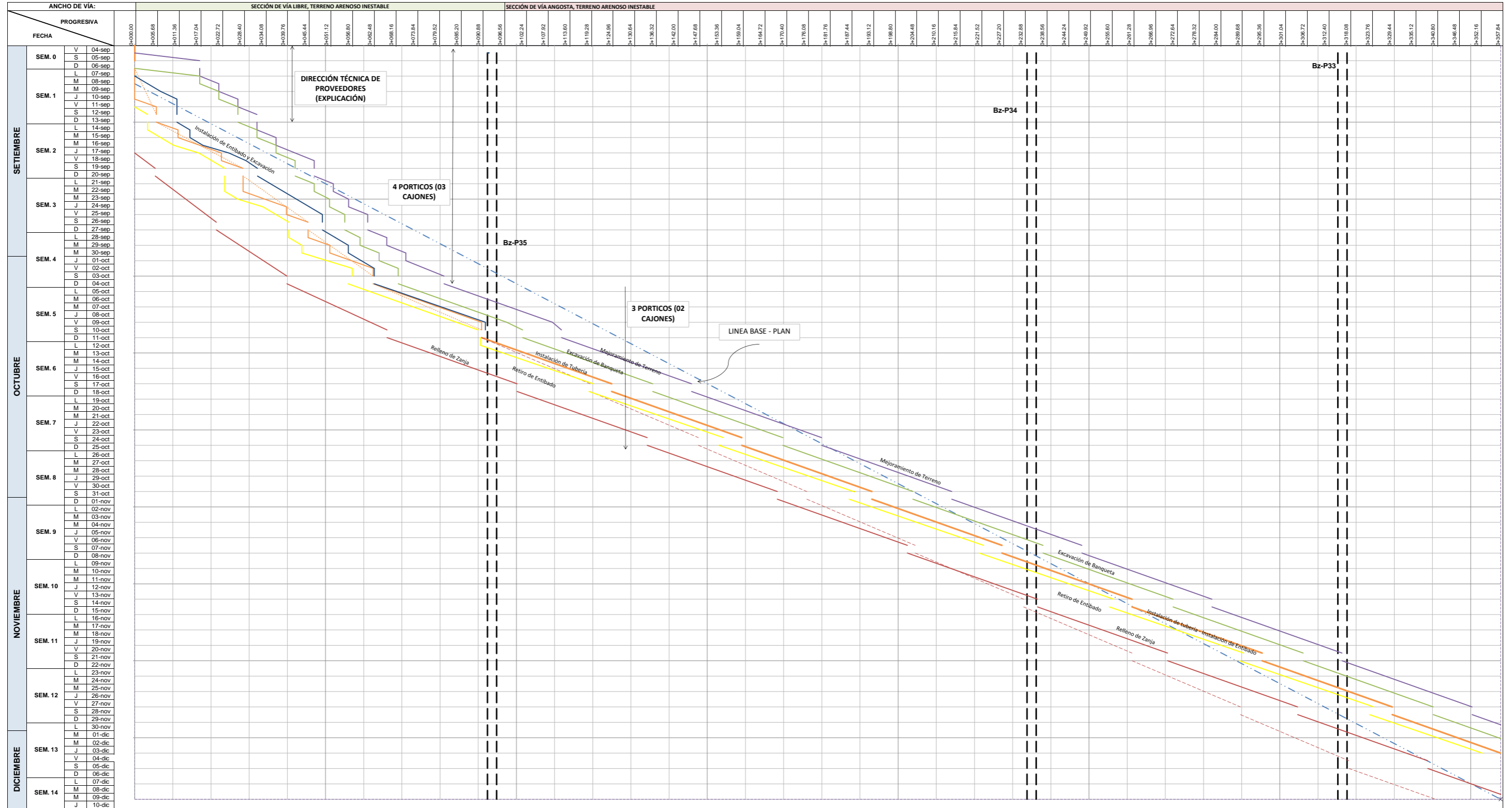


- |                                     |  |   |
|-------------------------------------|--|---|
| I Riel Deslizable de Tensor Rodante | b Ancho de Zanja                             | L Altura de panel                                 |
| II Tensor Rodante (RS)              | b <sub>1</sub> Ancho de trabajo              | L <sub>s</sub> Longitud del sistema               |
| III Pieza Distanciadora             | b <sub>2</sub> Ancho del Tensor Rodante      | L <sub>c</sub> Longitud de holgura de los tubos   |
| IV Pasador Limite                   | b <sub>3</sub> Carril deslizante - tipo      | L <sub>rs</sub> Longitud de Tensor Rodante        |
| V Pernos M30                        | b <sub>4</sub> Altura del espacio del tensor | L <sub>r</sub> Longitud de Carril deslizante      |
| VI Panel de Base                    | b <sub>5</sub> Altura de la brida            | L <sub>2</sub> Longitud de la pieza distanciadora |

Debido a la profundidad de la excavación, se recomienda emplear arnés con línea de vida para proteger la vida de los trabajadores.



DIAGRAMA DE LINEAS DE FLUJO - COLECTOR PACHACUTEC TRAMO PROFUNDO (Hprom = 10.00 m)

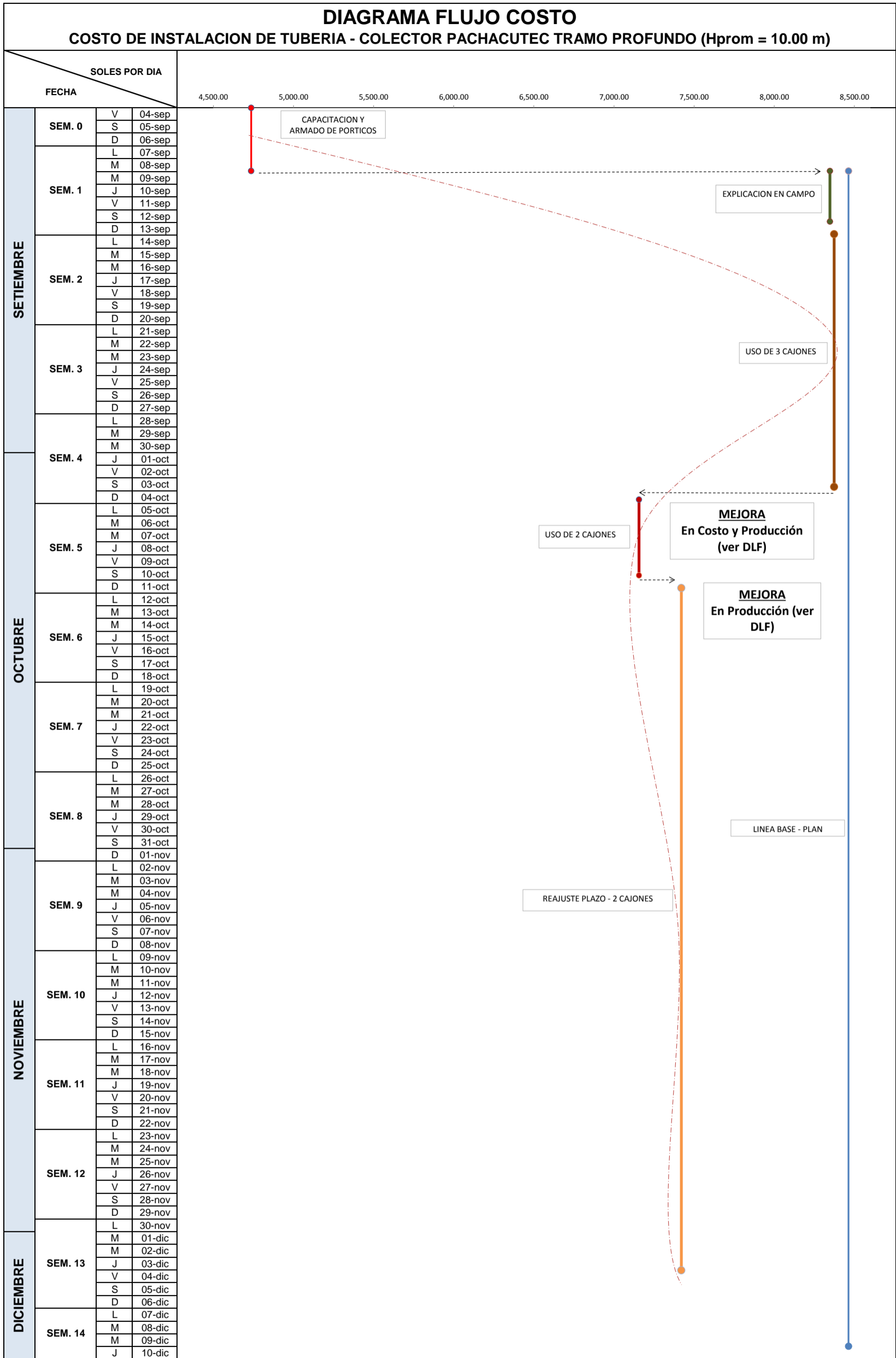


| LEYENDA |  |
|---------|--|
|         | Mejoramiento de Terreno                |
|         | Excavación de Banqueta (N.T. - 4.50 m) |
|         | Retiro de Entibado                     |
|         | Instalación de Entibado y Excavación   |
|         | Instalación de Tubería                 |
|         | Relleno de Zanja                       |
|         | Línea Base - Plan                      |
|         | Línea Balance promedio semanal         |
|         | Proyección del Rendimiento Semana 05   |
|         | Cámara de Inspección o Buzón           |

(Excavación dentro del Entibado, desde N.T. - 4.50 m hasta N.T. - 10.00 m)

**ANÁLISIS DE COSTOS DIARIOS**

| RECURSO             | UND        | OPTIMIZADO                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                     |              |          |                   |                                   |              |          |                   |                   |              |          |                   |                 |  |  |  |
|---------------------|------------|----------------------------|--------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|----------|-------------------|---------------------|--------------|----------|-------------------|-----------------------------------|--------------|----------|-------------------|-------------------|--------------|----------|-------------------|-----------------|--|--|--|
|                     |            | REAJUSTE PLAZO - 2 CAJONES |              |          |                   | 2 CAJONES       |              |          |                   | 3 CAJONES       |              |          |                   | EXPLIACION EN CAMPO |              |          |                   | CAPACITACION Y ARMADO DE PORTICOS |              |          |                   | LINEA BASE - PLAN |              |          |                   |                 |  |  |  |
|                     |            | Cantidad                   | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) | Cantidad        | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) | Cantidad        | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) | Cantidad            | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) | Cantidad                          | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) | Cantidad          | Rend gal/día | P.U.     | Parcial/día (s/.) |                 |  |  |  |
| <b>Equipos</b>      |            |                            |              |          |                   |                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                     |              |          |                   |                                   |              |          |                   |                   |              |          |                   |                 |  |  |  |
| CAMION GRUA         | und        |                            |              |          |                   |                 |              |          |                   | 0.2             | 30           | 750.00   | 150.00            |                     |              |          |                   | 0.25                              | 30           | 750.00   | 187.50            | 0.5               | 30           | 750.00   | 375.00            |                 |  |  |  |
| ENT MET (Cajon)     | und        | 2                          | 0            | 398.49   | 796.98            | 2               | 0            | 398.49   | 796.98            | 3               | 0            | 398.49   | 1,195.47          | 3                   | 0            | 398.49   | 1,195.47          | 3                                 | 0            | 398.49   | 1,195.47          | 3                 | 0            | 398.49   | 1,195.47          |                 |  |  |  |
| EXO                 | und        | 1                          | 60           | 1,184.00 | 1,184.00          | 1               | 60           | 1,184.00 | 1,184.00          | 1               | 60           | 1,184.00 | 1,184.00          | 1                   | 60           | 1,184.00 | 1,184.00          | 0.75                              | 60           | 1,184.00 | 888.00            | 1                 | 60           | 1,184.00 | 1,184.00          |                 |  |  |  |
| RET                 | und        | 1                          | 17           | 500.00   | 500.00            | 1               | 17           | 500.00   | 500.00            | 1               | 17           | 500.00   | 500.00            | 1                   | 17           | 500.00   | 500.00            | 0                                 | 17           | 500.00   | -                 | 1                 | 17           | 500.00   | 500.00            |                 |  |  |  |
| PL COMP             | und        | 2                          | 5            | 49.00    | 98.00             | 2               | 5            | 49.00    | 98.00             | 2               | 5            | 49.00    | 98.00             | 2                   | 5            | 49.00    | 98.00             | 0                                 | 5            | 49.00    | -                 | 2                 | 5            | 49.00    | 98.00             |                 |  |  |  |
| <b>Mano de Obra</b> |            |                            |              |          |                   |                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                     |              |          |                   |                                   |              |          |                   |                   |              |          |                   |                 |  |  |  |
| Cap                 | und        | 1                          |              | 260.00   | 260.00            | 1               |              | 200.00   | 200.00            | 1               |              | 200.00   | 200.00            | 1                   |              | 200.00   | 200.00            | 1                                 |              | 200.00   | 200.00            | 1                 |              | 200.00   | 200.00            |                 |  |  |  |
| Op Equipo           | und        | 2                          |              | 200.00   | 400.00            | 2               |              | 175.00   | 350.00            | 2.2             |              | 175.00   | 385.00            | 2.2                 |              | 175.00   | 385.00            | 1                                 |              | 175.00   | 175.00            | 3                 |              | 175.00   | 437.50            |                 |  |  |  |
| Op                  | und        | 1                          |              | 195.00   | 195.00            | 1               |              | 170.00   | 170.00            | 3               |              | 170.00   | 510.00            | 3                   |              | 170.00   | 510.00            | 3                                 |              | 170.00   | 510.00            | 2                 |              | 170.00   | 340.00            |                 |  |  |  |
| Of                  | und        | 3                          |              | 160.00   | 480.00            | 3               |              | 140.00   | 420.00            | 3               |              | 140.00   | 420.00            | 3                   |              | 140.00   | 420.00            | 3                                 |              | 140.00   | 420.00            | 2                 |              | 140.00   | 280.00            |                 |  |  |  |
| Pe                  | und        | 2                          |              | 145.00   | 290.00            | 2               |              | 125.00   | 250.00            | 4               |              | 125.00   | 500.00            | 4                   |              | 125.00   | 500.00            | 4                                 |              | 125.00   | 500.00            | 4                 |              | 125.00   | 500.00            |                 |  |  |  |
| Vg                  | und        | 1                          |              | 80.00    | 80.00             | 1               |              | 65.00    | 65.00             | 1               |              | 65.00    | 65.00             | 1                   |              | 65.00    | 65.00             | 1                                 |              | 65.00    | 65.00             | 1                 |              | 65.00    | 65.00             |                 |  |  |  |
| <b>Material</b>     |            |                            |              |          |                   |                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                     |              |          |                   |                                   |              |          |                   |                   |              |          |                   |                 |  |  |  |
| Combustible         | gal        | 87                         |              | 11.34    | 986.58            | 87              |              | 11.34    | 986.58            | 93              |              | 11.34    | 1,054.62          | 93                  |              | 11.34    | 1,054.62          | 52.5                              |              | 11.34    | 595.35            | 102               |              | 11.34    | 1,156.68          |                 |  |  |  |
| Agua                | m3         | 40                         |              | 15.00    | 600.00            | 40              |              | 15.00    | 600.00            | 40              |              | 15.00    | 600.00            | 40                  |              | 15.00    | 600.00            |                                   |              | 15.00    | -                 | 40                |              | 15.00    | 600.00            |                 |  |  |  |
| Arena de Cama       | m3         | 3.07                       |              | 28.00    | 85.88             | 2.56            |              | 28.00    | 71.57             | 1.70            |              | 28.00    | 47.71             | 0.77                |              | 28.00    | 21.47             |                                   |              | 28.00    | -                 | 2.42              |              | 28.00    | 67.63             |                 |  |  |  |
| Afirmado            | m3         |                            |              | 28.00    | -                 |                 |              | 28.00    | -                 |                 |              | 28.00    | -                 |                     |              | 28.00    | -                 |                                   |              | 28.00    | -                 |                   |              | 28.00    | -                 |                 |  |  |  |
| Tuberia             | m          |                            |              |          | -                 |                 |              |          | -                 |                 |              |          | -                 |                     |              |          | -                 |                                   |              |          | -                 |                   |              |          | -                 |                 |  |  |  |
| <b>Subcontrato</b>  |            |                            |              |          |                   |                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                     |              |          |                   |                                   |              |          |                   |                   |              |          |                   |                 |  |  |  |
| VOL (todo costo)    | und        | 2                          |              | 732.00   | 1,464.00          | 2               |              | 732.00   | 1,464.00          | 2               |              | 732.00   | 1,464.00          | 2                   |              | 732.00   | 1,464.00          |                                   |              | 732.00   | -                 | 2                 |              | 732.00   | 1,464.00          |                 |  |  |  |
| Elim. Desmonte      | m3         |                            |              | 14.50    | -                 |                 |              | 14.50    | -                 |                 |              | 14.50    | -                 |                     |              | 14.50    | -                 |                                   |              | 14.50    | -                 |                   |              | 14.50    | -                 |                 |  |  |  |
|                     |            | <b>TOTAL s/. Por dia</b>   |              |          |                   | <b>7,420.44</b> |              |          |                   | <b>7,156.13</b> |              |          |                   | <b>8,373.80</b>     |              |          |                   | <b>8,347.56</b>                   |              |          |                   | <b>4,736.32</b>   |              |          |                   | <b>8,463.28</b> |  |  |  |
| RENDIMIETO (m/día)  |            | 5.68                       |              |          |                   | 4.73            |              |          |                   | 3.16            |              |          |                   | 1.42                |              |          |                   | -                                 |              |          |                   | 4.47              |              |          |                   |                 |  |  |  |
| DIAS                | 79         | 47.00                      |              |          |                   | 6               |              |          |                   | 18              |              |          |                   | 4                   |              |          |                   | 4                                 |              |          |                   | 79                |              |          |                   |                 |  |  |  |
| COSTO PPTO (s/.)    | 740,233.36 |                            |              |          |                   |                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                     |              |          |                   |                                   |              |          |                   |                   |              |          |                   |                 |  |  |  |
| COSTO PLAN (s/.)    | 668,599.02 |                            |              |          |                   |                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                     |              |          |                   |                                   |              |          |                   |                   |              |          |                   |                 |  |  |  |
| COSTO REAL (s/.)    | 594,761.30 | 348,760.66                 |              |          |                   | 42,936.76       |              |          |                   | 150,728.38      |              |          |                   | 33,390.23           |              |          |                   | 18,945.27                         |              |          |                   | 668,599.02        |              |          |                   |                 |  |  |  |
| Real/Ppto           | 80%        |                            |              |          |                   |                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                     |              |          |                   |                                   |              |          |                   |                   |              |          |                   |                 |  |  |  |
| Real/Plan           | 89%        |                            |              |          |                   |                 |              |          |                   |                 |              |          |                   |                     |              |          |                   |                                   |              |          |                   |                   |              |          |                   |                 |  |  |  |



| LEYENDA |                                   |
|---------|-----------------------------------|
|         | Capacitación y Armado de Pórticos |
|         | Explicación en campo              |
|         | Uso de 03 cajones                 |
|         | Uso de 02 cajones                 |
|         | Reajuste plazo - 02 cajones       |
|         | Línea Base - Plan                 |