



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería de métodos para reducir el tiempo de instalación de tuberías en la
Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Industrial

AUTOR(ES)

Montañez Rojas, Alexander
ORCID: 0000-0001-6110-7184

Najarro Cuarez, Carla Cindy
ORCID: 0000-0003-0877-103X

ASESOR

Falcon Tuesta, José Abraham
ORCID: 0000-0002-1070-7304

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Montañez Rojas, Alexander

DNI: 42504526

Najarro Cuarez, Carla Cindy

DNI: 42996050

Datos de asesor

Falcon Tuesta, José Abraham

DNI: 08183404

Datos del jurado

JURADO 1

Quispe Canales, Gustavo Raúl

DNI: 08766026

ORCID: 0000-0002-1871-1295

JURADO 2

Rodríguez Vásquez, Miguel Alberto

DNI: 08544988

ORCID: 0000-0001-9829-2571

JURADO 3

Rivera Lynch, Cesar Armando

DNI: 07228483

ORCID: 0000-0001-9418-5066

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.11.04

Código del Programa: 722026

DEDICATORIA

Dedico con mucho amor la realización de esta tesis a mis queridos padres por su apoyo, consejos, amor y comprensión. Los amo.

Montañez Rojas, Alexander

Dedico esta tesis a mis padres por su amor y apoyo incondicional.

Najarro Cuarez, Carla Cindy

AGRADECIMIENTO

A Dios, por mantenernos enfocados en culminar esta carrera profesional, a nuestros padres, por confiar en nosotros e impulsarnos a cumplir nuestros objetivos, a nuestra casa de estudio y docentes, por contribuir con nuestra formación académica, a nuestro asesor por su interés y compromiso en el proceso que conlleva el realizar nuestro trabajo de investigación.

Montañez Rojas, Alexander

Najarro Cuarez, Carla

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Formulación del problema	7
1.2.1 Problema general	7
1.2.2 Problemas específicos.....	7
1.3 Objetivos	8
1.3.1. Objetivo general	8
1.3.2. Objetivos específicos	8
1.4 Delimitación de la investigación: temporal y espacial.....	8
1.5 Importancia y justificación	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1 Marco histórico	11
2.2 Antecedentes del estudio de investigación.....	13
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	17
2.4 Definición de términos básicos	30
2.5 Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis	33
2.6 Hipótesis.....	34
2.6.1 Hipótesis general	34
2.6.2 Hipótesis específicas.....	35
2.7 Variables	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.1 Enfoque, tipo, nivel y diseño de la investigación	36
3.2 Población y muestra	37
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	39
3.3.1 Tipos de técnicas e instrumentación	40
3.3.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	42
3.3.3 Procedimientos para la recolección de datos	43
3.4 Descripción de procedimientos de análisis de datos.....	43
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	45

4.1 Presentación de resultados	45
4.2 Análisis de Resultados.....	103
CONCLUSIONES.....	118
RECOMENDACIONES.....	120
REFERENCIAS	121
ANEXOS	123
Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	123
Anexo 2: Matriz de Operacionalización.....	124
Anexo 3: Acta de autorización por parte de la empresa	125
Anexo 4: Ensayo de Corte directo a gran escala (muestreo de suelo)	126
Anexo 5: Cronograma de actividades Pre, Implementación y Post.....	127
Anexo 6: Formatos de Calidad	134
Anexo 7: Presupuesto de antes y después de Instalación de tubería de agua y alcantarillado	138
Anexo 8: Especificaciones técnicas de Minicargador y Excavadora.....	140
Anexo 9: Calificación de una distribución de datos, según el grado de dispersión	142

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de calificación del Sistema Westinghouse	24
Tabla 2: Tabla del sistema de suplementos por descansos.....	26
Tabla 3: Unidad de análisis y Muestra PRE y POST por cada una de las variables	39
Tabla 4: Técnicas e Instrumentos.....	41
Tabla 5: Matriz de Análisis de Datos	44
Tabla 6: D.A.P. del ciclo Pre de excavación.....	54
Tabla 7: Productividad Pre de la actividad de excavación.....	55
Tabla 8: Formato de Toma de tiempo del ciclo Pre de excavación	56
Tabla 9: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Pre de excavación	57
Tabla 10: Formato de Toma de tiempo del ciclo Post de Excavación	61
Tabla 11: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Post de excavación.....	63
Tabla 12: D.A.P. del ciclo Post de excavación	65
Tabla 13: Productividad Post de la actividad de excavación	68
Tabla 14: D.A.P de ciclo Pre de obra civil	73
Tabla 15: Productividad Pre de la actividad de obra civil.....	74
Tabla 16: Formato de Toma de tiempo del ciclo Pre de obra civil.....	75
Tabla 17: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Pre de obra civil	76
Tabla 18: Formato de Toma de tiempo del Ciclo Post de obra civil.....	80
Tabla 19: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Post de obra civil	81
Tabla 20: D.A.P de ciclo Post de obra civil	83
Tabla 21: Productividad Post de la actividad de obra civil	85
Tabla 22: D.A.P de ciclo Pre de instalacion de redes de agua	89
Tabla 23: Productividad Pre de la actividad de Instalacion de redes de agua	90
Tabla 24: Formato de Toma de tiempo del ciclo Pre de instalación de tubería de alcantarillado	91
Tabla 25: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Pre de instalación de tubería de alcantarillado	92
Tabla 26: Formato de Toma de tiempo del Ciclo Post de instalacion de redes de agua.	95
Tabla 27: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Post de instalación de tubería de alcantarillado	97
Tabla 28: D.A.P de ciclo Post de instalacion de redes de agua.....	99
Tabla 29: Productividad Pre de la actividad de Instalacion de redes de agua	102
Tabla 30: Resumen de resultados	103

Tabla 31: Datos de muestra Pre Test del ciclo de la tarea de excavación	104
Tabla 32: Datos de muestra Post Test del Tiempo de ciclo de la tarea de excavación.	104
Tabla 33: Prueba de Normalidad para la tarea de excavación.....	105
Tabla 34: Prueba no paramétrica de U de Mann Whitney	106
Tabla 35: Medidas descriptivas la tarea de excavación	108
Tabla 36: Datos de muestra Pre Test del ciclo de la tarea de obra civil.....	109
Tabla 37: Datos de muestra Post Test del ciclo de la tarea de obra civil	109
Tabla 38: Prueba de Normalidad para la tarea de obra civil	110
Tabla 39: Prueba no paramétrica de U de Mann Whitney	110
Tabla 40: Medidas descriptivas la tarea de obra civil.....	112
Tabla 41: Datos de muestra Pre Test del ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	113
Tabla 42: Datos de muestra Post Test del ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	114
Tabla 43: Prueba de Normalidad para la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	114
Tabla 44: Prueba paramétrica t para grupos independientes	115
Tabla 45: Medidas descriptivas la tarea de instalación de tubería de alcantarillado....	117
Tabla 46: Matriz de consistencia	123
Tabla 47: Matriz de Operacionalización.....	124
Tabla 48: Cronograma Pre de actividad de excavación	127
Tabla 49: Cronograma Pre de actividad de obra civil.....	128
Tabla 50: Cronograma Pre de actividad de instalacion de redes de agua.....	129
Tabla 51: Cronograma de Implementación.....	130
Tabla 52: Cronograma Post de actividad de excavación	131
Tabla 53: Cronograma Post de actividad de obra civil	132
Tabla 54: Cronograma Post de actividad de instalación de tubería de alcantarillado ..	133
Tabla 55: Formato de Control Topográfico	134
Tabla 56: Formato de Avance de Trabajos de Excavación	135
Tabla 57: Formato de Reporte de Obra Civil.....	136
Tabla 58: Formato de Tendido de Tuberías	137
Tabla 59: Presupuesto de intalación de tuberías (antes)	138
Tabla 60: Presupuesto de intalación de tuberías (despues)	139
Tabla 61: Calificación de una distribución de datos, según el grado de dispersión	142

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plano de la Línea 2 Metro de Lima	1
Figura 2: Plano Línea 2 Metro de Lima	2
Figura 3: Ubicación de la zona de estudio de suelo.....	3
Figura 4: Ubicación de la zona de estudio	3
Figura 5: Tramo BP-4 al BP-5.....	4
Figura 6: Interferencias en obra	4
Figura 7: Árbol del problema: en tarea de excavación	5
Figura 8: Árbol del problema: en tarea de obra civil.....	6
Figura 9: Árbol del problema: en tarea de instalación de tubería de alcantarillado	7
Figura 10: Ubicación de la obra.....	8
Figura 11: Personajes y eventos que contribuyeron en la historia de la Ingeniería de métodos.....	12
Figura 12: Estudio del trabajo.....	18
Figura 13: Cronómetro digital	20
Figura 14: Tablero	20
Figura 15: Formularios para reunir datos	21
Figura 16: Formularios para analizar datos	21
Figura 17: El Tiempo Estándar y sus componentes	22
Figura 18: Árbol de Problemas	27
Figura 19: Diagrama de Gantt	27
Figura 20: Simbología Diagrama de Análisis de Procesos	28
Figura 21: D.O.P de fabricación de bases para teléfono	29
Figura 22: Diagrama de flujo del proceso para la inspección en campo de LUX.....	30
Figura 23: Justificación de las hipótesis	34
Figura 24: Plano de catastro de la Línea 2 Metro de Lima	43
Figura 25: Organigrama de servicios	45
Figura 26: Pasos a seguir para mejora de procesos	47
Figura 27: Mapa de Procesos de la empresa HM.....	47
Figura 28: Tareas que conforman el ciclo Pre de excavación	48
Figura 29: Actividad de excavación.....	51
Figura 30: Trayectoria ida y vuelta del volquete del parque al punto de acopio	52
Figura 31: D.O.P. de ciclo Pre de excavación.....	53

Figura 32: Pasos para la Aplicación del Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos para el ciclo de excavación.....	55
Figura 33: Minicarador CAT 246D3.....	58
Figura 34: Excavadora M320D2.....	59
Figura 35: D.O.P. de ciclo Post de excavación	64
Figura 36: Escenario de actividad de excavación.....	67
Figura 37: Tareas que conforman el ciclo Pre de obra civil.....	69
Figura 38: Construcción de la base pentagonal.....	71
Figura 39: Construcción del cuerpo secundario	71
Figura 40: D.O.P. de ciclo Pre de obra civil	72
Figura 41: Pasos para la Aplicación del Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos para el ciclo de obra civil	74
Figura 42: Piezas prefabricadas de buzón (cuerpo principal y cuerpo secundario)	77
Figura 43: Tareas que conforman del ciclo Post de obra civil.....	78
Figura 44: D.O.P. de ciclo Post de obra civil.....	82
Figura 45:Traslado de partes del buzón prefabricados a obra	84
Figura 46: Buzones colocados en obra	85
Figura 47: Tareas que conforman el ciclo Pre de obra civil.....	86
Figura 48: Actividad de obra civil	87
Figura 49: D.O.P. de ciclo Pre de instalación de redes de agua	88
Figura 50: Pasos para la Aplicación del Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos para el ciclo de instalación de redes de agua	90
Figura 51: Termofusión de tuberías fuera de excavación	93
Figura 52: Izaje de tubería termo-fusionada	94
Figura 53: Tareas que conforman del Post ciclo de instalación de tubería de alcantarillado	94
Figura 54: D.O.P. de ciclo Post de instalación de tubería de alcantarillado	98
Figura 55:Tarea del ciclo Post de instalación de tubería de alcantarillado.....	101
Figura 56: Diagrama de cajas y bigotes (boxplot) para la tarea de excavación	107
Figura 57: Gráfica de líneas de las muestras Pre Test y Post Test de excavación	107
Figura 58: Gráfica de líneas de la tarea de excavación.....	108
Figura 59: Diagrama de cajas y bigotes (boxplot) para la tarea de obra civil.....	111
Figura 60: Gráfica de líneas de las muestras Pre Test y Post Test de obra civil.....	112
Figura 61: Gráfica de líneas de la tarea de obra civil	113

Figura 62: Diagrama de cajas y bigotes (boxplot) para la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	116
Figura 63: Gráfica de líneas de las muestras Pre Test y Post Test de instalación de tubería de alcantarillado	116
Figura 64: Gráfica de líneas de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado.....	117
Figura 65: Acta de autorización por parte de la empresa.....	125
Figura 66: Ensayo de Corte directo a gran escala (muestreo de suelo).....	126
Figura 67: Especificaciones técnicas del Minicargador CAT 246D3	140
Figura 68: Especificaciones técnicas de la Excavadora M320D2	141

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, ha sido elaborado con la finalidad de aplicar la ingeniería de métodos para mejorar el tiempo de instalación de tuberías en la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima, ubicado dentro del Parque de la Exposición. Se identificaron 3 actividades principales: excavación, obra civil e instalación de tubería de alcantarillado.

La metodología de la investigación es de tipo aplicada, se tiene un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y de diseño cuasiexperimental, se han tomado en cuenta los tiempos de cada actividad desde el inicio de la tarea de excavación hasta la instalación de las tuberías, con la finalidad de medir la productividad de antes y después de la aplicación de la ingeniería de métodos.

Las herramientas de la ingeniería de métodos que se aplicaron en el presente trabajo de investigación son: el estudio de tiempo y el análisis de operaciones. Los resultados obtenidos del antes y después de la implementación de la propuesta de mejora de procesos, se ingresaron al programa estadístico RStudio versión 4.2.1. para su respectivo análisis, resultando la negación de las hipótesis nulas.

En conclusión, se aceptaron la hipótesis general y específicas planteadas en el presente trabajo de investigación, determinando que la aplicación de la ingeniería de métodos mejora el tiempo de instalación de tuberías en la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima

Palabras clave: Ingeniería de métodos, estudio de tiempo, análisis de operaciones.

ABSTRACT

This research work has been elaborated with the purpose of applying methods engineering to improve the pipe installation time in the Central Station of the Lima Subway, located inside the Exposition Park. Three main activities were identified: excavation, civil works and sewer pipe installation.

The methodology of the research is of applied type, it has a quantitative approach, of explanatory level and quasi-experimental design, the times of each activity have been taken into account from the beginning of the excavation task until the installation of the pipes, with the purpose of measuring the productivity before and after the application of the methods engineering.

The method engineering tools that were applied in this research work are: the time study and the operations analysis. The results obtained before and after the implementation of the process improvement proposal were entered into the statistical program RStudio version 4.2.1. for their respective analysis, resulting in the negation of the null hypotheses. In conclusion, the general and specific hypotheses proposed in this research work were accepted, determining that the application of methods engineering improves the pipe installation time in the Central Station of the Lima Subway.

Keywords: Methods engineering, time study, operations analysis.

INTRODUCCIÓN

En el Perú se viene atravesando por una crisis en el transporte público, afrontamos problemas como: la congestión, la informalidad y la contaminación. Lima es la décimo novena ciudad con peor congestionamiento vehicular a nivel mundial de acuerdo con el TomTom Traffic Index 2021.

La empresa responsable de los trabajos de instalación de tuberías de agua y alcantarillado en la Estación Central E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima presenta retrasos en la ejecución del proyecto, se plantea que aplicando la ingeniería de métodos se mejorará el tiempo de cada ciclo de las tareas que involucran la realización del trabajo ya mencionado.

En el capítulo I, se formula el problema general y tres problemas específicos, se proponen los objetivos generales y específicos de la investigación, se delimita el proyecto en el espacio y tiempo, se justifica el estudio a nivel: teórico, práctico, metodológico y económico. En el Capítulo II, se expone el marco teórico de la investigación, se presenta el marco histórico, los antecedentes del estudio de investigación, la estructura teórica y científica que sustenta el estudio, definición de términos básicos, fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis y las hipótesis general y específicas. En el capítulo III, se describe la metodología de la investigación, según el enfoque, tipo, nivel y diseño de la investigación, se presenta la población y muestra del estudio, también se exponen las técnicas e instrumentos de recolección de datos, el tipo de técnicas e instrumentación, los criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos, los procedimientos para la recolección de datos y se realiza la descripción de procedimientos y análisis de datos. En el capítulo IV, se realiza la presentación (pre y post test) y el análisis de los resultados de la investigación.

Para finalizar el presente trabajo se plantean las conclusiones y recomendaciones en las cuales se propone que, con la implementación de máquinas para la actividad de excavación, la construcción de las partes de los buzones en almacén para la actividad de obra civil y realizando la termofusión de tuberías en un área cercana a la zona excavada, se puede lograr una reducción del tiempo improductivo de las actividades ya mencionadas.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En el Perú se viene ejecutando la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao desde el año 2014. La obra conectará a los distritos de: Ate Vitarte, Santa Anita, El Agustino, San Luis, La Victoria, Cercado de Lima, Breña, Bellavista, Callao y Carmen de la Legua.

El tiempo estimado del recorrido del metro es de 45 minutos. Esta obra se viene realizando con la finalidad de reducir la congestión vehicular y contribuir con el cuidado del medio ambiente.

En la figura 1 se puede visualizar el mapa geográfico de las líneas del metro L1; L2; L3; L4 y L5, resaltando el tramo de la Línea 2 del Metro de Lima, este tramo sirve de referencia para la localizar la Estación Central (E13), que es donde se realizó el trabajo de investigación. (L2: línea color amarilla)



Figura 1: Plano de la Línea 2 Metro de Lima

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2 se muestra el plano de la Estación Central E13 de la Línea 2 Metro de Lima.



Figura 2: Plano Línea 2 Metro de Lima

Fuente: Elaboración propia

La empresa peruana HM SERVICIOS INDUSTRIALES S.A.C con 20 años de experiencia en gestión de interferencias, elaboración de proyectos sanitarios, ejecución de obras sanitarias y obras civiles, es la encargada de ejecutar los trabajos de reubicación de agua potable y alcantarillado de la Estación Central E13 de la Línea 2 del Metro de Lima.

Para poder ejecutar los trabajos de instalación de redes de agua y alcantarillado, se realizó un estudio de suelo a solicitud del Consorcio constructor M2 de Lima, con la finalidad de determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo. La muestra de suelo para el ensayo de corte directo a gran escala fue extraída del fondo de una excavación manual (calicata) de 15.0 m de profundidad, ubicada en el cruce de la Av. 28 de Julio y Jr. Renovación, en el distrito de la Victoria (Ver Figura 3). Los ensayos de caracterización física determinan que la muestra obtenida en campo corresponde a una grava sub-redondeada, con clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos): Grava pobremente gradada con arena (GP), de TM 10". La granulometría integral señala que la muestra ensayada está compuesta por los siguientes porcentajes: 0.0 % de bloques, 41.0 % de cantos, 32.5 % de gravas, 21.5 % de arenas y 1.3 % de finos. (Ver Anexo 4)



Figura 3: Ubicación de la zona de estudio de suelo
Fuente: Google Earth

El trabajo de investigación se desarrolla dentro del Parque de la Exposición, ubicado en el Centro de Lima. (Ver Figura 4).



Figura 4: Ubicación de la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la evaluación permanente de las actividades de: excavación, obra civil e instalación de tubería de alcantarillado del tramo BP-4 al BP-5 de longitud 55m (Ver Figura 5) se identificó una brecha en el programa de actividades (demoras). Las demoras pudieron ser detectadas al realizar toma de tiempos para las maquinarias y mano de obra. Se ha realizado un comparativo con los datos estándar de desempeño de la revista Costos Construcción Arquitectura e Ingeniería

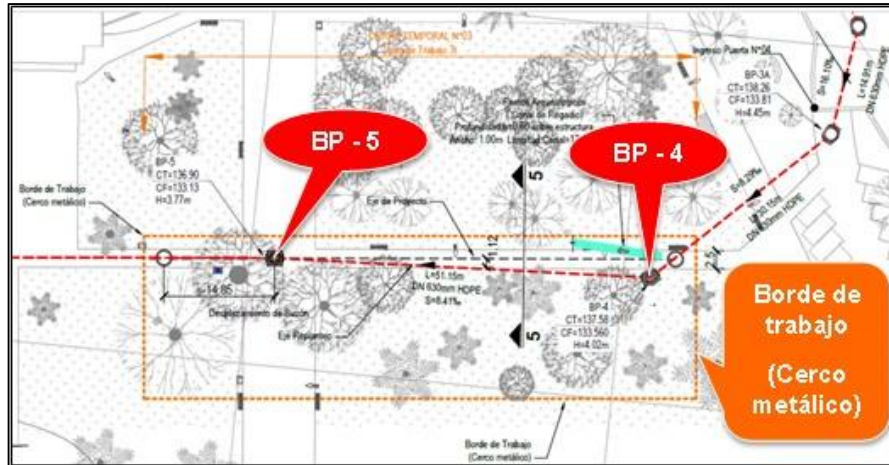


Figura 5: Tramo BP-4 al BP-5
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 5: Tramo BP-4 al BP-5 se tiene un área de trabajo de $24.86 \times 120.26 \text{ m}^2$, donde se encontraron interferencias como árboles, tuberías, bloques de concreto (Vicios ocultos) que dificultaban la fluidez en la ejecución de obra (Ver Figura 6).



Figura 6: Interferencias en obra
Fuente: Elaboración propia

Se hizo uso del árbol de problemas para identificar las causas y efectos de los tiempos improductivos encontrados en las actividades principales para la instalación de tuberías y alcantarillado de la Estación Central E13 de la Línea 2 del Metro de Lima. En la Figura 7 se describen tres causas que generan tiempo improductivo en las tareas de excavación, también se plantean tres efectos del problema.

Causa N°1: Espacio limitado para realizar las tareas de excavación. Se refiere al área asignada por la supervisión del Parque de la Exposición para la ejecución de los trabajos.

Causa N°2: Interferencias dentro del espacio limitado. Se refiere a las áreas verdes (árboles) y vía peatonal, que se deben evitar dañar al realizar los trabajos.

Causa N°3: Interferencias existentes no catastradas. Se refiere a las interferencias que no están registradas en los planos como tuberías, como lo son: los vestigios históricos, las líneas eléctricas y los bloques de concreto.

Efecto N°1: Retrasos con el cumplimiento del cronograma. Se refiere al incumplimiento de ejecución de obra en el plazo establecido presentado al cliente.

Efecto N°2: Incremento de costos de los recursos. Se refiere a un sobre costo no presupuestado que se genera al incumplir el cronograma, se incrementan los días de trabajo.

Efecto N°3: Cliente insatisfecho. Riesgo de penalidad. Se refiere a la probabilidad que el proyecto se extienda por más tiempo del estipulado en el contrato.

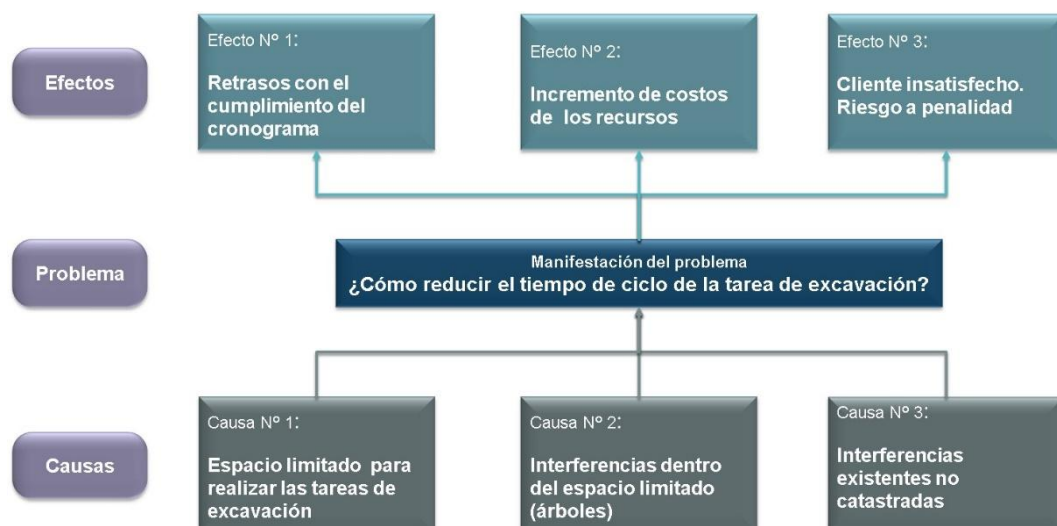


Figura 7: Árbol del problema: en tarea de excavación
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8 se describen tres causas que generan un tiempo improductivo en las tareas de obra civil, también se plantean tres efectos del problema.

Causa N°1: Vaciado de concreto realizado de forma manual in situ. Se refiere a la construcción de los buzones BZ4 y BZ5 dentro del área de excavación, mediante el uso de máquinas mezcladoras mecánico manual.

Causa N°2: Espacio insuficiente para la preparación de la mezcla. Se refiere al área de trabajo que presenta elementos que obstruyen la productividad del trabajo.

Causa N°3: Exceso de personal para tarea específica. Se refiere a la sobredimensión de trabajo por actividad, se registra personal que no está siendo productivo.

Efecto N°1: Incremento de costos de los recursos. Se refiere a la utilización de las maquinaria y mano de obra, el costo que genera ocupar dichos recursos por más tiempo de lo programado.

Efecto N°2: Control de calidad recurrente. Se refiere a la inspección diaria de los trabajos realizados durante la jornada laboral.

Efecto N°3: Sobrecosto de mano de obra. Se refiere al costo que genera el personal que se encuentra en obra y no está siendo productivo.

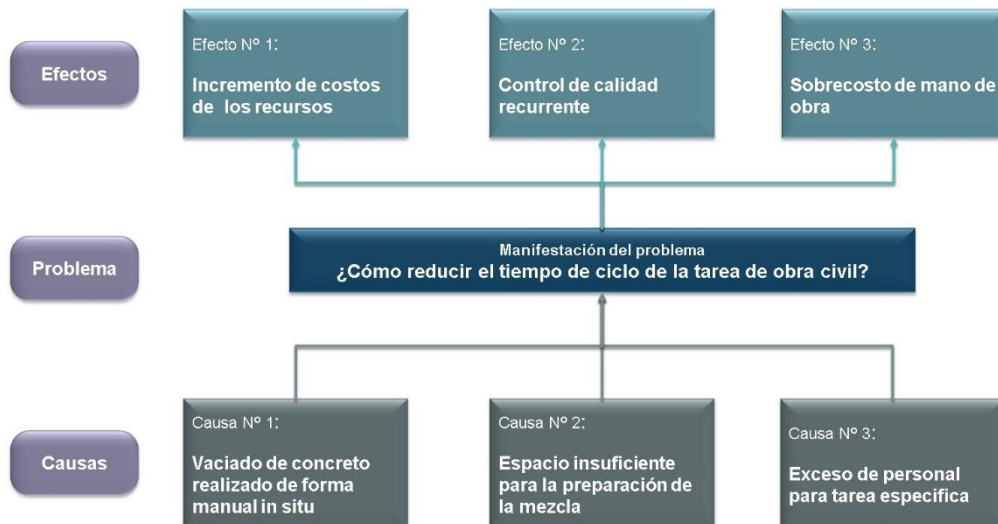


Figura 8: Árbol del problema: en tarea de obra civil
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9 se describen tres causas que generan un tiempo improductivo en las tareas de instalación de tubería de alcantarillado, también se plantean tres efectos del problema.

Causa N°1: Espacio reducido de trabajo. Se refiere al espacio excavado para el diámetro de la tubería a instalar.

Causa N°2: Izaje individual de tubería, genera más tiempo de trabajo. Se refiere a la colocación de cada tubería (se eleva a 12m sobre el nivel del terreno) dentro de la zona de excavación.

Causa N°3: Demora en el empalme de tubería. Se refiere al tiempo que toma termofusionar cada tubería. También se toma en cuenta las veces que se introduce la máquina de termofusión dentro de la zona de excavación

Efecto N°1: Demora en los traslados de maquinaria. Se refiere al recorrido realizado por la maquinaria por la vía principal.

Efecto N°2: Sobrecosto en el alquiler de equipos y mano de obra. Se refiere al costo por retener por más tiempo equipos y personal.

Efecto N°3: Sobrecosto en el servicio de termofusionador. Se refiere al costo que genera el alquiler del equipo por días no programados.

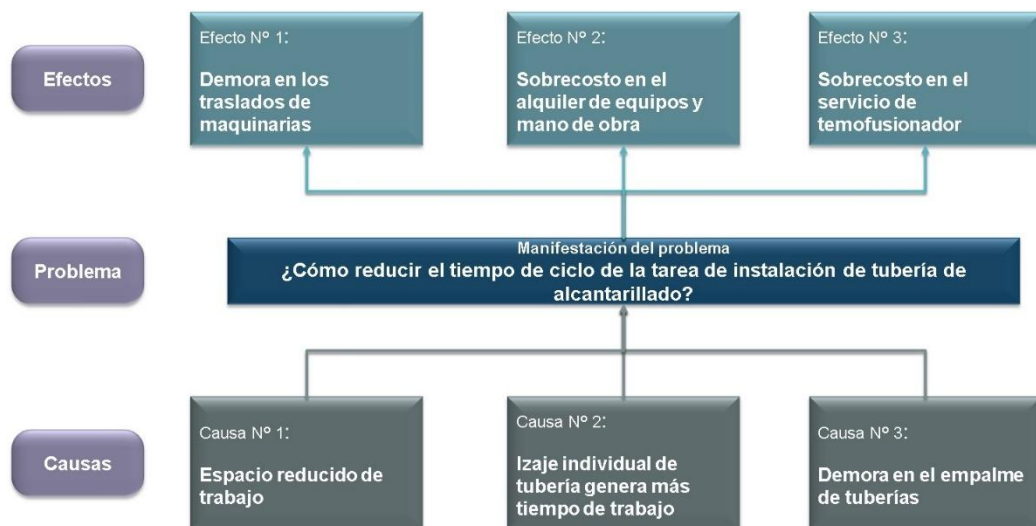


Figura 9: Árbol del problema: en tarea de instalación de tubería de alcantarillado
Fuente: Elaboración propia

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo mejorar el tiempo de instalación de tuberías en la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo reducir el tiempo de ciclo de la tarea de excavación?
- ¿Cómo reducir el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil?
- ¿Cómo reducir el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar la ingeniería de métodos para mejorar el tiempo de instalación de tuberías en la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Aplicar el análisis de operaciones / Estudio de tiempos para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de excavación
- b. Aplicar el análisis de operaciones / Estudio de tiempos para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil.
- c. Aplicar el análisis de operaciones / Estudio de tiempos para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado.

1.4 Delimitación de la investigación: temporal y espacial

Delimitación temporal: el presente estudio comprende desde el 02 de mayo del 2022 hasta el 05 de julio del 2022 (Ver Anexo 5: cronograma de actividades pre, etapa de implementación y post)

Delimitación espacial: El trabajo de investigación se lleva a cabo en la ciudad de Lima, el tramo a estudiar está ubicado dentro del parque de la exposición en el centro de Lima. (Ver Figura 10)



Figura 10: Ubicación de la obra
Fuente: Google maps

1.5 Importancia y justificación

Importancia del estudio

"Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendiente a resolver, entre tantas, una necesidad humana."(Nassir Sapag Chain y Reinaldo Sapag Chain, 2008, p. 01)

Como se ha venido mencionando el proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima presenta beneficios como: el ahorro del costo de operación vehicular, reducción en el índice de accidentes vehiculares, reducción de contaminación ambiental, permitirá al usuario un viaje de 45 minutos aproximados desde la estación de Ate Vitarte hasta la estación del Carmen de la Legua, entre otros.

La importancia del presente trabajo de investigación es mejorar el tiempo de instalación de tuberías de agua y alcantarillado para la Estación Central E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima. Se plantea una propuesta de mejora que consiste en hacer uso de las herramientas de la ingeniería de métodos.

Se busca lograr una reducción del tiempo del ciclo de las tareas de excavación, obra civil e instalación de tubería de alcantarillado, para ello se realiza un estudio de tiempo y de análisis de operaciones. Estas mejoras tendrán un impacto positivo en la imagen de la empresa que ejecuta el trabajo, el cliente podrá considerarla (a la empresa) para un próximo proyecto.

Justificación teórica

"...implica indicar que el estudio va a permitir realizar una innovación científica para lo cual es necesario hacer un balance o estado de la cuestión del problema que se investiga; explicar si va servir para refutar resultados de otras investigaciones..." (Humberto Ñaupas Paitan, 2014, p.164)

En el desarrollo del trabajo de investigación se aplicaron procedimientos ya existentes de ingeniería de métodos. Para obtener nuevos conocimientos sobre mejora de procesos y base de datos, las cuales permiten plantear una solución en cada etapa de estudio sobre como incrementar la productividad. Para ser incorporado como conocimiento dentro de la empresa.

Justificación Práctica

"Se considera que una investigación tiene justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo." (Cesar A. Bernal, 2010, p.106)

El presente trabajo de investigación se justifica desde el punto de vista práctico, al plantear la solución a los principales problemas de las actividades de excavación, trabajos civiles e instalación de tubería de alcantarillado para la obra de la Línea 2 del Metro de Lima. Con la aplicación de la ingeniería de métodos se mejora el proceso productivo.

Justificación Metodológica

Cuando se indica que el uso de determinadas técnicas e instrumentos de investigación pueden servir para otras investigaciones similares. Puede tratarse de técnicas o instrumentos novedosos como cuestionarios, test, pruebas.... que puedan utilizarse en investigaciones similares. (Humberto Ñaupas Paitan, 2014, p.164)

El presente trabajo de estudio, sirve para la elaboración de técnicas de trabajo y aplicación de métodos científicos teniendo como base una muestra de la población, variables y procedimientos a seguir. Con la implementación de un plan de mejora que demuestra el incremento de la productividad en la empresa, generando un impacto positivo en distribuciones de actividades. Dicha investigación servirá como referente para nuevas metodologías de trabajo ya que es bastante común en el rubro de instalación de tuberías de redes de agua y alcantarillado.

Justificación Económica

“Cuando en un trabajo de grado se realiza un análisis económico de un sector de la producción, su justificación es práctica porque genera información que podría utilizarse para tomar medidas tendientes a mejorar ese sector.” (Cesar A. Bernal, 2010, p.106)

Al aplicar la ingeniería de métodos en la instalación de tuberías de agua y alcantarillado en la estación E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima, lograremos reducir los tiempos improductivos y con ello se elevará la productividad, dando como resultado más utilidad para la empresa

La obra de la Línea 2 del Metro de Lima permitirá un ahorro de tiempo y dinero para el usuario final.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

Historia de la ingeniería de métodos

La ingeniería o estudio de métodos tiene su origen a finales del siglo XVIII y principios del XIX, en Gran Bretaña.

En el año 1760, el ingeniero francés Jean Rodolphe Perronet realizó diversos estudios de tiempo con respecto a la fabricación de alfileres comunes.

El economista inglés Charles Babbage en el año 1820 llevo a cabo estudios de tiempo relacionados con la fabricación con los alfileres N° 11

Frederick Taylor reconocido también como “El Padre de la Administración Científica”, desarrollaba estándares y capacitaba al personal para el cumplimiento las tareas asignadas. En el año 1881 empezó su trabajo sobre el estudio de tiempo. Desarrolló un sistema que se basa en el concepto de tarea. Propuso que la administración era responsable de: planificar el trabajo de cada empleado como mínimo un día antes, dar instrucciones describiendo detalladamente la tarea e indicando los medios que deberían usar para efectuarla.

En 1920 la llamada administración científica del trabajo retornaba en tres puntos claves; la información, la productividad y la remuneración (Salario).

Harrington Emerson autor del libro Doce Principios de Eficiencia, libro que se basa en los procedimientos necesarios para realizar tareas eficientes. En 1911 Emerson dio a conocer su primer principio de administración, dicho principio fue: “la gente trabaja más eficazmente, cuando tiene metas claramente definidas”.

En 1917, Henry Gantt desarrolló un sistema de diagramas conformados por barras horizontales que permiten visualizar la programación de las tareas, en una escala de tiempo. Este diagrama permite obtener una mejor gestión del tiempo.

En el año 1924 Lilian y Frank Gilbreth desarrolló una nueva teoría: todos los movimientos humanos, pueden reducirse a 17 elementos básicos de movimiento, esta investigación tiene el fin de lograr mejoras convenientes, eliminando movimientos innecesarios y simplificando aquellos que son requeridos, para conseguir una máxima eficiencia.

En 1936 se crea SAM Society for Advancement of Management o Sociedad para el avance de la gestión en español, esta sociedad tiene como finalidad enseñar, desarrollar y comunicar nuevas técnicas y mantener los estándares.

En 1940, Cooke y Philip Murray, publicaron el Trabajo organizado y producción, en este documento proponen que la meta debía girar en torno a la productividad. Se debe gestionar las habilidades y técnicas en los trabajadores alineándolas con la dirección de la empresa, manteniendo un equilibrio en el uso racional de los recursos materiales y humanos de la producción.

En 1948 se fundó el Instituto de ingenieros industriales en Nueva York - EEUU, una organización profesional que promueve, apoya, y define la Ingeniería Industrial y a sus profesionales.

La Ingeniería de métodos en la actualidad se basa en la estandarización de procesos y enfoque al desarrollo de modelos ergonómicos y diseño de puestos de trabajo.

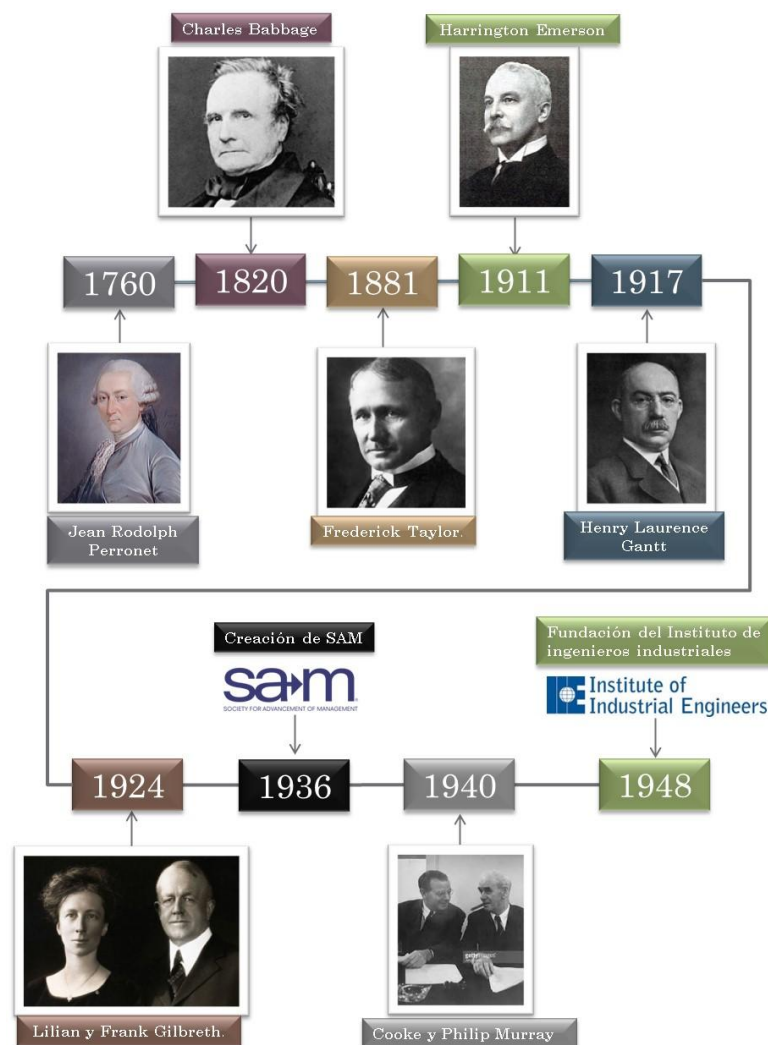


Figura 11: Personajes y eventos que contribuyeron en la historia de la Ingeniería de métodos
Fuente: Elaboración propia

En la actualidad la ingeniería de métodos se enfoca en el mejoramiento de:

- Los procesos y/o procedimientos y tareas.
- Lugar de trabajo.

- Diseño de instrumentos.
- Instalaciones y condiciones de trabajo.
- Reducir el esfuerzo humano.
- Reducir el uso de materiales.

En el presente estudio de investigación aplicaremos herramientas de la ingeniería de métodos, herramientas como la capacidad de producción y el análisis de operaciones / estudio de tiempos para incrementar la productividad en las actividades de: excavación, obra civil e instalación de tubería de alcantarillado en la estación E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima. Buscamos reducir el tiempo improductivo de dichas actividades.

2.2 Antecedentes del estudio de investigación

A continuación, se muestran las siguientes tesis que empleamos como referencia al estar relacionadas con las variables del presente estudio.

Nacional

- a. Canales y Ortega (2021) en su tesis para optar al título profesional Ingeniero Industrial “Plan de mejora de procesos para incrementar la productividad de la línea de llenado de alcohol en una droguería” presentada a la Universidad Ricardo Palma, consideró lo siguiente:

La investigación tuvo como escenario una planta de embotellado de alcohol, teniendo como problema principal el incumplimiento con la demanda, la cual se incrementó considerablemente por la coyuntura actual.

Como objetivo se trazó, implementar un plan de mejora en la línea de llenado de alcohol, para incrementar la productividad en una droguería a través de la aplicación de un plan de mejora de procesos.

La tesis tiene un diseño de investigación de tipo casi experimental, manipula por lo menos una variable independiente viendo el efecto que causa en la variable dependiente.

Arribó a las siguientes conclusiones:

1. Se eliminó el cuello de botella que se produjo en la situación Pre Test con la nueva tecnología aplicada en la ejecución de las actividades. En la situación Post Test se empleó el cálculo del tiempo estándar y el balance de línea, para encontrar el mejor orden para la asignación de recursos y reducir tiempos.

Esto se demuestra en la mejora de la productividad, donde la situación Pre Test fue de 19 und./H-M y en la Post Test de 28 und./H-M.

2. Con la adquisición de una nueva máquina embotelladora también se pudo reducir el número de operarios de 4 a 3. La productividad de la mano de obra Pre Test y Post Test fueron las siguientes: 26.6 und. / H-H y 43 und. / H-H.

El aporte de la tesis al presente estudio de investigación:

La tesis descrita anteriormente, influye en la realización del presente estudio de investigación al dar las pautas de como plantear un plan de mejora a través de la elaboración de un diagrama de análisis de procesos (D.A.P)

- b. Burga y Morales (2021) en su tesis para optar al título profesional Ingeniero Industrial “plan de mejora de procesos para incrementar la productividad en una empresa procesadora de cítricos” presentada a la Universidad Ricardo Palma consideró lo siguiente:

La investigación tuvo como escenario la empresa FRUTIPACK HUARAL S.A.C., empresa que se dedica al procesamiento de frutos cítricos, empaquetado y venta.

Se trazó como objetivo implementar un plan de mejora de procesos, para elevar la productividad en la empresa procesadora de cítricos ya mencionada.

La tesis tiene un diseño de investigación de tipo casi experimental, se desea ver el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes en una situación controlada por el investigador.

Arribó a las siguientes conclusiones:

1. Implementando un plan de mejora de procesos se observa el incremento la productividad, antes de la implementación se producía un total de 4320 toneladas mensuales y con la implementación se obtuvo como resultado un total de 5950 toneladas, dando como resultado un incremento del 37.69% en su productividad.
2. Estandarizando los procesos, se redujo la cantidad de horas hombre trabajadas al día, antes se trabajaba 318 horas mensuales y al final de la implementación 260 horas trabajadas mensualmente, hubo una reducción del 18.23% en las horas trabajadas al día.

El aporte de la tesis al presente estudio de investigación:

La tesis descrita anteriormente, influye en la realización del presente estudio de investigación al dar las pautas de como plantear un plan de mejora a través de la elaboración de un diagrama de operaciones del proceso (D.O.P) de la empresa para tener un mejor entendimiento de los subprocesos o tareas involucradas en las actividades de excavación, obra civil e instalación de tubería de alcantarillado.

- c. Díaz (2021) en su tesis para optar al título profesional Ingeniero Industrial “Aplicación de la ingeniería de métodos para aumentar la productividad en el proceso de ampliación de redes de agua potable y alcantarillado en la empresa consultoría y ejecutora en obras ProjectPeru SAC” presentada a la Universidad Tecnológica del Perú, consideró lo siguiente:

La tesis tuvo como escenario la empresa de PROJECTPERU SAC. especializada en la ejecución de obras civiles.

Se trazó como objetivo aplicar la ingeniería de métodos para mejorar la productividad en el proceso de ampliación de redes de agua potable y alcantarillado en la empresa consultoría y ejecutora en obras PROJECTPERU SAC. Se considera como población 12 proyectos de igual características. Considerando el tamaño de la población no tendría sentido aplicar una muestra. Se realizó un diseño de investigación tipo experimental, se manipula la variable independiente y se realizan pruebas antes, durante y después del proceso para poder comparar los resultados haciendo uso de indicadores y comprobar si se obtiene una evolución favorable.

Arribó a las siguientes conclusiones:

1. Aplicando la ingeniería de métodos se logró mejorar la productividad del proceso de ampliación de redes de agua potable y alcantarillado, se observa un incremento del 79% a 88%.
2. Con el uso de la ingeniería de métodos se lograron identificar las causas de la baja productividad, la frecuencia en la que estas se presentaban, se detectaron y seleccionaron aquellos procesos que necesitaban pronta atención para su mejora.
3. Estandarizando el método de trabajo, mejorándolo, haciéndolo aplicable para todos los obreros, se pudo reducir la frecuencia de olvido de herramientas o materiales de trabajo, los problemas de procedimientos no definidos y la escasa experiencia del trabajador.

El aporte de la tesis al presente estudio de investigación:

La tesis descrita anteriormente, influye en la realización del presente estudio de investigación al dar las pautas de definición de tiempos estándares para formular y aplicar planes de mejora en la productividad.

Internacional

- a. Mugmal (2017) en su tesis para optar al título profesional Ingeniero Industrial “organización del trabajo a través de ingeniería de métodos y estudio de tiempos para incrementar la productividad en el área de postcosecha de la empresa florícola Lottus Flowers” presentada a la Universidad Técnica del Norte, consideró lo siguiente:

La tesis tuvo como escenario a la empresa florícola Lottus Flowers,

Como objetivo se planteó incrementar la productividad, optimizando tiempos y reduciendo distancias que recorre el trabajador.

Arribó a las siguientes conclusiones

1. Los fundamentos teóricos que se utilizaron para sustentar la investigación fue la metodología de ingeniería de métodos tales como: diagrama de proceso, recorrido y estudio de tiempos que permitió realizar un levantamiento de procesos del área de postcosecha Lottus Flowers, además permitió analizar y determinar las falencias existentes, entre ellas la distribución no adecuada de los puestos de trabajo, así como el tiempo de transporte que causaban retrasos en las operaciones.
2. Se hizo una mejora en la distribución de los puestos de trabajo con la cual se logró la optimización de espacios y reducir la distancia que recorre el trabajador en el ciclo operativo de unos 58,7 metros a 48,8 metros.

El aporte de la tesis al presente estudio de investigación:

La tesis descrita anteriormente, influye en la realización del presente estudio de investigación al dar las pautas de realizar un estudio de métodos de trabajo en la empresa (en nuestro caso sería en obra) aumentando la capacidad productiva, con la mejora en los procesos y economizando el esfuerzo humano.

- b. Picón y Tavera (2019) en su tesis para optar al título profesional Ingeniero Industrial “Propuesta de mejora en los métodos de trabajo en el área de producción

en la empresa Provemel Ltda.” presentada a la Universidad El Bosque consideró lo siguiente:

La tesis tuvo como escenario la empresa metalmecánica Provemel Ltda., se desea abordar el problema percibido con respecto a la demanda por parte de los clientes. Se presentan demoras en los procesos de fabricación de los productos, afectando la puntualidad de las entregas, ello provoca la insatisfacción del cliente.

Como objetivo se trazó, diseñar un plan de mejora en los métodos de trabajo con respecto a la producción, para reducir los tiempos improductivos en la empresa Provemel Ltda.

Desarrolló un diseño de investigación cuantitativa con enfoque deductivo, dicho estudio se caracteriza por definir primero el objetivo para luego plantear el problema

Arribó a las siguientes conclusiones:

1. A través de la propuesta de mejoramiento se logró cumplir con el objetivo de reducir los tiempos de procesamiento.
2. Actualmente, debido a la capacidad de procesamiento de las máquinas el proceso productivo continúa siendo lento.

El aporte de la tesis al presente estudio de investigación:

La tesis descrita anteriormente, influye en la realización del presente estudio de investigación al darnos las pautas para mejorar los métodos de trabajo en la producción, también busca optimizar las operaciones reduciendo los tiempos de procesamiento y cumplir con las fechas de entrega establecidas de forma conjunta con los clientes.

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

Estudio de métodos

“Estudio de métodos (ingeniería de métodos) Análisis de una operación para incrementar la producción por unidad de tiempo y, en consecuencia, reducir el costo unitario.” (Benjamin W. Niebel, 2009, p.552)

“El estudio de métodos es el registro y examen crítico sistemáticos de los modos de realizar actividades, con el fin de efectuar mejoras” (George Kanawaty, 1996, p.19)

“La medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea según una norma de rendimiento preestablecida” (George Kanawaty, 1996, p.19)

La relación entre el Estudio de métodos y medición del trabajo se presenta esquemáticamente en la Figura 12.



Figura 12: Estudio del trabajo

Fuente: Introducción al Estudio del Trabajo, George Kanawaty. Ginebra; OIT, Cuarta Edición. 1996. (p.20)

Etapas del método de trabajo:

A continuación, se presentan los pasos de las principales etapas de un programa de métodos según Niebel (2009):

1. Seleccione el proyecto. Por lo general, los proyectos seleccionados representan ya sea nuevos productos o productos existentes que tienen un alto costo de manufactura y una baja ganancia...
2. Obtenga y presente los datos. Integre todos los hechos relevantes relacionados con el producto o servicio...En esta etapa, el desarrollo de las gráficas de proceso es de mucha utilidad...
3. Analice los datos. Utilice los principales métodos de análisis de operaciones para decidir qué alternativa dará como resultado el mejor producto o servicio...

4. Desarrolle el método ideal. Seleccione el mejor procedimiento para cada operación, inspección y transporte considerando las diversas restricciones asociadas con cada alternativa...
5. Presente e implemente el método... Tome en cuenta todos los detalles del centro de trabajo con el fin de asegurar que el método propuesto ofrezca los resultados planeados...
6. Desarrolle un análisis del trabajo. Lleve a cabo un análisis del trabajo del método instalado con el fin de asegurar que los operadores sean seleccionados, entrenados y recompensados adecuadamente...
7. Establezca estándares de tiempo. Determine un estándar justo y equitativo para el método instalado...
8. Déle seguimiento al método ... audite el método instalado con el fin de determinar si se están alcanzando la productividad y la calidad planeadas, si los costos se proyectaron correctamente y si se pueden hacer mejoras adicionales.(p. 6)

Estudio de tiempos

Según George Kanawaty, 1996:

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida. (p.273)

El estudio de tiempos exige cierto material fundamental, a saber:

- Un cronómetro (ver Figura 13)
- Un tablero de observaciones (ver Figura 14)
- Formularios de estudio de tiempos (ver Figura 15 y 16)



Figura 13: Cronómetro digital
Fuente: Google imágenes



Figura 14: Tablero
Fuente: Google imágenes

					ESTUDIO DE TIEMPOS						
Departamento:					Estudio Nº						
					Hoja Nº		De				
Operación:					Comienzo:						
					Final:						
Estudio Nº:		Instalación:		Tiempo trans.							
Herramientas y calibradores:					Operario:						
					Ficha Nº:						
Método actual:		Piezas / Unidad		Observado por:							
Producto:		Número:		Fecha:							
Plano Nº:		Material:		Aprobado por:							
Descripción del elemento		V	C	T.R	T.O	Descripción del elemento		V	C	T.R	T.O
V = Valoración / C = Cronometraje / T.R = Tiempo restado / T.B = Tiempo básico											

Figura 15: Formularios para reunir datos
 Fuente: Ingenieriaindustrialonline.com


					HOJA RESUMEN DE ESTUDIO DE TIEMPOS												
Departamento:					Estudio Nº												
					Hoja Nº		De										
Operación:					Comienzo:												
					Final:												
Estudio Nº:		Instalación:		Tiempo trans.													
Herramientas y calibradores:					Operario:												
					Ficha Nº:												
Método actual:		Piezas / Unidad		Observado por:													
Producto:		Número:		Fecha:													
Plano Nº:		Material:		Aprobado por:													
Elemento		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	F	Suma	Promedio	TN	Supl	T. Std
Elemento 1	V																
	To																
	Tn																
Elemento 2	V																
	To																
	Tn																
V = Valoración del ritmo / T.o = Tiempo Observado / T.n = Tiempo normal / F = Frecuencia por ciclo / Supl = Suplementos / T.Std = Tiempo Estándar																	

Figura 16: Formularios para analizar datos
 Fuente: Ingenieriaindustrialonline.com

Para la OIT (Organización Internacional del Trabajo): “la Medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida efectuándola según una norma de ejecución preestablecida.”

Tiempo Estándar

El tiempo tipo o estándar es el tiempo que se concede para efectuar una tarea. En él están incluidos los tiempos de los elementos cíclicos (repetitivos, constantes, variables), así como los elementos casuales o contingentes que fueron observados durante el estudio de tiempos. A estos tiempos a valorados se les agregan los suplementos siguientes: personales, por fatiga y especiales. (Roberto García Criollo, 2005, p.240)

Se puede observar en la Figura 17 los componentes del Tiempo Estándar



Figura 17: El Tiempo Estándar y sus componentes
Fuente: Elaboración propia

Cálculo del Tiempo Estándar:

$$TS = TN \times \text{Suplementos}$$

Tiempo observado

Se considera como tiempo observado al promedio del ciclo de operación, haciendo uso de un cronómetro en el puesto de trabajo. Para hallar el TO se toma el tiempo a la misma operación varias veces (dependiendo del tamaño de muestra, usualmente son 5 o 10 veces), luego se promedia.

$$TO = \frac{\text{Suma total de tiempos del ciclo}}{N^{\circ} \text{ de ciclos}}$$

Tiempo Normal

Es el resultado de la multiplicación del tiempo observado (TO) por el factor de valoración del ritmo.

$$TN = TO \times \text{Valoración de ritmo}$$

Valoración del ritmo de trabajo y los suplementos

...son los dos temas más discutidos en el estudio de tiempos. Estos estudios tienen por objeto determinar el tiempo tipo para fijar el volumen de trabajo de cada puesto en las empresas, determinar el costo estándar o establecer sistemas de salarios de incentivo. (Roberto García Criollo, 2005, p.209)

Cálculo de la Valoración del Ritmo:

$$\text{Valoración de ritmo} = 1 + (\Sigma \text{Calificación del sist. Westinghouse})$$

Cálculo de Suplementos

$$\text{Suplementos} = 1 + \Sigma \text{Sist. de suplementos por descansos}$$

La calificación de actuación o sistemas de calificación: es la técnica que determina el tiempo requerido por un operador normal (operador competente y experimentado), en la ejecución de una tarea. Este sistema considera 4 factores para la evaluación del operario, los cuales son: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia.

De acuerdo a Roberto García Criollo (2005), la definición de los factores es la siguiente:

- Habilidad: es la eficiencia para seguir un método dado no sujeto a variación por voluntad del operador.
- Esfuerzo: es la voluntad de trabajar, controlable por el operador dentro de los límites impuestos por la habilidad
- Condiciones: son aquellas condiciones (luz ventilación, calor) que afectan únicamente al operario y no aquellas que afecten la operación
- Consistencia: son los valores de tiempo que realiza el operador que se repiten en forma constante o inconstante. (p.210)

A continuación, en la Tabla 1 se presenta la Tabla de calificación según el sistema Westinghouse.

Tabla 1: Tabla de calificación del Sistema Westinghouse

Habilidad			Esfuerzo		
0.15	A1	Superior	0.13	A1	Excesivo
0.13	A2	Superior	0.12	A2	Excesivo
0.11	B1	Excelente	0.10	B1	Excelente
0.08	B2	Excelente	0.08	B2	Excelente
0.06	C1	Buena	0.05	C1	Bueno
0.03	C2	Buena	0.02	C2	Bueno
0.00	D	Promedio	0.00	D	Promedio
-0.05	E1	Aceptable	-0.04	E1	Aceptable
-0.10	E2	Aceptable	-0.08	E2	Aceptable
-0.16	F1	Mala	-0.12	F1	Malo
-0.22	F2	Mala	-0.17	F2	Malo
Condiciones			Consistencia		
0.06	A	Ideal	0.04	A	Perfecta
0.04	B	Excelente	0.03	B	Excelente
0.02	C	Bueno	0.01	C	Buena
0.00	D	Promedio	0.00	D	Promedio
-0.03	E	Aceptable	-0.02	E	Aceptable
-0.07	F	Malo	-0.04	F	Mala

Fuente: Niebel 2009, Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo (p.359-360)

De acuerdo a Roberto García Criollo (2005), la definición de los suplementos es la siguiente:

- a) Trabajo de pie. Este tipo de trabajo, lleva consigo un suplemento adicional. En diversos países, la ley ha reconocido que el trabajo de pie es más agotador exige que en lugar de trabajo o cerca de él haya asientos para los períodos de descanso.
- b) Postura normal. La postura normal del obrero occidental es de pie o sentado, con el trabajo más o menos a la altura de la cintura. Las demás posturas resultan anormales y se les debe asignar un suplemento según el grado en que sean forzadas...
- c) Levantamiento de pesos o uso de fuerzas...son válidos si se levantan o acarrean pesos en posturas cómodas, pero deben aumentarse si es necesario agacharse o doblarse (postura anormal)...

- d) Intensidad de la luz. Si se trabaja con menos luz que la recomendada por condiciones normales y es imposible aumentarla, se debe conceder un suplemento según el grado en que deba forzarse la vista...
- e) Calidad de aire. Los suplementos indicados en el cuadro de suplementos no deben servir para compensar las variaciones de clima, sino para contrarrestar los efectos de un aire viciado por algún factor propio del trabajo que no se pueda eliminar totalmente...
- f) Tensión visual. La vista se esfuerza cuando el trabajo que se hace o el instrumento que se emplea exigen gran concentración, por ejemplo, fabrica relojes...
- g) Tensión auditiva. El oído es notablemente resistente cuando se le impone un ruido fuerte a intervalos irregulares, como el de una remachadora o cuando deben distinguir variaciones de tonalidad, intensidad o calidad de un sonido, como al ensayar ciertos tipos de máquinas...
- h) Tensión mental...puede ser causada por una concentración prolongada, como la necesaria para recordar las fases de un proceso largo y complejo...en cuyo caso interviene también un factor de ansiedad...
- i) Monotonía mental. Proviene generalmente del empleo repetido de ciertas facultades mentales, como hacer un cálculo mental, y tiene mayores probabilidades de producirse con un trabajo corriente de oficina que en taller...
- j) Monotonía física. En la sensación causada por el uso repetido de ciertos miembros u órganos (dedos, manos, brazos y piernas) ... (p.227-231)

En la Tabla 2 se presenta la Tabla de suplementos (holguras)

Tabla 2: Tabla del sistema de suplementos por descansos

Sistema de suplementos por descansos					
1 Suplementos constantes	Hombres	Mujeres	E Condiciones atmosféricas (calor y humedad) Índice de enfriamiento en el húmedo de - Suplemento Kata (mili calorías/cm2/segundo)		
Suplementos por:			16	0	
Necesidades personales	5	7	14	0	
Base por fatiga	4	4	12	0	
2 Suplementos variables			10	3	
A. Trabajo de pie			8	10	
	2	4	6	21	
B Postura normal			5	31	
Ligeramente incómoda	0	1	4	45	
Incómoda (inclinado)	2	3	3	64	
Muy incómoda (echado, estirado)	7	7	2	100	
C. Uso de fuerza o de la energía (levantar, tirar o empujar) Peso levantado por kilogramos			F. Concentración intensa		
2.5	0	1	Trabajos de cierta precisión	0	
5	1	2	Trabajos de precisión o fatigosos	2	
7.5	2	3	Trabajos de gran precisión o muy fatigosos	5	
10	3	4	G. Ruido		
12.5	4	6	Continuo	0	
15	5	8	Intermitente y fuerte	2	
17.5	7	10	Intermitente y muy fuerte	5	
20	9	13	Estridente y fuerte	7	
22.5	11	16	H. Tensión mental		
25	13	20 (máx.)	Proceso bastante complejo	1	
30	17	-	Proceso complejo o atención dividida entre muchos objetos	4	
33.5	22	-	Muy complejo	8	
D. Mala iluminación			I. Monotonía		
Ligeramente por debajo de la potencia calculada	0	0	Trabajo algo monótono	0	
Bastante por debajo	2	2	Trabajo bastante monótono	1	
Absolutamente insuficiente	5	5	Trabajo muy monótono	4	
			J. Tedio		
			Trabajo algo aburrido	0	0
			Trabajo aburrido	2	1
			Trabajo muy aburrido	5	2

Fuente: Elaboración propia

Árbol de problemas

Es un método que se emplea para identificar una situación problemática (problema central), la cual se desea solucionar mediante la relación de tipo causa-efecto.

El error más común es expresar el problema como la ausencia de algo. El problema debe plantearse de modo que se puedan encontrar varias soluciones posibles (Ver Figura 18)

Pasos para elaborar el árbol de problemas

- 1) Identificar los problemas principales que llegan a afectar la situación.
- 2) Formular en forma puntual el problema principal.

- 3) Identificar las causas del problema principal.
- 4) Identificar los efectos del ocasionados por el problema principal.
- 5) Realizar un diagrama que refleje las relaciones del árbol de problemas.
- 6) Verificar el diagrama completo y revisar su lógica e integridad.

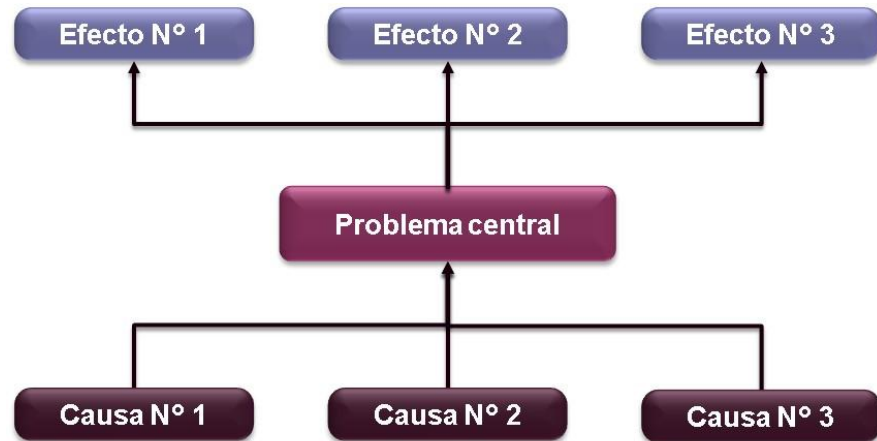


Figura 18: Árbol de Problemas
Elaboración propia

Diagrama de Gantt

... para planificar y controlar el orden de las operaciones... puede emplearse también para mostrar la carga de las máquinas, determinando de ese modo el tiempo inactivo... para planificar el despliegue de los operarios entre las diversas máquinas...(George Kanawaty, 1996, p.229)

ACTIVIDAD	DÍAS									
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
A	[Barra]									
B		[Barra]								
C	[Barra]									
D				[Barra]						
E							[Barra]			

Figura 19: Diagrama de Gantt
Fuente Elaboración propia

Análisis de operaciones

Para Benjamin W. Niebel, 2009:

Los analistas de métodos utilizan el análisis de operaciones para estudiar todos los elementos productivos y no productivos de una operación, incrementar la

productividad por unidad de tiempo y reducir los costos unitarios con el fin de conservar o mejorar la calidad. (p.57)

Diagrama de flujo del proceso

...muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones, tiempos permitidos y materiales que se utilizan en un proceso de manufactura o de negocios, desde la llegada de la materia prima hasta el empaquetado del producto terminado. (Benjamin W. Niebel, 2009, p.25)

“Para hacer constar en un cursograma todo lo referente a un trabajo u operación resulta mucho más fácil emplear...símbolos uniformes que conjuntamente sirven para representar todos los tipos de actividades o sucesos...” (George Kanawaty, 1996, p.521)

Actividad	Símbolo	Resultado predominante
Operación		Se produce o efectúa algo
Transporte		Se cambia de lugar o se mueve
Inspección		Se verifica calidad o cantidad
Demora		Se interfiere o retrasa el paso siguiente
Almacenaje		Se guarda o protege
Actividad combinada		Se desea indicar actividades conjuntas por el mismo operador en el mismo punto de trabajo

Figura 20: Simbología Diagrama de Análisis de Procesos
Elaboración propia

Diagrama de operaciones del proceso (D.O.P.)

El D.O.P o cursograma sinóptico presenta un cuadro general del proceso completo, desde el ingreso de la materia prima hasta que sale el producto terminado. Para la elaboración del diagrama se consideran los siguientes elementos: materia prima, insumos, operaciones, inspecciones, tiempos, máquinas, puntos de ensamble, componentes, entre otros. (Ver Figura 21)

Diagrama de procesos operativos
 Tipo de fabricación 2834421 Bases para teléfono. Método actual
 Parte 2834421 Diagrama No. SK2834421
 Dibujado por B.W.N. 4-12-

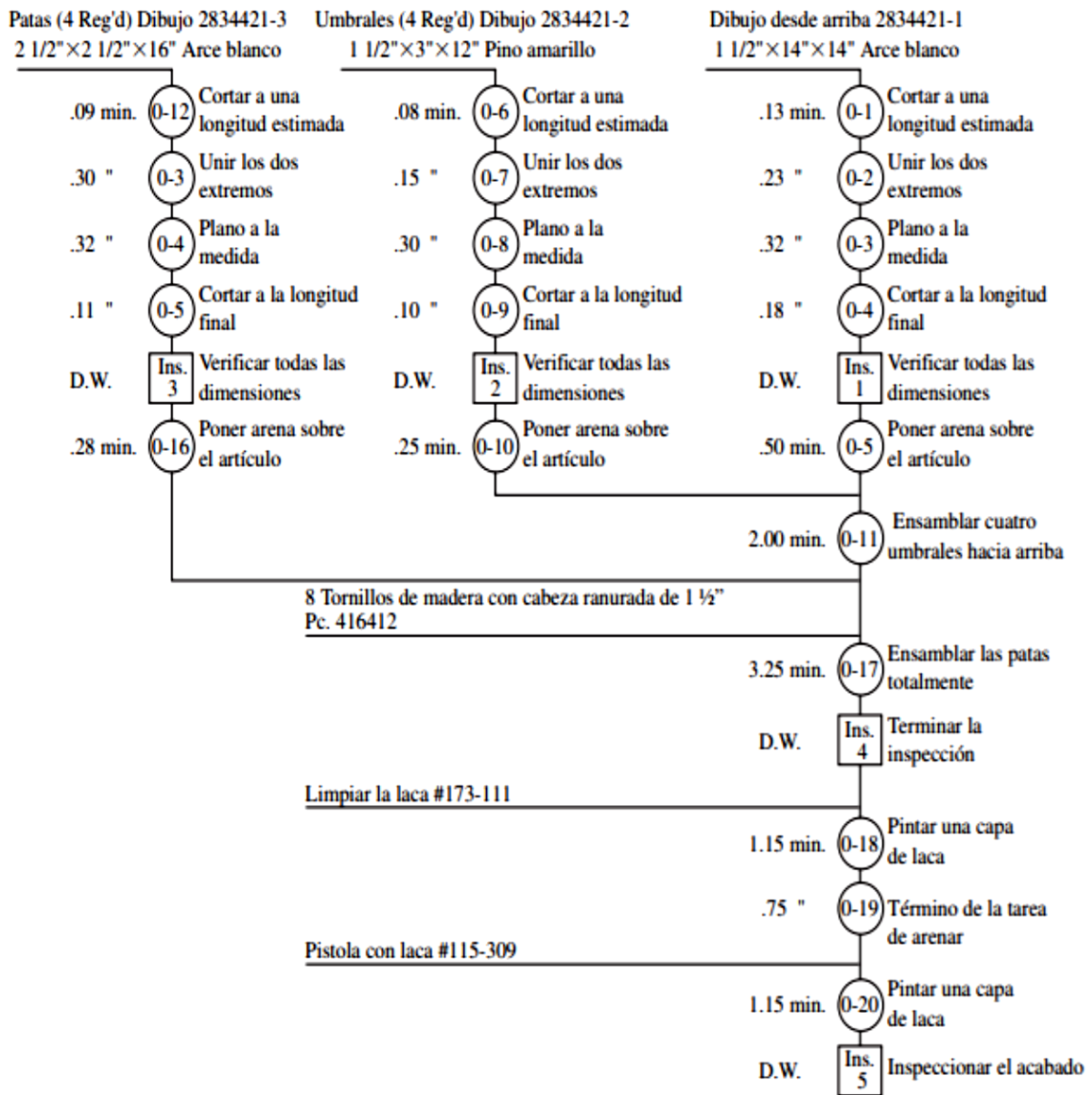


Figura 21: D.O.P de fabricación de bases para teléfono
 Fuente: Niebel 2009, Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo (p.27)

Diagrama de análisis de procesos D.A.P.

Es un diagrama de detalle, que muestra la trayectoria del producto o un procedimiento en el que se muestran: operaciones, inspecciones, transportes, demoras, almacenamientos, tiempos, distancias, materiales, medios de transporte, entre otros. (Ver Figura 22)

Ubicación: Dorban Co.		Resumen			
Actividad: Inspección en campo de LUX		Evento	Presente	Propuesto	Ahorros
Fecha: 4-17-97		Operación	7		
Operador: T. Smith Analista: R. Ruff		Transporte	6		
Encierra en un círculo al método y tipo apropiados		Retrasos	2		
Método: <input type="radio"/> Presente <input type="radio"/> Propuesto		Inspección	6		
Tipo: <input type="radio"/> Trabajador <input type="radio"/> Material <input type="radio"/> Máquina		Almacenamiento	0		
Comentarios		Tiempo (min)	32.60		
		Distancia (pies)	375		
		Costo			

Descripción de los eventos	Símbolo	Tiempo (en minutos)	Distancia (en pies)	Recomendaciones al método
Bajarse del vehículo, caminar hacia la puerta frontal, tocar el timbre.	○ → D □ ▽	1.00	75	Llamar a casa con antelación para reducir la espera.
Esporar, entrar a la casa.	○ → D □ ▽			
Caminar hacia el depósito en el campo.	○ → D □ ▽	.25	25	
Desconectar el depósito de la unidad.	○ → D □ ▽	.35		
Inspeccionar si hay abolladuras, rupturas en el envoltorio, vidrio roto o hardware faltante.	○ → D □ ▽	1.25		Esto puede hacerse mientras se camina de regreso al vehículo.
Limpiar la unidad con un limpiador y desinfectante aprobado.	○ → D □ ▽	2.25		Esto puede hacerse de una manera más eficiente en el vehículo.
Regresar al vehículo con el tanque vacío.	○ → D □ ▽	1.00	75	
Quitar el seguro del vehículo, colocar el tanque vacío en su base y conectar el hardware.	○ → D □ ▽	1.75		
Abrir la válvula; comenzar a llenar.	○ → D □ ▽	.25		
Esporar a que se llene el tanque.	○ → D □ ▽	12.00		Limpiar la unidad mientras se está llenando.
Verificar que el humidificador funciona correctamente.	○ → D □ ▽	.5		Eliminar. No es necesario hacer esto dos veces.
Verificar la presión (Indicador).	○ → D □ ▽	.2		
Verificar el contenido del tanque (Indicador).	○ → D □ ▽	.2		
Regresar con el paciente con el tanque lleno.	○ → D □ ▽	1.10	100	
Conectar al tanque lleno.	○ → D □ ▽	1.00		
Verificar que el humidificador funciona correctamente.	○ → D □ ▽	.75		
Esporar al paciente para retirar la cánula nasal o máscara facial.	○ → D □ ▽	2.00		
Instalar una nueva cánula nasal o máscara facial.	○ → D □ ▽	2.50		
Verificar los flujos del paciente.	○ → D □ ▽	2.25		
Colocar la etiqueta con la inspección inicial y la fecha.	○ → D □ ▽	1.00		Llevar a cabo esta tarea mientras la unidad se está llenando.
Regresar al vehículo.	○ → D □ ▽	1.00	100	

Figura 22: Diagrama de flujo del proceso para la inspección en campo de LUX.
 Fuente: Niebel 2009, Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo

2.4 Definición de términos básicos

Acero: Producto resultante de la aleación del hierro con un componente de carbono que oscila entre el 0,02 y 1,7 %. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

C.A.D.: Conjunto de técnicas dirigidas a la creación de datos que describen el objeto diseñado, a la manipulación de estos datos para mejorar su diseño y a la creación de los datos. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Cronograma de Actividades: Calendario de trabajo donde se representan todas y cada una de las actividades que se deben llevar a cabo y las fechas y plazos para su realización. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Cuadrilla: Es cada uno de los grupos de personas reunidas para el desempeño de algunos oficios, generalmente relacionados con la albañilería, en la ejecución de los trabajos de una obra. Cada una de ellas está formada normalmente por un oficial y un ayudante. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Demolición: Derribo de todas las construcciones que obstaculizan una obra, o que sea necesario hacer para dar por terminada la ejecución de la obra. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Dibujo en 3D: Conjunto de técnicas dirigidas a la creación de diseños y datos necesarios para la realización o fabricación de elementos en tres dimensiones a partir de planos bidimensionales mediante programas informáticos. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Documentación administrativa: Es el conjunto de escritos que detallan y concretan la posibilidad de materializar una idea, dependiendo de los objetivos, el alcance y el grado de detalle que se persiga será más o menos completo y estará más o menos elaborado. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

El peón o ayudante: Es el trabajador no especializado que se desempeña como ayudante de albañil y realiza las tareas que requieren de mayor esfuerzo físico. (SENCICO 1994, p.9).

El oficial: Realiza las tareas menos complejas de albañilería. (SENCICO 1994, p. 9)

El operario: Es el trabajador calificado que realiza todas las tareas de un albañil, bajo la dirección del capataz o maestro de obra. (SENCICO 1994, p. 8)

Encofrados: Medio auxiliar compuesto de molde y apuntalamiento cuya misión es dar forma al hormigón en la obra, vertiéndolo en el interior del molde antes del fraguado. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Entibación: Operación de sostener y fijar el terreno inestable con medios auxiliares como tablonés, paneles de madera, metálicos, tornapuntas, codales, penillos, etc. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Estación Total: Es un instrumento topográfico electro-óptico de la gama más moderna, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Excavadora: Vehículo especialmente diseñado para la excavación o desmonte del terreno, mediante una cuchara de ataque frontal, acoplada a superestructura giratoria en plano horizontal. Puede estar acoplada sobre neumáticos u oruga. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Fase de Planificación y Dirección de Obra: La planificación es la organización de todas las tareas o actividades a ejecutar en la realización de una obra con el fin de optimizar los recursos de los que se dispone para que se cumplan los plazos establecidos y el plan económico financiero previsto. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Solado: hormigón no resistente en las soleras de las cimentaciones, de un espesor de unos 10 cm. Este hormigón está destinado a limpiar las zanjas y pozos para evitar que, cuando se vierta el hormigón resistente, éste entre en contacto directo con el terreno. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Mini Cargador: Máquina de pequeño tamaño, muy especializada y versátil, que se utiliza de forma auxiliar en el movimiento de tierras, barrido, movimiento de pesos, demolición, etc. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Niveles Topográficos: El nivel es un instrumento cuya finalidad es determinar el desnivel entre dos puntos sin utilizar limbos (no miden ángulos) y sin medir ninguna distancia. El nivel crea un plano horizontal que sirve de referencia. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Obra civil: Conjunto de acciones y efectos de ejecutar algunas construcciones de utilidad común para los habitantes de una comunidad. Entre otras serán las siguientes obras: saneamiento, puentes y drenajes. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Plan de Obra: Es una herramienta cuya misión es planificar las tareas de una obra durante un periodo de tiempo específico, donde se deben señalar los problemas a solucionar y las formas de resolverlos. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Proyecto: Conjunto de documentos que definen una obra de tal manera que un facultativo distinto del autor pueda dirigir y valorar la ejecución de la misma según dicho conjunto de documentos. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Replanteo de alineaciones rectas: Es la acción de situar en el terreno, mediante instrumentos topográficos y con una exactitud preestablecida, elementos puntuales obtenidos del trazado en gabinete, utilizando como referencia las bases existentes en la zona. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Retroexcavadora: Máquina automotriz, con una estructura diseñada para la excavación o desmonte del terreno, mediante cuchara de ataque hacia la máquina, acoplada a

superestructura giratoria en plano horizontal. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Termofusión: Método de soldadura ágil, utilizado para unir tubos de polietileno de alta densidad y sus respectivos accesorios. (Revista euro tubo, 2018)

Terraplén: Son estructuras de tierra consistentes en la extensión y compactación por tongadas de suelos procedentes de las excavaciones, o préstamos, en áreas cubiertas, de tal forma que en su mayor parte permiten el uso de maquinaria de transporte, extendido y compactación de elevado rendimiento. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Topógrafo: Profesional capacitado para desarrollar los trabajos de campo y de gabinete en levantamientos topográficos y de replanteo de cualquier tipo de construcción, edificación y obras civiles. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Trazado: Es el diseño de cualquier vial teniendo en cuenta la forma geométrica que tendrá con relación al servicio que prestará, sus dimensiones físicas y su relación con el terreno. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Tubería HDPE: El HDPE toma su denominación de sus siglas en inglés (High Density Polyethylene) y a veces también es llamado PEAD (Polietileno de Alta Densidad). Entre sus características están su ligereza, su flexibilidad, incluso con temperaturas bajas y su alta resistencia a los impactos. (Revista euro tubo, 2018)

Vaciado: El vaciado se podrá realizar: - Sin construir previamente estructura de contención en sus paredes o Habiendo construido previamente estructura de contención en sus paredes. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Vertido de Hormigón: Acción de verter el hormigón fresco en el interior de un molde de encofrado. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

Zanja: Es la excavación a cielo abierto en la que todo su perímetro queda por debajo del nivel del suelo. (Glosario de términos familia profesional, 2006)

2.5 Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

En la Figura 23 se sustenta las hipótesis con base en fundamentos teóricos, empezando por incrementar la capacidad de producción se reducirán los retrasos en la instalación de tuberías para la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima.

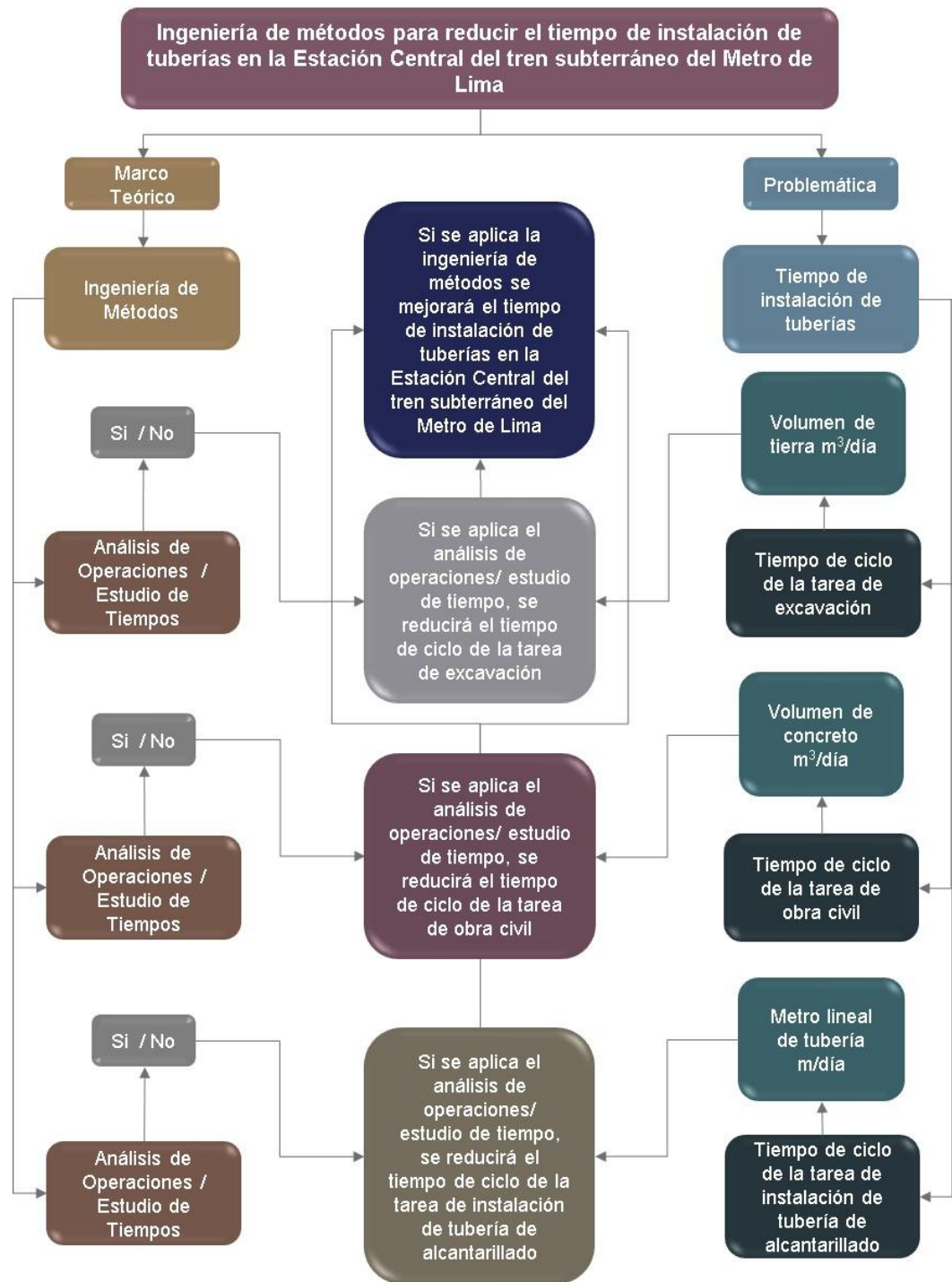


Figura 23: Justificación de las hipótesis
 Fuente: Elaboración propia

2.6 Hipótesis

2.6.1 Hipótesis general

Si se aplica la ingeniería de métodos se mejorará el tiempo de instalación de tuberías en la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima

2.6.2 Hipótesis específicas

- a) Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de excavación
- b) Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil
- c) Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

2.7 Variables

➤ **Independiente**

- ✓ Ingeniería de Métodos
- ✓ Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos

➤ **Dependiente**

- ✓ Tiempo de instalación de tuberías
- ✓ Tiempo de ciclo de la tarea de excavación
- ✓ Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil
- ✓ Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

➤ **Indicadores**

- ✓ Volumen de tierra m³/día
- ✓ Volumen de concreto m³/día
- ✓ Metro lineal de tubería m/día

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque, tipo, nivel y diseño de la investigación

Para el proceso de investigación definimos el enfoque, tipo y nivel conjuntamente con su referencia.

Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo: usa recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento. (Hernández, 2014, p.4).

El trabajo de investigación es bajo un enfoque cuantitativo ya que se hace uso de datos para su respectivo análisis, esta información sirve para medir el incremento de la productividad que se desarrolla para la instalación de tuberías.

Tipo

La investigación aplicada es el tipo de investigación que está interesada en la aplicación de los conocimientos a la solución de un problema práctico inmediato. (Calderon, 2010 p. 44)

La investigación es de tipo aplicada por que los problemas fueron analizados dentro de obra con relación a su productividad y eficiencia. Se planteó una solución a los problemas para llegar a aplicarlo a la realidad.

Nivel

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables. (Hernández, 2014, p. 95)

El desarrollo de la presente investigación busca identificar las causas y efectos que determinan los retrasos para darle solución a la problemática. Por lo tanto, cumple con las características de nivel explicativo.

Diseño de Investigación

Los diseños cuasiexperimentales manipulan deliberadamente al menos una variable independiente, sólo que difieren de los experimentos en el grado de seguridad o confiabilidad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos. En los diseños cuasiexperimentales los sujetos no son asignados al azar a los grupos ni

emparejados, sino que dichos grupos ya estaban formados antes del experimento; esto es, son grupos intactos. (Cruz del Castillo, 2014, p. 131)

El presente trabajo de investigación tiene un diseño experimental de tipo cuasiexperimental, se hace uso de la variable independiente (análisis de operaciones / estudio de tiempos), se realizaron pruebas antes y después del proceso para ver el efecto en las variables dependientes y así poder comparar los resultados mediante indicadores, con la finalidad de obtener resultados favorables.

3.2 Población y muestra

Población

Para detallar la población de estudio, primero tendremos una pequeña definición, la cual es la siguiente:

Universo o Población son expresiones equivalentes para referirse al conjunto total de elementos que constituyen el ámbito de interés analítico y sobre el que queremos inferir las conclusiones de nuestro análisis, conclusiones de naturaleza estadística y también sustantiva o teórica. (López & Fachelli, 2017, p. 7)

Muestra

Se tiene la siguiente definición para entender más a fondo que viene a ser la muestra en un estudio.

Una muestra estadística es una parte o subconjunto de unidades representativas de un conjunto llamado población o universo, seleccionadas de forma aleatoria, y que se somete a observación científica con el objetivo de obtener resultados válidos para el universo total investigado, dentro de unos límites de error y de probabilidad de que se pueden determinar en cada caso. (López & Fachelli, 2017, p. 6)

Teniendo las definiciones tanto sobre lo que es la población y muestra del estudio, se comienza a detallar para cada variable, siendo lo siguiente:

Población de la investigación

Se consideró como población del estudio, el tiempo de duración de las obras sanitarias y civiles, de reubicación de agua potable y alcantarillado ejecutadas dentro del Parque de la Exposición para la Estación Central E13 de la Línea 2 del Metro de

Lima, obras que iniciaron el 02 de mayo del 2022 y finalizaron el 11 de agosto del 2022

Muestra de la investigación

Para este trabajo de investigación se ha considerado tomar como muestra el tiempo de duración de la instalación de tuberías de alcantarillado (HDPE de 600mm L=12m) del tramo BP-4 al BP-5 para la Estación Central E13 de la Línea 2 del Metro de Lima, ubicado dentro del Parque de la Exposición

- Tiempo de ciclo de la tarea de excavación - Volumen de tierra m³/día
 - Unidad de análisis y período
Se consideró el tiempo de ciclo de la tarea de excavación, desde el 02 de mayo del 2022 al 24 junio del 2022
 - Muestra Pre
Se tomaron en cuenta los registros de volumen de tierra excavado m³/día, desde el 02 de mayo del 2022 al 23 de mayo del 2022
 - Muestra Post
Se tomaron en cuenta los registros de volumen de tierra excavado m³/día, desde el 13 de junio del 2022 al 24 de junio del 2022
- Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil - Volumen de concreto m³/día
 - Unidad de análisis y período
Se consideró el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil, desde el 24 de mayo del 2022 al 30 junio del 2022
 - Muestra Pre
Se tomaron en cuenta los registros de volumen de concreto empleado m³/día, desde el 24 de mayo del 2022 al 02 de junio del 2022
 - Muestra Post
Se tomaron en cuenta los registros de volumen de concreto empleado m³/día, desde el 25 de junio del 2022 al 30 de junio del 2022
- Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado - Metro lineal m/día
 - Unidad de análisis y período
Se consideró el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado, desde el 03 de junio del 2022 al 05 julio del 2022
 - Muestra Pre

Se tomaron en cuenta los registros de metro lineal de tubería empleado m/día, desde el 03 de junio del 2022 al 09 de junio del 2022

- Muestra Post

Se tomaron en cuenta los registros de metro lineal de tubería empleado m/día, desde el 01 de julio del 2022 al 05 de julio del 2022

Tabla 3: Unidad de análisis y Muestra PRE y POST por cada una de las variables

Variable Dependiente	Indicador	Unidad de Análisis	Muestra	Muestra
		y Periodos	PRE	POST
Tiempo de ciclo de la tarea de excavación	Volumen de tierra m ³ /día	Tiempo de ciclo de la tarea de excavación	Registros de Volumen de tierra m ³ /día	
		Del	Del	Del
		2/05/2022	2/05/2022	13/06/2022
		al	al	al
		24/06/2022	23/05/2022	24/06/2022
Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil	Volumen de concreto m ³ /día	Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil	Registros de Volumen de concreto m ³ /día	
		Del	Del	Del
		24/05/2022	24/05/2022	25/06/2022
		al	al	al
		30/06/2022	2/06/2022	30/06/2022
Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	Metro lineal m/día	Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	Registros de Metro lineal m/día	
		Del	Del	Del
		3/06/2022	3/06/2022	1/07/2022
		al	al	al
		5/07/2022	9/06/2022	5/07/2022

Fuente: Elaboración propia

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el presente trabajo de investigación se presentan: las técnicas e instrumentos, que se emplearon para la recolección de datos de las 3 variables dependientes, el criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos y por último el procedimiento de recolección de datos.

3.3.1 Tipos de técnicas e instrumentación

Técnicas para recolectar datos:

Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información...la aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. (Arias , 2012, p. 67)

Instrumentos para la recolección de datos:

“Instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (Arias , 2012, p. 68)

Análisis documental:

El análisis documental es una forma de investigación técnica, un conjunto de operaciones intelectuales, que buscan describir y representar los documentos de forma unificada sistemática para facilitar su recuperación. Comprende el procesamiento analítico- sintético que, a su vez, incluye la descripción bibliográfica y general de la fuente, la clasificación, indización, anotación, extracción, traducción y la confección de reseñas. (Dulzaides & Molina, 2004, p. 1)

Registro:

“Registro de los datos es un acto de recogida de los datos durante el trabajo de campo. Existen distintas formas de registro de la información, por ejemplo, grabaciones de audio o de vídeo, anotaciones, etc.” (Berenguera, y otros, 2014, p. 197)

❖ Tiempo de ciclo de la tarea de excavación - Volumen de tierra m³/día

✓ Técnicas

Se realizó un análisis documental sobre el tiempo del proceso productivo de excavación.

✓ Instrumentos

Se recopiló documentación para realizar el análisis correspondiente. Se hizo uso de los formatos de calidad de: control topográfico y avance de trabajos de excavación (ver Anexo 6, Tabla 49 y 50)

- ❖ Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil - Volumen de concreto m³/día
 - ✓ Técnicas

Se realizó un análisis documental sobre el tiempo del proceso productivo de obra civil
 - ✓ Instrumentos

Se recopiló documentación para realizar el análisis correspondiente. Se hizo uso de los formatos de calidad de: control topográfico y reporte de obra civil (ver Anexo 6, Tabla 49 y 51)
- ❖ Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado – Metro lineal de tubería m /día
 - ✓ Técnicas

Se realizó un análisis documental sobre el tiempo del proceso productivo de instalación de tubería de alcantarillado
 - ✓ Instrumentos

Se recopiló documentación para realizar el análisis correspondiente. Se hizo uso de los formatos de calidad de: control topográfico y tendido de tuberías (ver Anexo 6, Tabla 49 y 52)

En la Tabla 4 se muestran las técnicas e instrumentos utilizados en el presente estudio

Tabla 4: Técnicas e Instrumentos

Variable Dependiente	Indicador	Técnicas	Instrumento
Tiempo de ciclo de la tarea de excavación	Volumen de tierra m ³ /día	Análisis documental	Registro de formatos de calidad (Control topográfico, avance de trabajos de excavación)
Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil	Volumen de concreto m ³ /día	Análisis documental	Registro de formatos de calidad (Control topográfico, Reporte de obra civil)
Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	Metro lineal de tubería m/día	Análisis documental	Registro de formatos de calidad (Control topográfico, Tendido de tuberías)

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Criterio de validez

Según La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir. Por ejemplo, un instrumento válido para medir la inteligencia debe medir la inteligencia y no la memoria. Un método para medir el rendimiento bursátil tiene que medir precisamente esto y no la imagen de una empresa. (Hernández, 2014, p. 200)

Criterio de confiabilidad:

Confiabilidad. Un instrumento es confiable cuando las mediciones hechas no varían significativamente, ni en el tiempo, ni por la aplicación de diferentes personas. Así por ejemplo si un test de inteligencia se aplica hoy y arroja determinados resultados y el mes entrante se aplica el mismo instrumento a las mismas personas, en situaciones similares; y arroja resultados diferentes, ello significaría que el instrumento no es confiable. (Ñaupas, 2014, p. 216)

A continuación, se presentan los criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos:

- ✓ Tiempo de ciclo de la tarea de excavación
 - a) Criterio de validación de datos
La validez del instrumento fue dada por la empresa.
 - b) Criterio de confiabilidad de instrumento
La confiabilidad del instrumento fue dada por la empresa
- ✓ Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil
 - a) Criterio de validación de datos
La validez del instrumento fue dada por la empresa.
 - b) Criterio de confiabilidad de instrumento
La confiabilidad del instrumento fue dada por la empresa.
- ✓ Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado
 - a) Criterio de validación de datos
La validez del instrumento fue dada por la empresa.
 - b) Criterio de confiabilidad de instrumento
La confiabilidad del instrumento fue dada por la empresa.

3.3.3 Procedimientos para la recolección de datos

El plan para la recolección de datos del presente trabajo de investigación consistió en coordinar con el área técnica de la empresa que ejecuta el proyecto de instalación de las tuberías de agua y alcantarillado en la estación E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima. Se recopiló documentación sobre el proyecto, entre ellos los planos del catastro (ver Figura 24), formatos de calidad (ver Anexo 6).

Como siguiente paso se realizó el análisis de los datos obtenidos con el fin de implementar propuestas de mejora para los problemas identificados.

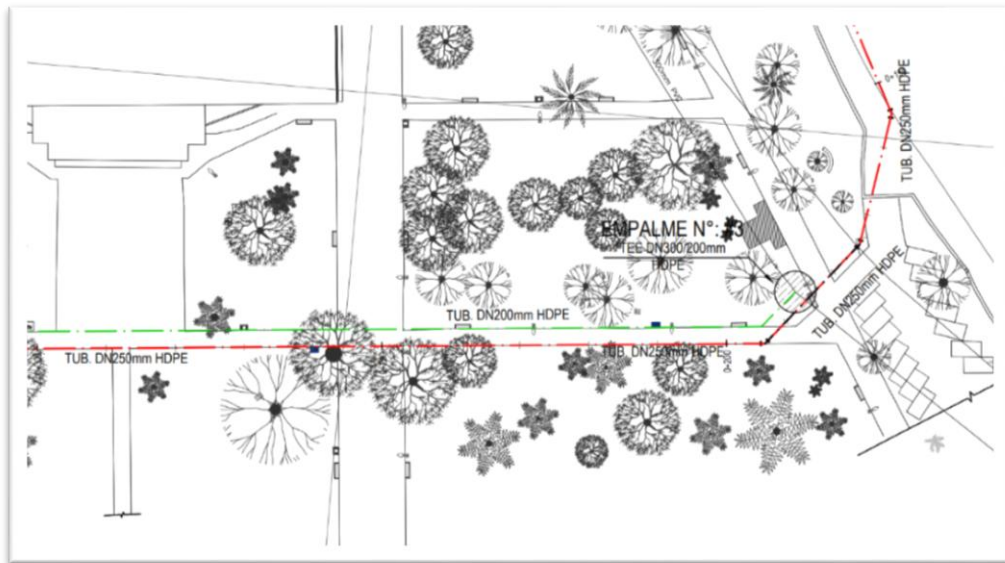


Figura 24: Plano de catastro de la Línea 2 Metro de Lima
Fuente: Elaboración propia

3.4 Descripción de procedimientos de análisis de datos

Se ingresaron y analizaron los datos en el software Microsoft Excel. También se realizó el cronograma para ejecución.

Con el Software autoCAD se hizo un modelado en 3D de las tareas de excavación, obra civil e instalación de tubería de alcantarillado.

Se analizaron los gastos incurridos por cada etapa del proyecto (excavación, obras civiles e instalación de tubería de alcantarillado) (Ver Anexo 7)

Mediante un análisis e interpretación de los resultados obtenidos de la toma de tiempo, se determinó que para el proyecto se debe mejorar la distribución de recursos y mano de obra, considerando si son necesarios en cada etapa o redistribuirlos para una mejora de productividad. La información recabada se procesó en el programa RStudio versión 4.2.1., las muestras a analizar fueron representadas en tablas y

gráficos estadísticos, con la finalidad de evidenciar la aceptación o rechazo de las hipótesis del presente trabajo de investigación.

A continuación, se muestra la matriz de análisis de datos (ver Tabla 5):

Tabla 5: Matriz de Análisis de Datos

Variable Independiente	Indicador	Escala de medición	Estadísticos descriptivos	Análisis inferencial
Análisis de Operaciones Estudio de Tiempos	Volumen de tierra m ³ /día	Razón	Tendencial Central. Medidas de dispersión	Prueba no paramétrica de U de Mann Whitney (Muestra no relacionada)
Análisis de Operaciones Estudio de Tiempos	Volumen de concreto m ³ /día	Razón	Tendencial Central. Medidas de dispersión	Prueba no paramétrica de U de Mann Whitney (Muestra no relacionada)
Análisis de Operaciones Estudio de Tiempos	Metro lineal de tubería m/día	Razón	Tendencial Central. Medidas de dispersión	Prueba paramétrica T student (Muestra no relacionada)

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

Generalidades

La empresa peruana HM SERVICIOS INDUSTRIALES S.A.C con más de 17 años desde su fundación en 1997. Se desempeña en la gestión de interferencias, elaboración de proyectos sanitarios, ejecución de obras sanitarias y obras civiles.

Cuenta con profesionales con una amplia experiencia laboral. Para garantizar la calidad y servicio, bajo los parámetros de efectividad, innovación y excelencia en cada uno de los proyectos. En la actualidad cuenta con 103 trabajadores.

Tiene como rubro comercial de la industria metalmecánica, tiene como actividad económica principal: actividades de arquitectura e ingeniería y actividades conexas de consultoría técnica.

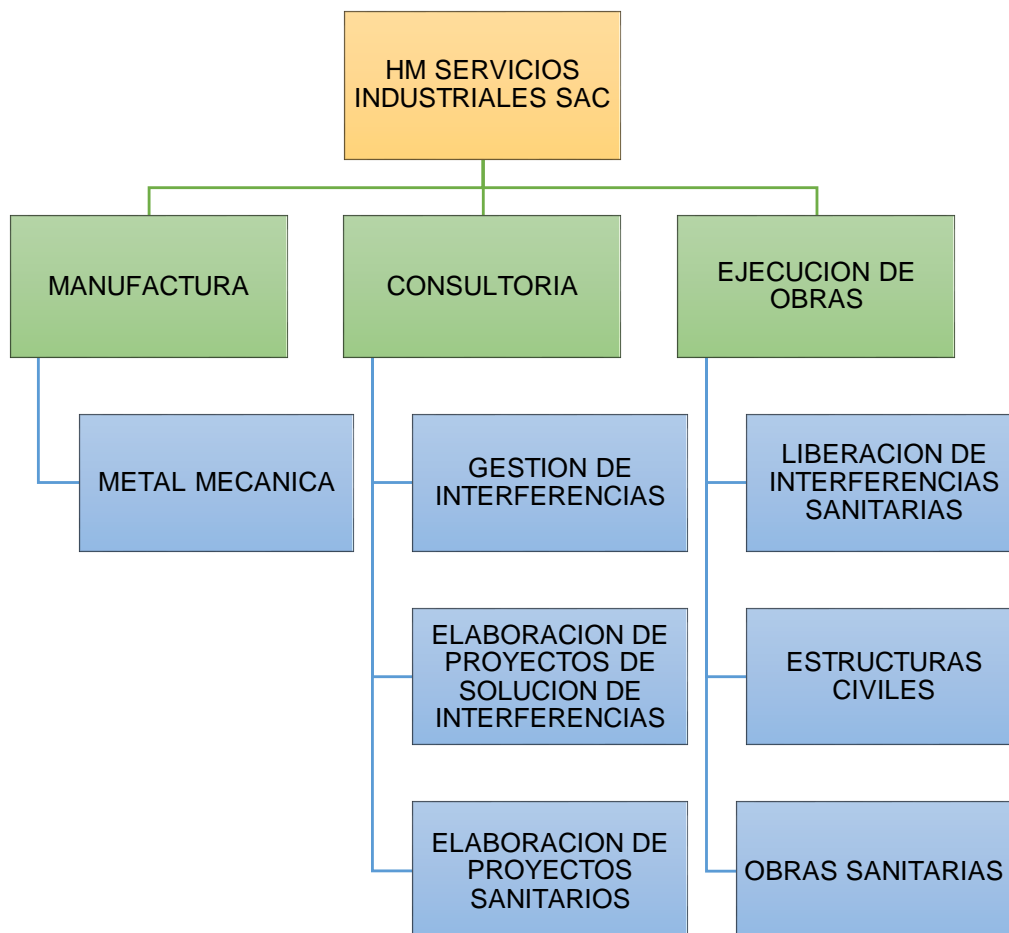


Figura 25: Organigrama de servicios
Fuente: Elaboración propia

➤ Misión:

Buscar el desarrollo continuo de la empresa a fin de garantizar el óptimo desempeño en los diferentes sectores de la construcción y metal mecánica, alcanzando con éxito satisfacer las necesidades de nuestros clientes a través de la diversa gama de productos, servicios y consultorías elaborados con la más alta calidad y a precios competitivos.

➤ Visión:

Mantener y acrecentar el liderazgo de participación en los diferentes sectores de la industria, ofreciendo un servicio donde la inversión de nuestros clientes sea la más rentable del mercado.

Para el diagnóstico de la situación actual de la empresa HM SERVICIOS INDUSTRIALES S.A.C que es la responsable de ejecutar los trabajos de reubicación de agua potable y alcantarillado de la Estación Central E13 de la Línea 2 del Metro de Lima. ha proporcionado información de la situación actual con respecto a los trabajos que se han ido ejecutando en obra, para poder observar y realizar una propuesta de mejora en sus procesos, con el fin de reducir los retrasos en la instalación de tuberías para la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima. Se tuvieron que analizar los siguientes procesos: excavación, obra civil, instalación de tubería. La recolección de datos fue tomada desde el 02 mayo del 2022 al 09 de junio del mismo año.

La jornada laboral es de lunes a sábado de 7:30 am a 6:00 pm. Se contó con una cuadrilla de 10 hombres para la obra.

Se hace uso de los siguientes equipos:

- 1 Estación total
- 1 Mini cargador
- 1 Excavadora
- 1 Mezcladora de concreto
- 1 Vibrador de concreto
- 1 Equipo de termofusión para tubería HDPE mayor a DN 600mm
- 1 Camión grúa de 20 Tn
- 1 Grupo electrógeno - 5kv- 8kv

Se procede a realizar la estandarización por proceso de acuerdo a los 4 pasos dados. (ver Figura 26)



Figura 26: Pasos a seguir para mejora de procesos
Fuente: Elaboración propia

1. Identificación de los procesos

Se identifico los procesos principales de la empresa en la ejecución de la obra, de esta manera, podemos organizarlos y darles la secuencia adecuada para su correcta ejecución.

En la figura 27 se muestra el Mapa de Procesos de la empresa HM



Figura 27: Mapa de Procesos de la empresa HM
Fuente: Elaboración propia

Estos procesos previamente identificados, existen, pero no se ejecutan de manera correcta.

2. Control

- Se supervisó la distribución de recursos de maquinarias para cada proceso.
- Se hizo uso de formatos de trabajo para el control de rendimiento diario.

- Se implementó el uso de nuevas maquinarias.
- Se realizaron nuevos cronogramas proyectados, con los datos obtenidos diariamente.

3. Mejoras

- Se incremento la productividad en cada proceso la cual se redujo en el cronograma de trabajo principal.
- Se implemento nuevos métodos de trabajo, para aumentar la eficiencia en la mano de obra y equipos.
- Se redujo los tiempos establecidos como los programas de ejecución.

Objetivo específico 01: Aplicar el análisis de operaciones / Estudio de tiempos para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de excavación

- Situación Antes (Pre Test)

En la presente investigación se desarrolló la primera hipótesis específica referente a la aplicación del análisis de operaciones / estudio de tiempo, para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de excavación.

Como primer paso se dividió la actividad de excavación en 7 tareas como se observa en la Figura 28, estas tareas se disgregaron para realizar la toma de tiempos y así poder hacer el análisis correspondiente para la reducción de alguna de ellas.



Figura 28: Tareas que conforman el ciclo Pre de excavación
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detallan las tareas desgregadas:

1. Traslado de maquinaria - Almacén / Obra
 - 1.1. Distancia recorrida de Almacén central a obra 1.5km
Mini cargador CAT 246D3 (Velocidad de recorrido 5Km/h)
Excavadora CAT M320D2 (Velocidad de recorrido 5Km/h)
* y posicionamiento de operación (duración entre 40-45min por día)
2. Topografía (control, trazo y replanteo)
 - 2.1. Demarcación mediante el uso de yeso y aerosoles
Marcado el Eje trayectoria de tubería y ancho de excavación para tubería y buzones BZ4 - BZ5. (2 op) (entre 20 a 30 min)
3. Remover y trasladar material (Adoquines de concreto 55m²)
 - 3.1. Retirar manualmente adoquín de concreto 55m² (2op)
Se hace uso de: herramientas manuales 18m² x día
(dimensiones=0.1m y L=0.2m)
 - 3.2. Traslado de material (1 excavadora)
Traslado al acopio temporal a 15m de distancia. (18m² x día)
4. Rotura y demolición de sardinel 110 metros lineales
 - 4.1. Rotura de sardinel de concreto
Se realiza cada 3m de longitud (55.0 metros/lineal x día)
 - 4.2. Demolición de sardinel de concreto
Por su dimensión se rompen en pequeños fragmentos fáciles de trasladar
5. Excavación base tierra vegetal volumen 165.0 m³ profundidad = 1.0 m / largo = 55.0 m / ancho = 2.5 m f.e=1.2
 - 5.1. Excavación de base tierra vegetal
Primera fase de excavación selección de material (tierra vegetal)
longitud de excavación 41m³.x día.
*Demora por interferencias no catastradas.
 - 5.2. Traslado de material seleccionado
Cargar a volquetes material seleccionado para su traslado al acopio temporal a 15m de distancia.
6. Excavación de terreno con presencia de interferencia (Profundidad 2.5metros/ Largo = 55.0 m / Ancho= 1.8m) f.e=1.5

- 6.1. Excavación volumen 515m^3
Segunda fase de excavación material propio de terreno (grava)
 73.57m^3 x día
*Demora por interferencias no catastradas.
- 6.2. Traslado de material excavado
Cargar a volquetes material para su traslado al punto de acopio temporal (300m).
7. Instalación de Entibado para estabilizar el desprendimiento de material ($55.0 \times 2 = 110.0$ metros lineales)
 - 7.1. Traslado de paneles metálicos de acopio temporal hacia excavación (300m)
Izaje y posicionamiento en punto designado
 - 7.2. Instalación de paneles y Aseguramiento 37.0 metros lineales x día
Aseguramiento mediante puntales de acero hacia cada panel
8. Orden y Limpieza
 - 8.1. Ordenar Área de trabajo libre de obstáculos y herramientas manuales
Limpieza -Recojo de elementos como:(bolsas de plástico, papeles y otros)

Se realizó un dibujo 3D CAD para tener una mejor percepción de cómo se ha venido ejecutado la tarea de excavación (ver Figura 29). Se observa que, para realizar la actividad de excavación, se empleó una excavadora, un minicargador y 2 volquetes para trasladar el material excavado. En la parte superior de la figura se muestra la vista de corte de excavación.

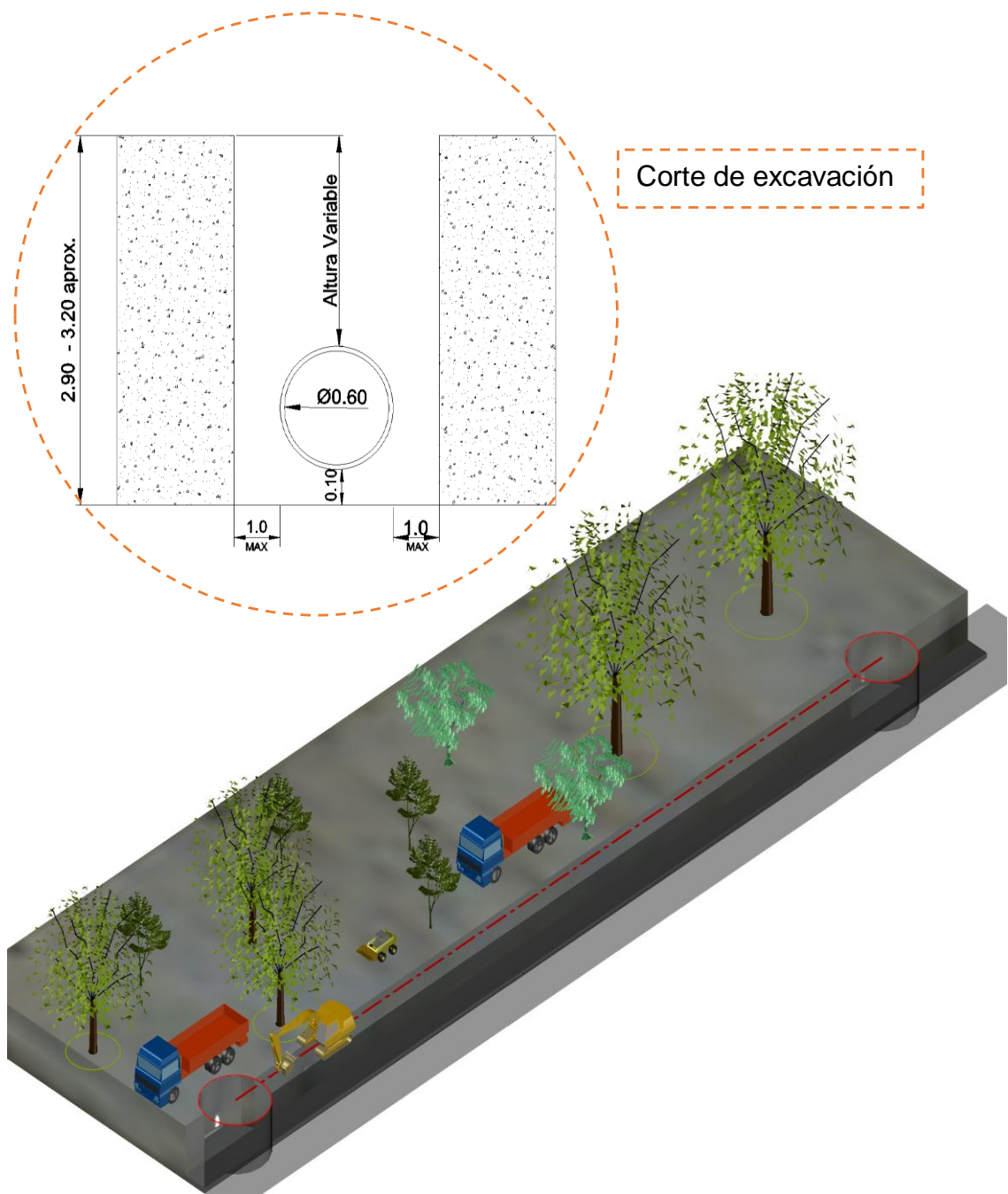


Figura 29: Actividad de excavación
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 30 se muestra el recorrido del volquete, llevando el material excavado al punto de acopio (línea verde), descarga el material y regresa (línea roja) al parque para continuar con el trabajo.

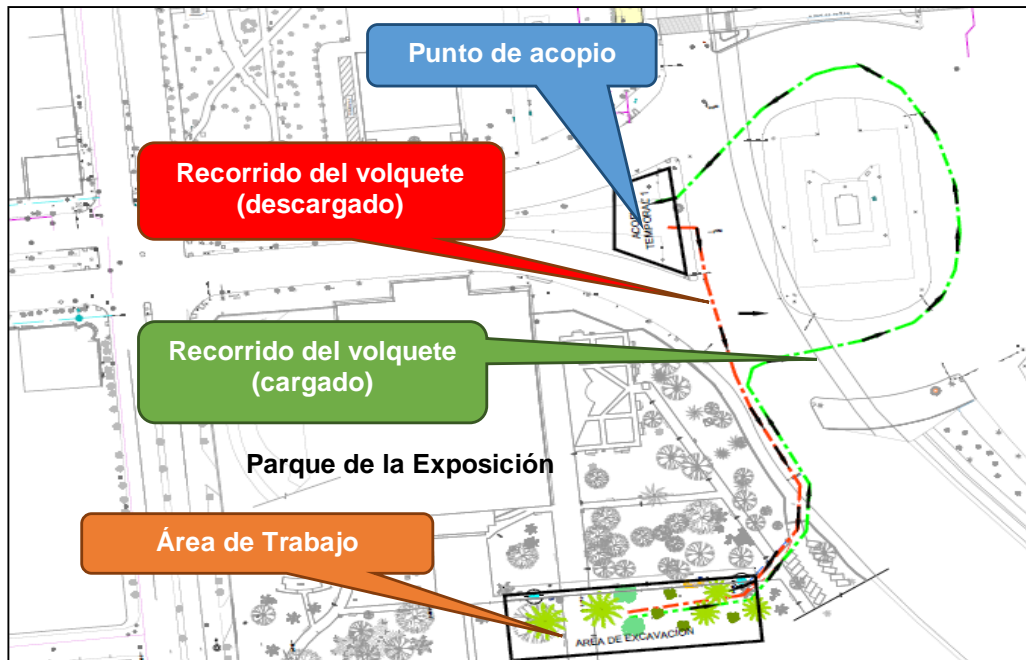


Figura 30: Trayectoria ida y vuelta del volquete del parque al punto de acopio
 Fuente: Elaboración propia

Como segundo paso se desarrolló el D.O.P. (ver Figura 31) de la actividad de excavación para comprender mejor los subprocesos involucrados.

Como tercer paso se elaboró el D.A.P. (ver Tabla 6) de la actividad de excavación donde se incluyen distancias y tiempos, este diagrama se realizó para hacer un análisis de valor en donde se reducirán tiempos innecesarios o actividades para mejorar el tiempo total del ciclo.

Diagrama de Operaciones del proceso de Excavación

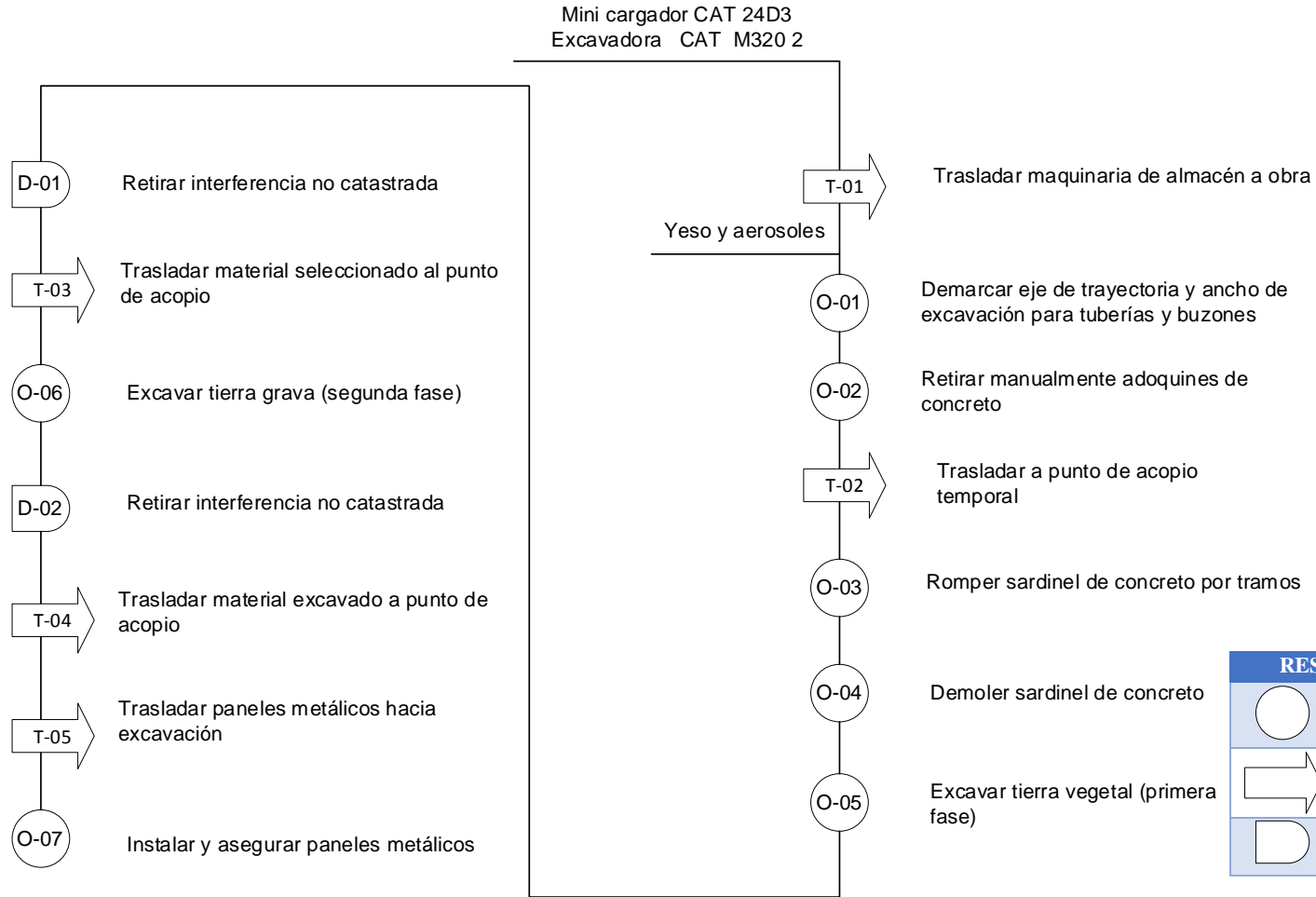


Figura 31: D.O.P. de ciclo Pre de excavación
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: D.A.P. del ciclo Pre de excavación

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO								
Diagrama No.	Hoja No.	OPERARIO <input checked="" type="checkbox"/>	MATERIAL <input type="checkbox"/>	EQUIPO <input type="checkbox"/>				
Objetivo:	Revisión de la actividad de Excavación	RESUMEN						
		ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO	DATOS FINALES			
Proceso analizado:		Operación	7					
		Transporte	5					
		Espera	2					
Método:		Inspección	0					
		Almacenamiento	0					
Localización: Parque de la Exposición		Distancia (m)	2130					
		Tiempo (hrs)	183.28					
Operario: Trabajador		Costo						
		Total						
Elaborado por: Carla Najarro	Fecha: 5/07/2022	Comentarios						
Aprobado por:	Fecha:							
Descripción	Distancia (m)	Tiempo (hrs)	Símbolo					Detalles
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Trasladar maquinaria de almacén a obra	1500	18.30	X					Mini cargador CAT 24D3 (Velocidad de recorrido 5Km/h) Excavadora CAT M320 D2 (Velocidad de recorrido 5Km/h)
Demarcar eje de trayectoria y ancho de excavación para tuberías y buzones		9.94	X					Se hace uso de yeso y aerosoles
Retirar manualmente adoquines de concreto		14.66	X					Se hace uso de: martillo, barreras y lampas (18m2 x día)
Trasladar material a punto de acopio temporal	15	9.16	X					Excavadora (18m2 x día)
Romper sardinel de concreto por tramos		7.14	X					Se realiza cada 3m de longitud (55.0 metros/lineal x día)
Demoler sardinel de concreto		6.64	X					Por su dimensión se rompen en pequeños fragmentos fáciles de trasladar
Excavar tierra vegetal (primera fase)		14.29	X					Se hace uso de una excavadora, longitud de excavación 41.0 m.x día
Retirar interferencia no catastrada		5			X			
Trasladar material seleccionado al punto de acopio	15	10.89	X					
Excavar tierra grava (segunda fase)		40.08	X					Se hace uso de 1 excavadora (73.57m3 x día)
Retirar interferencia no catastrada		5			X			
Trasladar material excavado a punto de acopio	300	11.11	X					Se hace uso de un volquete
Trasladar paneles metálicos hacia excavación	300	7.32	X					Izaje y posicionamiento en punto designado
Instalar y asegurar paneles metálicos		18.88	X					Aseguramiento mediante puntales de acero hacia cada panel (37.0 metros lineales x día)
Ordenar y limpiar área de trabajo		4.88	X					

Fuente: Elaboración propia

- Muestra antes

Para el muestreo se consideró el volumen de tierra excavado por día laboral. (se consideraron las tareas 5 y 6 de la Figura 28). Tareas que duraron 11 días desde el 07 de mayo del 2022 al 18 de mayo del 2022. La información fue recabada de los formatos de avance trabajo de excavación (Ver Anexo 6, Tabla 56), dichos formatos fueron suministrados por la empresa HM esta información está expresada en volumen de tierra excavado (m³) por día (jornada).

Tabla 7: Productividad Pre de la actividad de excavación

N° de día	M ³ /día
1	59
2	65
3	60
4	61
5	60
6	64
7	61
8	61
9	68
10	61
11	60

Fuente: Elaboración propia

- Aplicación de la Teoría (Variable Independiente)

En la Figura 32 se observa lo pasos realizados para la Aplicación del Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos para el ciclo de excavación

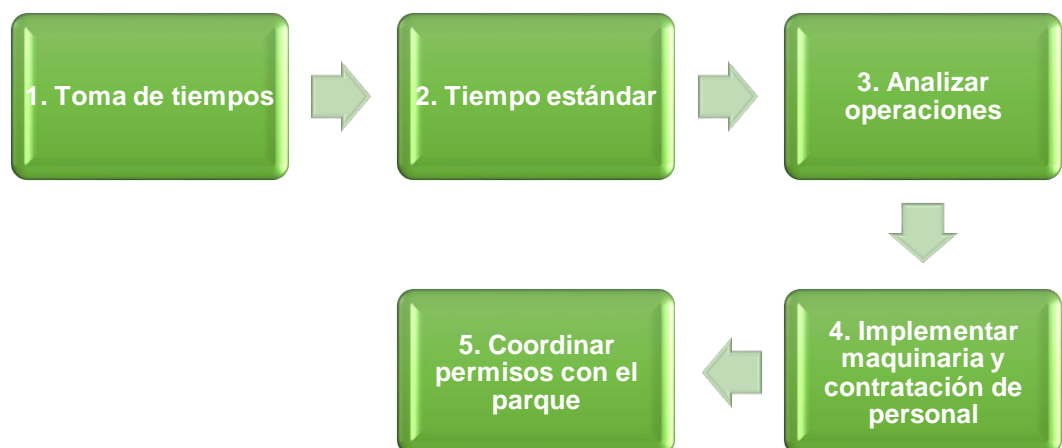


Figura 32: Pasos para la Aplicación del Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos para el ciclo de excavación

Fuente: Elaboración propia

Paso 1: Toma de tiempos

Se realizó una medición de tiempo de las tareas que conforman el ciclo de excavación. Se registró en el siguiente formato los tiempos tomados de cada tarea. (Ver Tabla 8)

Tabla 8: Formato de Toma de tiempo del ciclo Pre de excavación

Fecha de Estudio: 02/05/2022		Hoja de Estudio																		Método:	Actual
Estudio N°: 1																				Analista:	-
Tarea: Ciclo Pre de excavación																				Hora:	7:30 am a 6:00 pm
		Registro diario																			
N°	Descripción del elemento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
		Minutos																			
1.1	Trasladar maquinaria de almacén a obra	45	50	48	40	45	40	45	40	45	40	45	40	45	40	45	46	40	45	40	
2.1	Demarcar eje de trayectoria y ancho de excavación para tuberías y buzones	45	40	38	19	24	21	16	18	22	23	20	17	19	24	21	21	16	18	22	
3.1	Retirar manualmente adoquines de concreto	217	218	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3.2	Trasladar material a punto de acopio temporal	147	148	149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4.1	Romper sardinel de concreto por tramos	0	0	0	183	177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4.2	Demoler sardinel de concreto	0	0	0	213	207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5.1	Excavar tierra vegetal (primera fase) Retirar interferencia no catastrada	0	0	0	0	0	243	239	238	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5.2	Trasladar material seleccionado al punto de acopio	0	0	0	0	0	147	153	150	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6.1	Excavar tierra grava (segunda fase) Retirar interferencia no catastrada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	295	298	300	304	302	301	301	0	0	0	
6.2	Trasladar material excavado a punto de acopio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	85	90	94	88	95	95	0	0	0	
7.1	Trasladar paneles metálicos hacia excavación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	147	150	153	
7.2	Instalar y asegurar paneles metálicos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	239	243	238	
8.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	14	12	13	12	14	14	13	15	12	13	15	10	12	12	13	11	14	15	13	

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Tiempo Estándar

A partir de los datos tomados de la Tabla 8 se realizó un promedio de tiempos por tarea dando como resultado el Tiempo Observado. Luego se estimó en cada tarea la valoración del ritmo del trabajo conforme al sistema Westinghouse (Tabla 1). El resultado de la multiplicación del Tiempo Observado por la Valoración del ritmo de trabajo es el Tiempo Normal. Obtenemos el Tiempo Estándar al multiplicar los Suplementos (Tabla 2) por el Tiempo Normal. En la Tabla 9 se muestra las tareas disgregadas del ciclo de la tarea de excavación.

Tabla 9: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Pre de excavación

N°	EXCAVACION DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5	Tiempo Observado (min)	Factor de Valoración	Tiempo Normal (min)	Suplementos	Tiempo Estándar (min)	Tiempo Estándar de ciclo (Hrs)
1.1	Trasladar maquinaria de almacén a obra	43.37	1.13	49.01	1.18	57.83	18.31
2.1	Demarcar eje de trayectoria y ancho de excavación para tuberías y buzones	23.37	1.15	26.87	1.16	31.17	9.96
3.1	Retirar manualmente adoquines de concreto	218.00	1.13	246.34	1.19	293.14	14.66
3.2	Trasladar material a punto de acopio temporal	148.00	1.04	153.92	1.19	183.16	9.16
4.1	Romper sardinel de concreto por tramos	180.00	1.00	180.00	1.19	214.20	7.14
4.2	Demoler sardinel de concreto	210.00	0.79	165.90	1.20	199.08	6.64
5.1	Excavar tierra vegetal (primera fase) Retirar interferencia no catastrada	240.00	0.98	235.20	1.23	289.30	19.29
5.2	Trasladar material seleccionado al punto de acopio	150.00	0.90	135.00	1.21	163.35	10.89
6.1	Excavar tierra grava (segunda fase) Retirar interferencia no catastrada	300.14	1.03	309.15	1.25	386.43	45.08
6.2	Trasladar material excavado a punto de acopio	90.71	0.86	78.01	1.22	95.18	11.10
7.1	Trasladar paneles metálicos hacia excavación	150.00	0.80	120.00	1.22	146.40	7.32
7.2	Instalar y asegurar paneles metálicos	240.00	1.21	290.40	1.30	377.52	18.88
8.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	13.00	0.98	12.74	1.21	15.42	4.88

Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Analizar operaciones

Se realizó un análisis a las tareas del ciclo de excavación de la Tabla 9, llegando a identificarse las de mayor duración y/o posibles de reducir, a continuación, se presentan las tareas:

- (6.1) Excavación volumen 515m³, teniendo una duración de 45.08 horas.
- (5.1) Excavación de base tierra vegetal, teniendo una duración de 19.29 horas.
- (7.2) Traslado de paneles metálicos hacia excavación (400m), teniendo una duración de 18.88 horas.
- (1.1) Traslado de maquinaria - Almacén / Obra, teniendo una duración de 18.31 horas.
- (6.2) Traslado de material excavado / Cargar a volquetes material para su traslado al punto de acopio temporal (300m), teniendo una duración de 11.10 horas.

Paso 4: Implementar maquinaria y contratación de personal

Luego del análisis de las operaciones se planteó la siguiente propuesta:

Implementar (1) Minicargador y (1) Excavadora más a los trabajos de excavación (antes uno de c/u), también se la contratación de 4 trabajadores más (antes 10). A continuación, se muestran imágenes referenciales de las maquinarias. (Ver Anexo 8: Especificaciones técnicas de Minicargador y Excavadora)



Figura 33: Minicarador CAT 246D3
Fuente: <https://www.unimaq.com.pe/>



Figura 34: Excavadora M320D2

Fuente: <https://www.unimaq.com.pe/>

Paso 5: Coordinar permisos con el parque

Se coordinó con el Parque de la Exposición un permiso para almacenar las maquinarias dentro del estacionamiento del mismo para acortar el recorrido.

Por último, se adaptó dentro del área de trabajo un punto de acopio (terraplén) para reducir el tiempo que toma trasladar lo excavado al punto de acopio original, ubicado fuera del parque.

Luego de implementar y gestionar la propuesta de mejora (maquinaria, operadores y coordinaciones), se aplicó nuevamente el análisis de operaciones / Estudio de tiempos, para hacer un comparativo con la situación antes (Pre-Test), con la finalidad de la reducción del tiempo del ciclo de excavación.

Las tareas que conforman el ciclo de excavación se han mantenido (ver Figura 28). Líneas abajo se muestran las tareas disgregadas del ciclo de excavación, se considera la cantidad de maquinaria, numero de operarios, distancias:

1. Traslado de maquinaria - Almacén / Obra

1.1. Distancia recorrida del sector de estacionamiento (dentro del parque) central a obra 150m

Mini cargador CAT 246D3 (2) (Velocidad de recorrido 5Km/h)

Excavadora CAT M320D2 (2) (Velocidad de recorrido 5Km/h)

* Demora de tráfico tiempo estimado de 10-15min

2. Topografía (control, trazo y replanteo)
 - 2.1. Demarcación mediante el uso de yeso y aerosoles
Marcado el Eje trayectoria de tubería y ancho de excavación para tubería y buzones BZ4 - BZ5. (4 op)
3. Remover y trasladar material (vegetación grass 798m² y adoquines de concreto 55m²)
 - 3.1. Retirar manualmente adoquín de concreto 55m² (6 op)
Con el uso de herramientas manuales (18m² x día)
 - 3.2. Traslado de material
Cargar a volquetes material para su eliminación (7m)
4. Rotura y demolición de sardinel 110 metros lineales
 - 4.1. Rotura de sardinel de concreto (2 excavadoras)
Se realiza cada 3m de longitud (55.0 metros/lineal x día)
 - 4.2. Demolición de sardinel de concreto
Por su dimensión se rompen en pequeños fragmentos fáciles de trasladar
5. Excavación base tierra vegetal volumen 165.0 m³ profundidad = 1.0 m / Largo = 55.0 m / Ancho = 2.5 m f.e=1.2
 - 5.1. Excavación de BASE tierra vegetal (2 excavadoras) / Primera fase de excavación selección de material (tierra vegetal) longitud de excavación 82.50 m³.x día
*Demora por interferencias no catastradas.
 - 5.2. Traslado de material seleccionado
Trasladar a acopio a 7.0m
6. Excavación de terreno con presencia de interferencia (profundidad 2.5m/ Largo = 55.0 m / Ancho= 1.8m) f.e=1.5
 - 6.1. Excavación volumen 515m³ (2 excavadoras)
Segunda fase de excavación material propio de terreno (grava) 73.57m³x día
*Demora por interferencias no catastradas.
 - 6.2. Traslado de material excavado
Cerca de la excavación a 7.0m
7. Instalación de entibado para estabilizar el desprendimiento de material (55.0 x 2 = 110.0 metros lineales)

Al comparar los formatos de toma de tiempo Pre y Post (ver Tabla 8 y 10) se observa que se redujeron el número de días, de 19 días a 11 días, dando como diferencia 8 días.

Comparando la suma total de la columna Tiempo estándar de ciclo de la Tabla 9 con la Tabla 11 se pudo observar un ahorro de tiempo en el ciclo de excavación del 37.45 %

\sum TS total del ciclo PRE=183.30 Hrs.

\sum TS total del ciclo POST=114.66 Hrs.

\sum TS total del ciclo PRE - \sum TS total del ciclo POST = 68.64 Hrs.

Tabla 11: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Post de excavación

N°	EXCAVACION DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5	Tiempo Observado (min)	Factor de Valoración	Tiempo Normal (min)	Suplementos	Tiempo Estándar (min)	Tiempo Estándar de ciclo (Hrs)
1.1	Trasladar maquinaria de almacén a obra	17.00	1.13	19.21	1.18	22.67	4.16
2.1	Demarcar eje de trayectoria y ancho de excavación para tuberías y buzones	17.91	1.15	20.60	1.17	24.10	4.42
3.1	Retirar manualmente adoquines de concreto	300.00	1.13	339.00	1.19	403.41	6.72
3.2	Trasladar material a punto de acopio temporal	147.00	1.04	152.88	1.19	181.93	3.03
4.1	Romper sardinel de concreto por tramos	300.00	1.00	300.00	1.19	357.00	5.95
4.2	Demoler sardinel de concreto	147.00	0.79	116.13	1.20	139.36	2.32
5.1	Excavar tierra vegetal (primera fase) / Retirar interferencia no catastrada	300.00	0.98	294.00	1.23	361.62	12.05
5.2	Trasladar material seleccionado al punto de acopio	150.00	0.90	135.00	1.21	163.35	5.45
6.1	Excavar tierra gravosa (segunda fase) /Retirar interferencia no catastrada	400.00	1.03	412.00	1.25	515.00	34.33
6.2	Trasladar material excavado a punto de acopio	51.25	0.86	44.08	1.22	53.77	3.58
7.1	Trasladar paneles metálicos hacia excavación	150.00	0.80	120.00	1.22	146.40	7.32
7.2	Instalar y asegurar paneles metálicos	290.00	1.21	350.90	1.30	456.17	22.81
8.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	11.55	0.98	11.31	1.21	13.69	2.51

Fuente: Elaboración propia

Se desarrolló el D.O.P. (ver Figura 35) de la actividad Post de excavación para comprender mejor los subprocesos involucrados.

Diagrama de Operaciones del proceso de Excavación

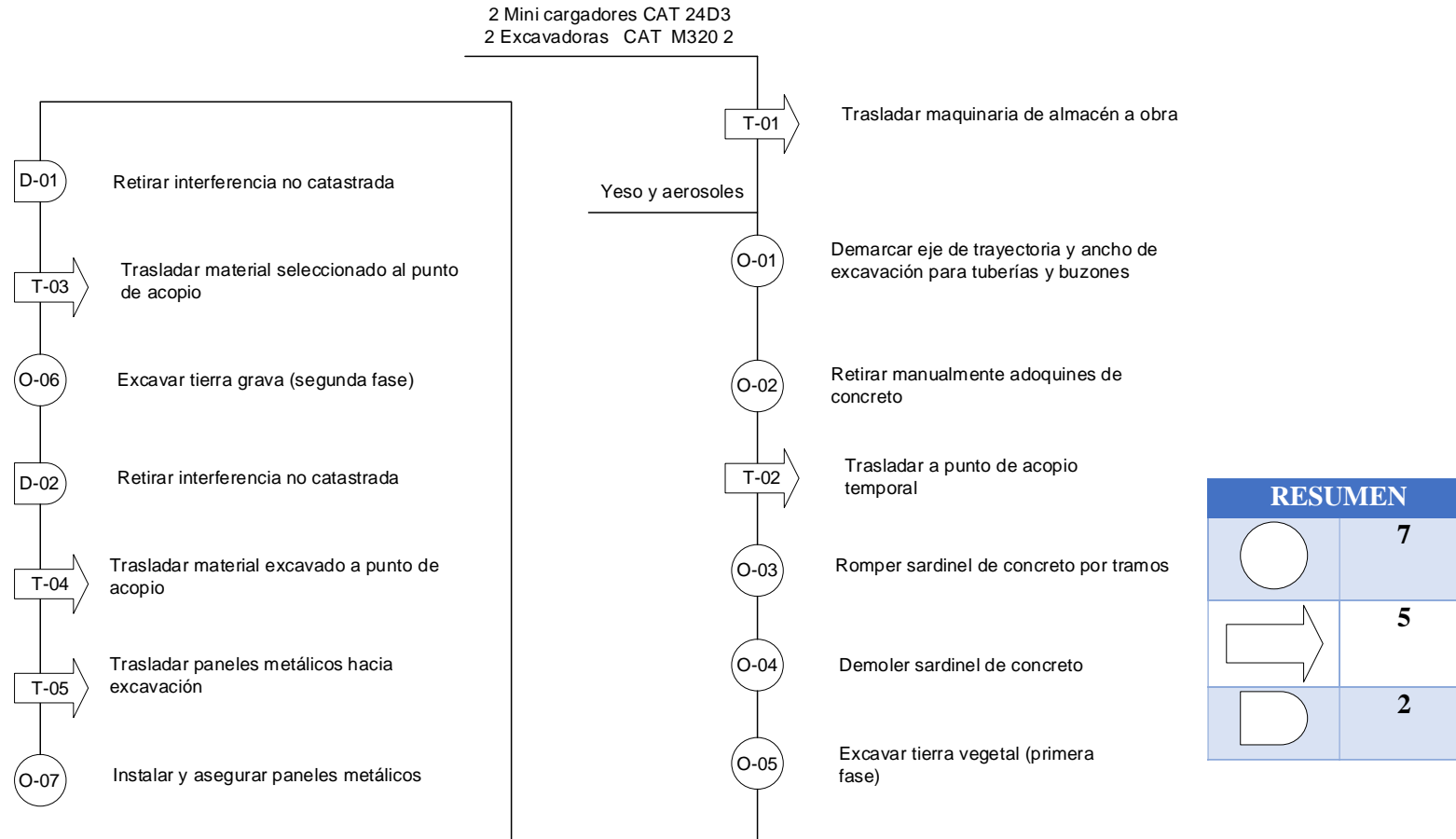


Figura 35: D.O.P. de ciclo Post de excavación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: D.A.P. del ciclo Post de excavación

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO											
Diagrama No.		Hoja No.		OPERARIO <input checked="" type="checkbox"/>			MATERIAL <input type="checkbox"/>			EQUIPO <input type="checkbox"/>	
Objetivo:		Revisión de la actividad de Excavación		RESUMEN							
		ACTIVIDAD		ACTUAL		PROPUESTO		DATOS FINALES			
Proceso analizado:		Operación		7							
		Transporte		5							
		Espera		2							
Método:		Inspección		0							
Actual <input type="checkbox"/>		Propuesto <input checked="" type="checkbox"/>		Almacenamiento		0					
Localización: Parque de la Exposición		Distancia (m)		178							
		Tiempo (hrs)		114.66							
Operario: Trabajador		Costo									
		Total									
Elaborado por: Carla Najarro		Fecha: 5/07/2022		Comentarios			Detalles				
Aprobado por:		Fecha:									
Descripción				Distancia (m)	Tiempo (hrs)	Símbolo					Observaciones
						○	➔	D	□	▽	
Trasladar maquinaria de almacén a obra				150	4.16	X					(2) Mini cargador CAT 24D3 (Velocidad de recorrido 5Km/h) (2) Excavadora CAT M320 D2 (Velocidad de recorrido 5Km/h)
Demarcar eje de trayectoria y ancho de excavación para tuberías y buzones					4.42	X					Se hace uso de yeso y aerosoles
Retirar manualmente adoquines de concreto					6.72	X					Se hace uso de: martillo, barreras y lampas (18m2 x día)
Trasladar material a punto de acopio temporal				7	3.03	X					Excavadora (18m2 x día)
Romper sardinel de concreto por tramos					5.95	X					Se realiza cada 3m de longitud (55.0 metros/lineal x día)
Demoler sardinel de concreto					2.32	X					Por su dimensión se rompen en pequeños fragmentos fáciles de trasladar
Excavar tierra vega (primera fase)					7.05	X					Se usaron 2 excavadoras, longitud de excavación 82.5.0 m3.x día
Retirar interferencia no catastrada					5.00			X			
Trasladar material seleccionado al punto de acopio				7	5.45	X					
Excavar tierra gravosa (segunda fase)					29.33	X					Se hace uso de 2 excavadora (73.57m3 x día)
Retirar interferencia no catastrada					5.00			X			
Trasladar material excavado a punto de acopio				7	3.59	X					Se hace uso de un volquete
Trasladar paneles metálicos hacia excavación				7	7.32	X					izaje y posicionamiento en punto designado
Instalar y asegurar paneles metálicos					22.81	X					Aseguramiento mediante puntales de acero hacia cada panel (37.0 metros lineales x día)
Ordenar y limpiar área de trabajo					2.51	X					

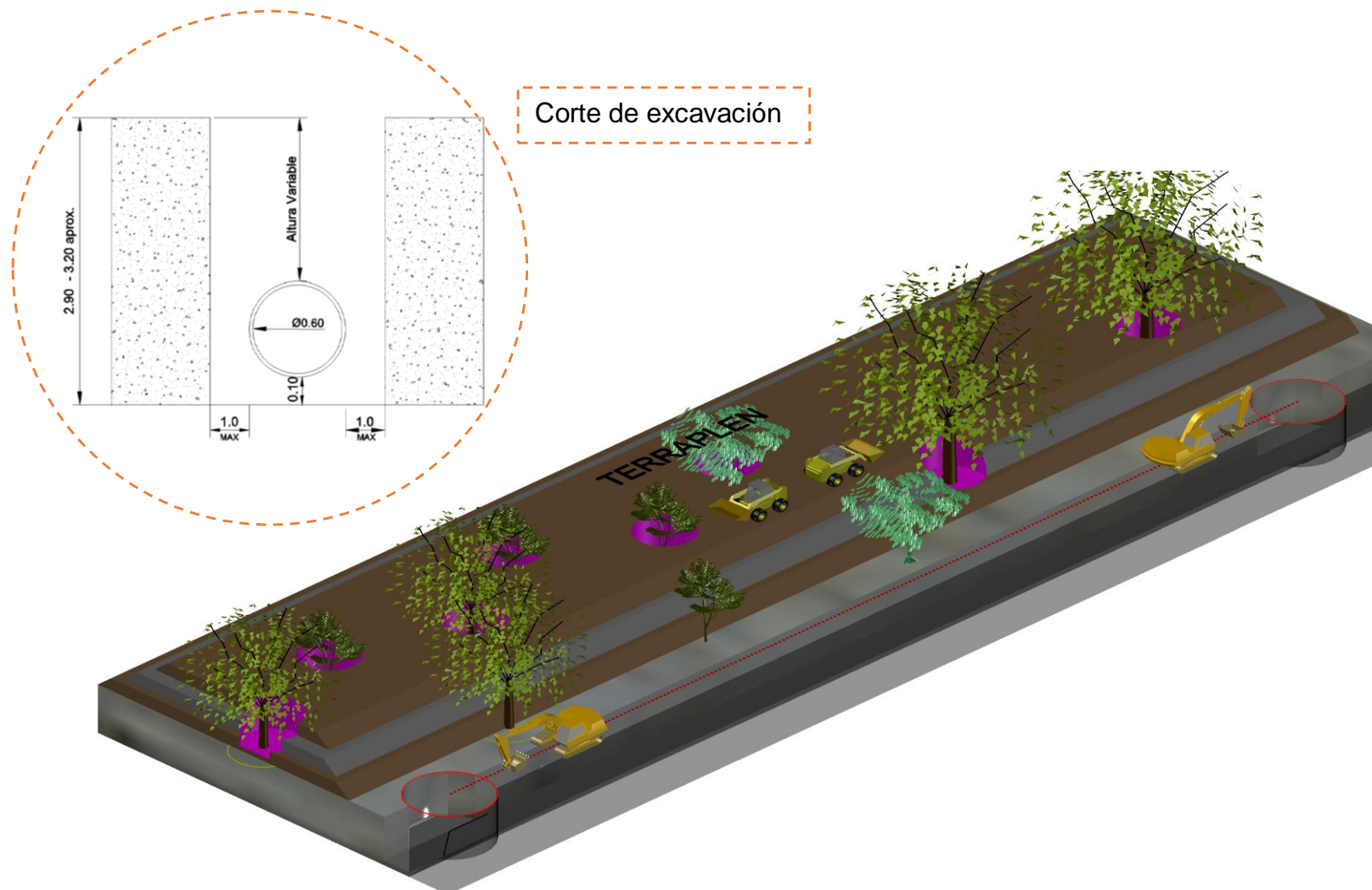
Fuente: Elaboración propia

Se elaboró el D.A.P. (ver Tabla 12) de la actividad de excavación donde se incluyen distancias y tiempos, este diagrama se realizó para hacer un análisis de valor en donde se observa la reducción de tiempos en las tareas del ciclo de excavación en comparación de la Tabla 6.

- Situación después (Post Test)

Una vez aplicada la propuesta de mejora (simulación), se pudo observar que se logró realizar la reducción de los tiempos de las tareas del ciclo de excavación. También al contar con el aumento de maquinarias y personal, y coordinaciones con los encargados de la administración del Parque de la Explosión, se logró incrementar la capacidad producción (volumen de tierra $m^3/día$), aprovechar el área del trabajo y se redujeron las distancias de recorrido de las maquinas.

En el dibujo en 3D CAD (ver Figura36) se muestra un escenario donde se tienen dos excavadoras y dos minicargadores para la actividad, también se muestra un espacio para acopiar material en forma de terraplén, el cual, al finalizar los trabajos de instalación de tuberías y alcantarillado, servirá para rellenar la excavación .



Corte de excavación

Figura 36: Escenario de actividad de excavación
Fuente: Elaboración propia

- Muestra después

Para el muestreo (Post) se midió el volumen de tierra excavado por día laboral. (se consideraron las tareas 5 y 6 de la Figura 28). Tareas que duraron 6 días desde el 15 de mayo del 2022 al 21 de mayo del 2022. Debido a que la realización de las mejoras son una simulación, se utilizó la función aleatoria de Excel para obtener los datos de la muestra post, teniendo en cuenta que el volumen total de excavación es 680m³ y que la duración de la tarea es de 6 días, dando como resultado la siguiente data expresada en la Tabla 13.

Tabla 13: Productividad Post de la actividad de excavación

N° de día	M ³ /día
1	113
2	115
3	105
4	110
5	118
6	119
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0

Fuente: Elaboración propia

Objetivo específico 02: Aplicar el análisis de operaciones / Estudio de tiempos para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil

- Situación Antes (Pre Test)

En la presente investigación se desarrolló la segunda hipótesis específica referente a la aplicación del análisis de operaciones / estudio de tiempo, para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil.

Como primer paso se dividió la actividad de obra civil en 10 tareas como se observa en la Figura 37, estas tareas se disgregaron para realizar la toma de tiempos y así poder hacer el análisis correspondiente para la reducción de alguna de ellas

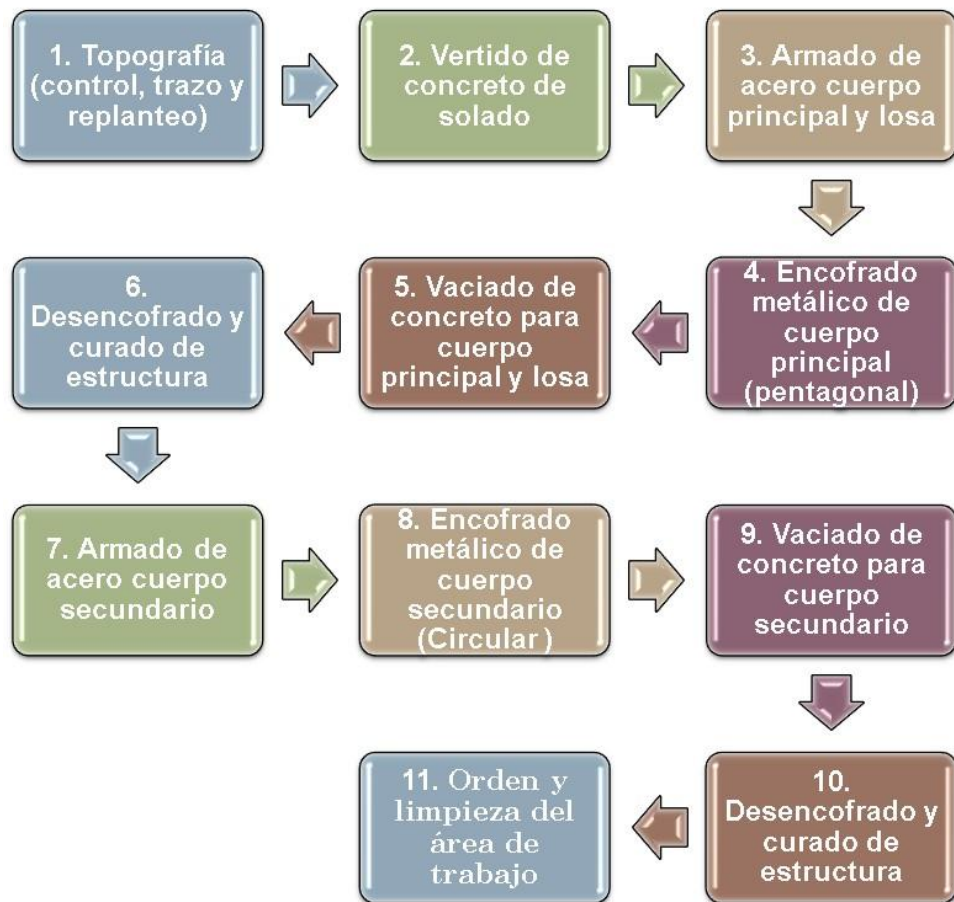


Figura 37: Tareas que conforman el ciclo Pre de obra civil
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detallan las tareas disgregadas:

1. Topografía (control, trazo y replanteo) BZ-4 Y BZ5
 - 1.1. Demarcación mediante el uso de yeso y aerosoles
Marcado con coordenadas centro de buzones BZ4 - BZ5 (2 op)
2. Vertido de concreto $e=0.05\text{m}$ de SOLADO
 - 2.1. Conformación del terreno y Preparación de mezcla
Compactado de Área 9.0m^2 para el Vaciado de concreto $e=0.05\text{m}$ para buzón BZ-4 y BZ-5
3. Armado de acero Cuerpo Principal y Losa
 - 3.1. Armadura de acero corrugado $1/2"$ $H=1.23\text{m}$ $HT=2.46\text{m}$
Armado y aseguramiento de acero de forma pentagonal. Para buzón BZ-4 Y BZ-5 (fierro corrugado $1/2"$)

4. Encofrado metálico de cuerpo principal (Pentagonal H=1.23m) HT=2.46m
 - 4.1 Armado de paneles fenólicos y estructura metálica y a seguramiento mediante ganchos expansores.
5. Vaciado de concreto para cuerpo principal y losa H=1.23m HT=2.46m
 - 5.1. Concreto premezclado con el uso de mezcladora manual.
Vertido de concreto 4.46m³ para BZ-4 Y BZ-5 (2.23m³ cada buzón)
6. Desencofrado y curado de estructura
 - 6.1 Retirar el encofrado de estructura metálica y rociado de curador de concreto (antisol) (3 op)
7. Armado de acero Cuerpo Secundario
 - 7.1. Armadura de acero corrugado 1/2" H=2.82m HT=5.64m
Armado y aseguramiento de acero de forma circular. Para buzón BZ-4 Y BZ-5 (fierro corrugado 1/2")
8. Encofrado metálico de Cuerpo Secundario (Pentagonal H=2.82m HT=5.64m)
 - 8.1. Instalación y Aseguramiento de Armadura metálica circular.
9. Vaciado de concreto para Cuerpo Secundario 2.3m³ VT=4.6m³
 - 9.1. Concreto premezclado con el uso de mezcladora manual.
Vertido de concreto 2.3m³ para BZ-4 Y BZ-5 (VT=4.6m³)
10. Desencofrado y curado de estructura
 - 10.1. Retirar encofrado metálico circular
11. Orden y Limpieza
 - 11.1. Ordenar Área de trabajo libre de obstáculos y herramientas manuales
Limpieza -Recojo de elementos como:(bolsas de plástico, papeles y otros)

Se realizaron dibujos 3D CAD para tener una mejor percepción de cómo se ejecutó la tarea de obra.

En la Figura 38 se muestra la construcción de la losa y el cuerpo principal (bloque pentagonal de color celeste), se hizo uso de una mezcladora de concreto para el vaciado.

En la Figura 39 se muestra la construcción del cuerpo secundario (bloque cilíndrico de color celeste), se hizo uso de una mezcladora de concreto para el vaciado.



Figura 38: Construcción de la base pentagonal
Fuente: Elaboración propia

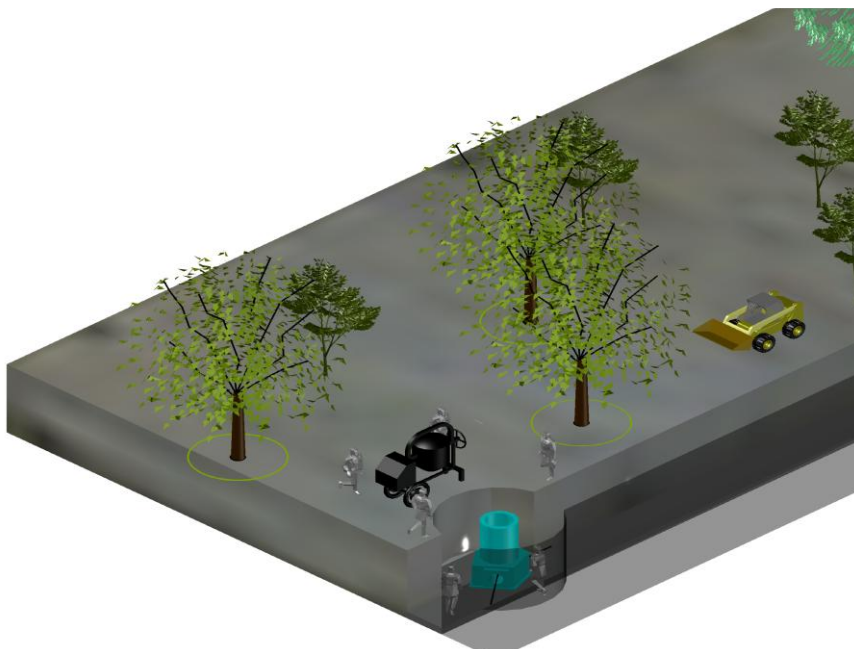


Figura 39: Construcción del cuerpo secundario
Fuente: Elaboración propia

Como segundo paso se desarrolló el D.O.P. (ver Figura 40) de la actividad de obra civil para comprender mejor los subprocesos involucrados.

Como tercer paso se elaboró el D.A.P. (ver Tabla 14) de la actividad de obra civil donde se incluyen distancias y tiempos, este diagrama se realizó para hacer un análisis de valor en donde se reducirán tiempos innecesarios o actividades para mejorar el tiempo total del ciclo.

Diagrama de Operaciones del proceso de Obra Civil

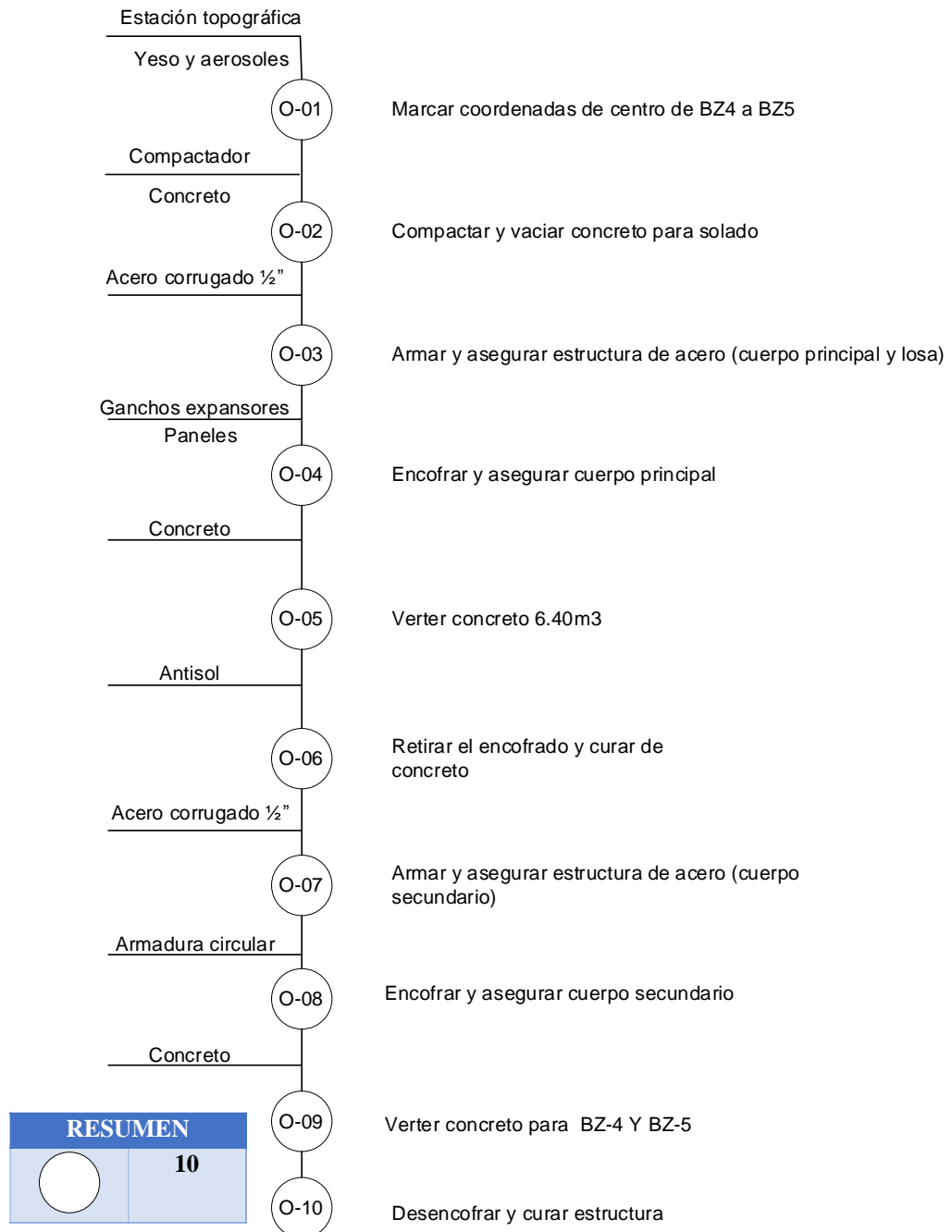


Figura 40: D.O.P. de ciclo Pre de obra civil
Fuente: Elaboración propia

- Muestra antes

Para el muestreo se consideró el volumen de concreto vertido por día laboral. Tareas que duraron días desde el 24 de mayo del 2022 al 02 de junio del 2022. La información fue recabada de los formatos de avance trabajo de obra civil (Ver Anexo 6, tabla 57), dichos formatos fueron suministrados por la empresa HM esta información está expresada en volumen de tierra excavado (m³) por día (jornada).

Tabla 15: Productividad Pre de la actividad de obra civil

N° de día	M ³ /día
1	1.10
2	1.10
3	0.94
4	1.10
5	1.20
6	1.60
7	0.90
8	0.92
9	1.10

Fuente: Elaboración propia

- Aplicación de la Teoría (Variable Independiente)

En la Figura 32 se observa lo pasos realizados para la Aplicación del Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos para el ciclo de obra civil



Figura 41: Pasos para la Aplicación del Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos para el ciclo de obra civil

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 41 se observa la secuencia de la aplicación de la teoría, líneas abajo se detalla cada paso:

Paso 1: Toma de tiempos

Se realizó una medición de tiempo de las tareas que conforman el ciclo de obra civil. Se registró en el siguiente formato los tiempos tomados de cada tarea. (Ver Tabla 16)

Tabla 16: Formato de Toma de tiempo del ciclo Pre de obra civil

Fecha de Estudio: 24/05/2022		Hoja de Estudio					Método:		Actual	
Estudio N°: 1							Analista:		-	
Tarea: Ciclo Pre de obra civil							Hora:		7:30 am a 6:00 pm	
Registro diario										
N°	Descripción del elemento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Minutos								
1.1	Marcar coordenadas de centro de buzones BZ4 hacia BZ5	45	50	40	45	40	45	40	45	40
2.1	Compactar Área 9.0m ² para el Vaciado de concreto e=0.05m	300	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1	Armar y asegurar estructura de acero de forma pentagonal	0	420	0	0	0	0	0	0	0
4.1	Armar y asegurar paneles fenólicos	0	0	420	400	0	0	0	0	0
5.1	Verter concreto 4.46m ³ para BZ-4 Y BZ-5 (2.23m ³ cada buzón)	0	0	0	0	450	0	0	0	0
6.1	Retirar el encofrado de estructura metálica y rociado de curador de concreto (antisol)	0	0	0	0	0	380	0	0	0
7.1	Armar y asegurar estructura de acero de forma circular	0	0	0	0	0	0	450	0	0
8.1	Instalar y asegurar armadura metálica circular	0	0	0	0	0	0	0	300	0
9.1	Verter concreto 2.3m ³ para BZ-4 Y BZ-5	0	0	0	0	0	0	0	150	0
10.1	Retirar encofrado metálico circular	0	0	0	0	0	0	0	0	420
11.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	15	11	13	14	12	11	15	13	13

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Tiempo Estándar

A partir de los datos tomados de la Tabla 16 se realizó un promedio de tiempos por tarea dando como resultado el Tiempo Observado. Luego se estimó en cada tarea la valoración del ritmo del trabajo conforme al sistema Westinghouse (Tabla 1). El resultado de la multiplicación del Tiempo Observado por la Valoración del ritmo de trabajo es el Tiempo Normal. Obtenemos el Tiempo Estándar al multiplicar los Suplementos (Tabla 2) por el Tiempo Normal.

En la Tabla 17 se muestra las tareas disgregadas del ciclo de la tarea de obra civil.

Tabla 17: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Pre de obra civil

N°	OBRA CIVIL DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5	Tiempo Observado (min)	Factor de Valoración	Tiempo Normal (min)	Total Suplementos	Tiempo Estándar (min)	Tiempo Estándar de ciclo (Hrs)
1.1	Marcar coordenadas de centro de buzones BZ4 hacia BZ5	43.33	0.94	40.73	1.36	55.40	8.31
2.1	Compactar Área 9.0m ² para el Vaciado de concreto e=0.05m	300.00	1.13	339.00	1.38	467.82	7.80
3.1	Armar y asegurar estructura de acero de forma pentagonal	420.00	1.22	512.40	1.43	732.73	12.21
4.1	Armar y asegurar paneles fenólicos	410.00	1.23	504.30	1.31	660.63	22.02
5.1	Verter concreto 4.46m ³ para BZ-4 Y BZ-5 (2.23m ³ cada buzón)	450.00	1.13	508.50	1.32	671.22	11.19
6.1	Retirar el encofrado de estructura metálica y rociado de curador de concreto (antisol)	380.00	1.14	433.20	1.32	571.82	9.53
7.1	Armar y asegurar estructura de acero de forma circular	450.00	1.17	526.50	1.35	710.78	11.85
8.1	Instalar y asegurar armadura metálica circular	300.00	1.16	348.00	1.30	452.40	7.54
9.1	Verter concreto 2.3m ³ para BZ-4 Y BZ-5	150.00	1.36	204.00	1.32	269.28	4.49
10.1	Retirar encofrado metálico circular	420.00	1.21	508.20	1.31	665.74	11.10
11.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	13.00	0.98	12.74	1.21	15.42	0.26

Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Analizar operaciones

Se realizó un análisis a las tareas del ciclo de obra civil de la Tabla 17, llegando a identificarse las de mayor duración y/o posibles de reducir, a continuación, se presentan las tareas:

- (4.1) Encofrado metálico de cuerpo principal (Pentagonal $H=1.23m$) $HT=2.46m$, teniendo una duración de 22.02 horas.
- (3.1) Armado de acero Cuerpo Principal y Losa, teniendo una duración de 12.21 horas.
- (7.1) Armado de acero Cuerpo Secundario, teniendo una duración de 11.85 horas.
- (5.1) Vaciado de concreto para cuerpo principal y losa $H=1.23m$ $HT=2.46m$, teniendo una duración de 11.19 horas.

Paso 4: Construcción de piezas prefabricadas

Luego del análisis de las operaciones se planteó que la construcción de las piezas que conforman los buzones sea fabricada en los almacenes de la empresa, es decir, se instalaran piezas prefabricadas en obra, para lograr reducir el tiempo del ciclo de obra civil.

A continuación, se incluye imágenes referenciales de otra obra (Ver Figura 42)



Figura 42: Piezas prefabricadas de buzón (cuerpo principal y cuerpo secundario)
Fuente: Elaboración propia

Luego de realizada la propuesta de mejora (simular) se aplicó nuevamente el análisis de operaciones / Estudio de tiempos, para hacer un comparativo con la situación antes (Pre-Test), con la finalidad de la reducción del tiempo del ciclo de obra civil.

En la Figura 43, se muestran las tareas que conforman el ciclo de obra civil

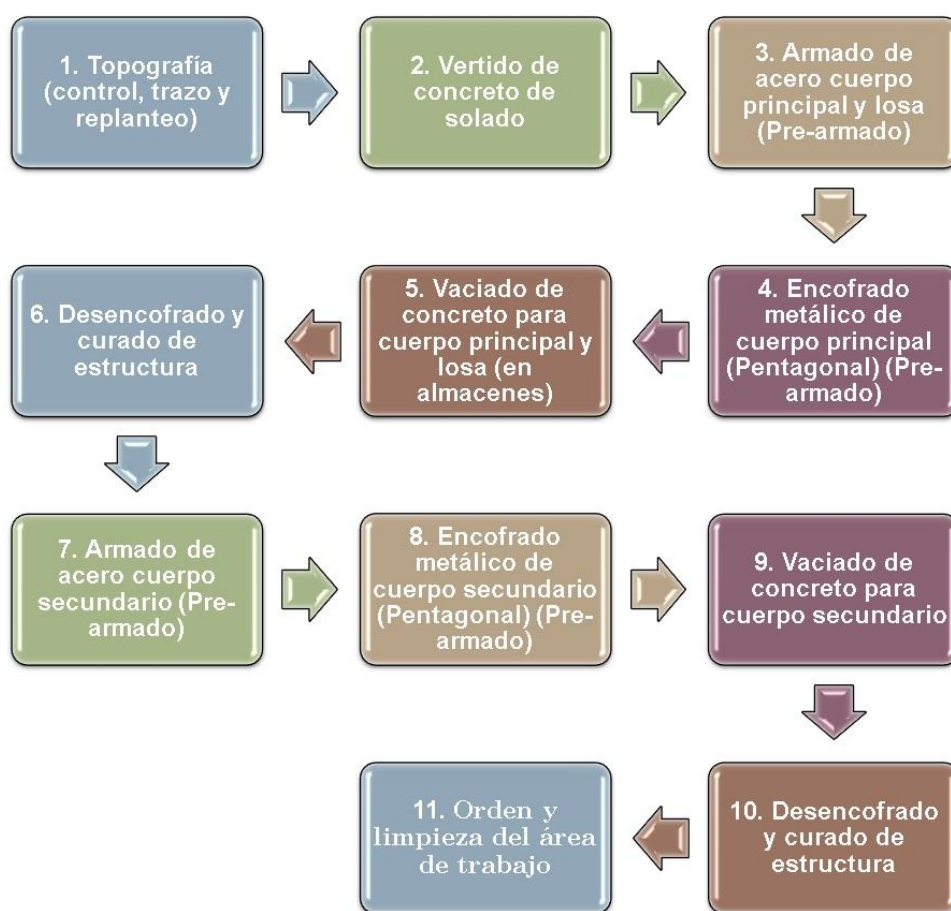


Figura 43: Tareas que conforman del ciclo Post de obra civil

Fuente: Elaboración propia

Líneas abajo se muestran las tareas disgregadas del ciclo de obra civil, se considera la instalación de piezas prefabricadas distancias:

1. Topografía (control, trazo y replanteo) BZ-4 Y BZ5
 - 1.1. Demarcación mediante el uso de yeso y aerosoles
Marcado con coordenadas centro de buzones BZ4 - BZ5. (2 op)
2. Vertido de concreto e=0.05m de SOLADO
 - 2.1. Conformación del terreno y Preparación de mezcla
Compactado de Área 9.0m² para el Vaciado de concreto e=0.05m para buzón BZ-4 y BZ-5
3. Armado de acero Cuerpo Principal Y losa (Pre-armado)

- 3.1. Armadura de acero corrugado 1/2" H=1.23m HT=2.46m
Pre-armado listo para insertar a encofrado. Para buzón BZ-4 Y BZ-5 (fierro corrugado 1/2")
4. Encofrado metálico de cuerpo principal (Pentagonal H=1.23m) HT=2.46m (Pre-armado)
 - 4.1. Pre-armado y asegurado listo para insertar en excavación. Para buzón BZ-4 Y BZ-5
5. Vaciado de concreto para cuerpo principal y losa H=1.23m HT=2.46m (en almacenes)
 - 5.1. Concreto premezclada empresa Mixercon
Vertido de concreto 8.0m³ para BZ-4 Y BZ-5
6. Desencofrado y curado de estructura
 - 6.1. Retirar el encofrado de estructura metálica y rociado de curador de concreto (antisol) (6 op)
7. Armado de acero Cuerpo Secundario (Pre-armado)
 - 7.1 Armadura de acero corrugado 1/2" H=2.82m HT=5.64m
Pre-armado listo para insertar a encofrado. Para buzón BZ-4 Y BZ-5 (fierro corrugado 1/2")
8. Encofrado metálico de Cuerpo Secundario (Pentagonal H=1.23 m) (Pre-armado)
 - 8.1. Pre-armado y asegurado listo para su instalación
9. Vaciado de concreto para Cuerpo Secundario
 - 9.1. Concreto premezclado con el uso de mezcladora manual.
Vertido de concreto para BZ-4 Y BZ-5
10. Desencofrado y curado de estructura
 - 10.1. Retirar encofrado metálico circular
11. Orden y Limpieza
 - 11.1. Ordenar Área de trabajo libre de obstáculos y herramientas manuales
Limpieza -Recojo de elementos como:(bolsas de plástico, papeles y otros)

Se realizó nuevamente una medición de tiempo de tareas que conforman el ciclo de obra civil (Ver Tabla 18) y el cálculo del tiempo estándar (Ver Tabla 19)

Tabla 18: Formato de Toma de tiempo del Ciclo Post de obra civil

Fecha de Estudio: 25/06/2022		Hoja de Estudio			Método:	Actual
Estudio N°: 1					Analista:	-
Tarea: Ciclo Post de obra civil					Hora:	7:30 am a 6:00 pm
Registro diario						
N°	Descripción del elemento	1	2	3	4	5
		Minutos				
1.1	Marcar coordenadas de centro de buzones BZ4 hacia BZ5	45	50	40	40	40
2.1	Compactar Área 9.0m ² para el Vaciado de concreto e=0.05m	300	0	0	0	0
3.1	Insertar pre-armado de cuerpo principal en encofrado	0	140	0	0	0
4.1	Insertar pre-armado de cuerpo principal asegurado dentro de excavación	0	160	0	0	0
5.1	Verter concreto pre-mezclado 8.0m ³	0	80	0	0	0
6.1	Retirar el encofrado de estructura metálica y rociado de curador de concreto (antisol)	0	0	180	0	0
7.1	Insertar pre-armado de cuerpo secundario en encofrado	0	0	0	120	0
8.1	Insertar pre-armado asegurado para su instalación	0	0	0	120	0
9.1	Verter concreto pre-mezclado para cuerpo secundario	0	0	0	220	0
10.1	Retirar encofrado metálico circular	0	0	0		420
11.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	12	10	11	10	13

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los formatos de toma de tiempo Pre y Post (ver Tabla 16 y 18) se observa que se redujeron el número de días, de 9 días a 5 días, dando como diferencia 4 días.

Comparando la suma total de la columna Tiempo estándar de ciclo de la Tabla 17 con la Tabla 19 se pudo observar un ahorro de tiempo en el ciclo de obra civil del 51.80 %

\sum TS total del ciclo PRE=108.34 Hrs.

\sum TS total del ciclo POST=52.21 Hrs.

\sum TS total del ciclo PRE - \sum TS total del ciclo POST = 56.13 Hrs.

Tabla 19: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Post de obra civil

N°	OBRA CIVIL DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5	Tiempo Observado (min)	Factor de Valoración	Tiempo Normal (min)	Total Suplementos	Tiempo Estándar (min)	Tiempo Estándar de ciclo (Hrs)
1.1	Marcar coordenadas de centro de buzones BZ4 hacia BZ5	43.00	0.94	40.42	1.36	54.97	4.58
2.1	Compactar Área 9.0m ² para el Vaciado de concreto e=0.05m	300.00	1.13	339.00	1.38	467.82	7.80
3.1	Armar y asegurar estructura de acero de forma pentagonal	140.00	1.22	170.80	1.43	244.24	4.07
4.1	Armar y asegurar paneles fenólicos	160.00	1.23	196.80	1.31	257.81	4.30
5.1	Verter concreto 4.46m ³ para BZ-4 Y BZ-5 (2.23m ³ cada buzón)	80.00	1.13	90.40	1.32	119.33	1.99
6.1	Retirar el encofrado de estructura metálica y rociado de curador de concreto (antisol)	180.00	1.14	205.20	1.32	270.86	4.51
7.1	Armar y asegurar estructura de acero de forma circular	120.00	1.17	140.40	1.35	189.54	3.16
8.1	Instalar y asegurar armadura metálica circular	120.00	1.16	139.20	1.30	180.96	3.02
9.1	Verter concreto 2.3m ³ para BZ-4 Y BZ-5	220.00	1.36	299.20	1.32	394.94	6.58
10.1	Retirar encofrado metálico circular	420.00	1.21	508.20	1.31	665.74	11.10
11.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	11.20	0.98	10.98	1.21	13.28	1.11

Fuente: Elaboración propia

Se desarrolló el D.O.P. (ver Figura 44) de la actividad Post de obra civil para comprender mejor los subprocesos involucrados.

Diagrama de Operaciones del proceso de Obra Civil

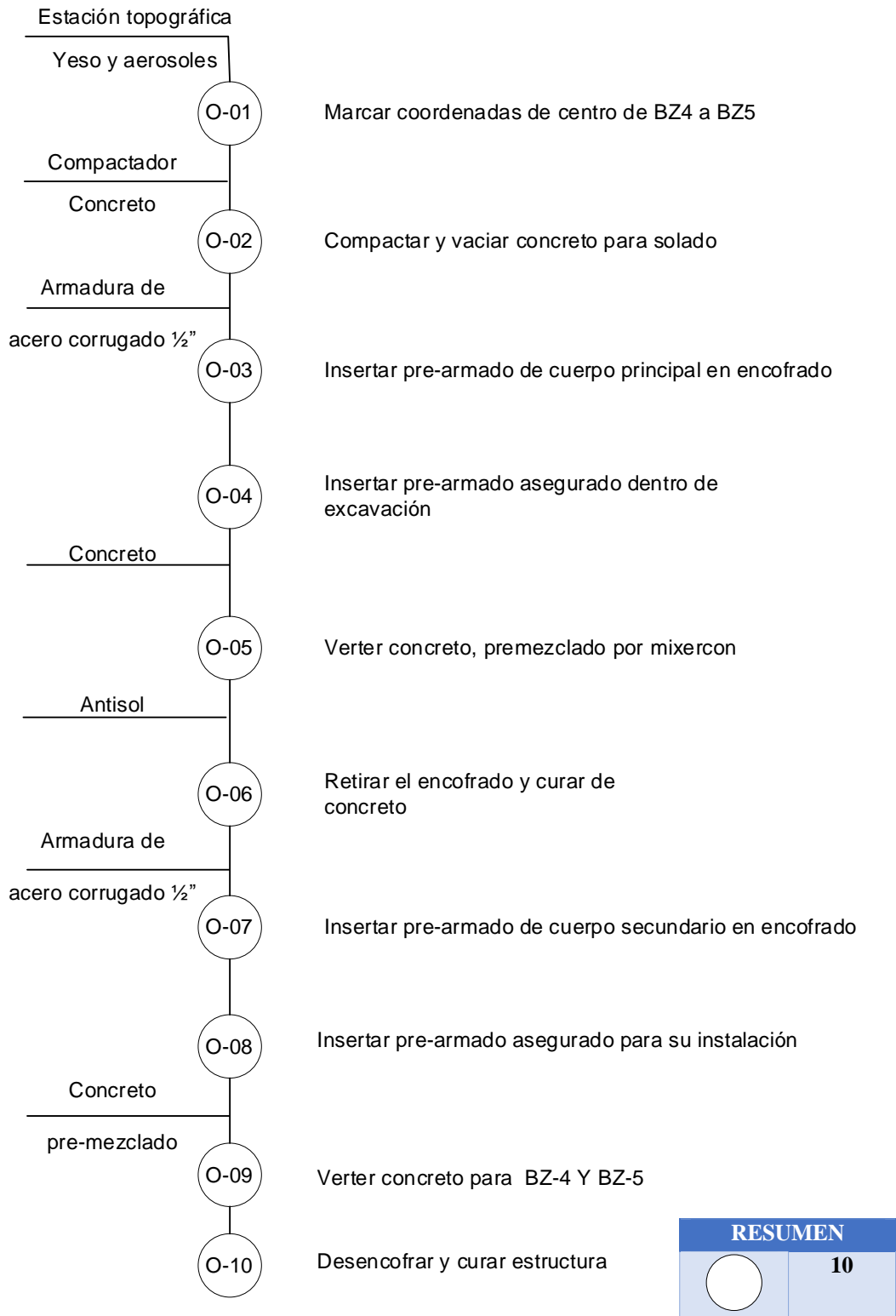


Figura 44: D.O.P. de ciclo Post de obra civil
Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: D.A.P de ciclo Post de obra civil

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO						
Diagrama No.	Hoja No.	OPERARIO <input checked="" type="checkbox"/>	MATERIAL <input type="checkbox"/>	EQUIPO <input type="checkbox"/>		
Objetivo:	Revisión de la actividad de Obra Civil	RESUMEN				
		ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO	DATOS FINALES	
Proceso analizado:		Operación	11			
		Transporte	0			
		Espera	0			
Método:		Inspección	0			
Actual <input type="checkbox"/>	Propuesto <input checked="" type="checkbox"/>	Almacenamiento	0			
Localización: Parque de la Exposición		Distancia (m)	0			
		Tiempo (hrs)	52.21			
Operario: Trabajador		Costo				
		Total				
Elaborado por:	Fecha:	Comentarios		Detalles		
Carla Najarro	5/07/2022					
Aprobado por:	Fecha:					
Descripción		Distancia (m)	Tiempo (hrs)	Símbolo		Observaciones
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Marcar coordenadas de centro de buzones BZ4 hacia BZ5			4.58	X		
Compactar Área 9.0m2 para el Vaciado de concreto e=0.05m			7.80	X		
Insertar pre-armado de cuerpo principal en encofrado			4.07	X		
Insertar pre-armado de cuerpo principal asegurado dentro de excavación			4.30	X		
Verter concreto pre-mezclado 8.0m3			1.99	X		
Retirar el encofrado de estructura metálica y rociado de curador de concreto (antisol)			4.51	X		
Insertar pre-armado de cuerpo secundario en encofrado			3.16	X		
Insertar pre-armado asegurado para su instalación			3.02	X		
Verter concreto pre-mezclado para cuerpo secundario			6.58	X		
Retirar encofrado metálico circular			11.10	X		
Ordenar y limpiar área de trabajo			1.11	X		

Fuente: Elaboración propia

Se elaboró el D.A.P. (ver Tabla 20) de la actividad de obra civil donde se incluyen distancias y tiempos, este diagrama se realizó para hacer un análisis de valor en donde se observa la reducción de tiempos en las tareas del ciclo de obra civil en comparación de la Tabla 14.

- Situación después (Post Test)

Una vez aplicada la propuesta de mejora (simulación), se pudo observar que se logró realizar la reducción de los tiempos de las tareas del ciclo de obra civil. También al realizar la construcción de las partes del buzón (cuerpo principal y cuerpo secundario) en almacén, se logró incrementar la capacidad de producción (volumen de concreto $m^3/día$).

En el dibujo en 3D CAD (ver Figura 45) se muestra un escenario donde se están trasladando las prefabricadas del buzón .

En la Figura 36 se pueden ver los buzones ya instalados dentro de la zona excavada.

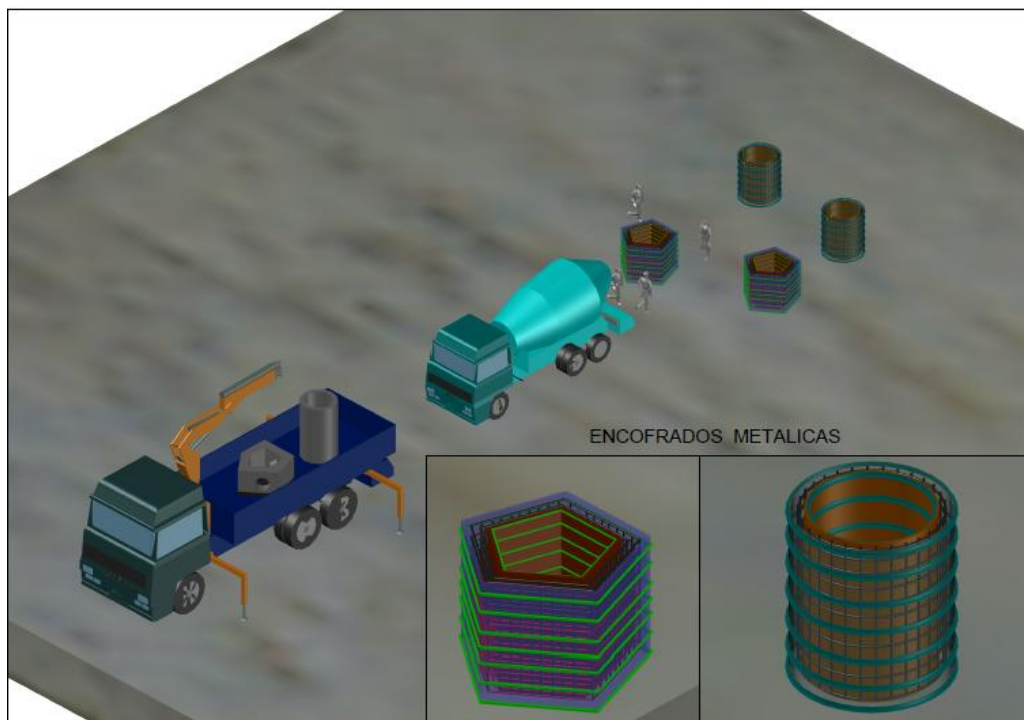


Figura 45:Traslado de partes del buzón prefabricados a obra
Fuente: Elaboración propia



Figura 46: Buzones colocados en obra
Fuente: Elaboración propia

- Muestra después

Para el muestreo (Post) se midió el volumen de concreto trabajado por día laboral. Las tareas tuvieron una duración de 5 días desde el 25 de junio del 2022 al 30 de junio del 2022. Debido a que la realización de las mejoras son una simulación, se utilizó la función aleatoria de Excel para obtener los datos de la muestra post, teniendo en cuenta que el volumen total de concreto es 9.96m^3 y que la duración de la tarea es de 5 días, dando como resultado la siguiente data expresada en la Tabla 21.

Tabla 21: Productividad Post de la actividad de obra civil

N° de día	M ³ /día
1	1.99
2	2.0
3	2.2
4	1.85
5	1.92
6	0
7	0
8	0
9	0

Fuente: Elaboración propia

Objetivo específico 03: Aplicar el análisis de operaciones / Estudio de tiempos para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

- Situación Antes (Pre Test)

En la presente investigación se desarrolló la tercera hipótesis específica referente a la aplicación del análisis de operaciones / estudio de tiempo, para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado.

Como primer paso se dividió la actividad de instalación de tubería de alcantarillado en 5 tareas como se observa en la Figura 47, estas tareas se disgregaron para realizar la toma de tiempos y así poder hacer el análisis correspondiente para la reducción de alguna de ellas



Figura 47: Tareas que conforman el ciclo Pre de obra civil
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detallan las tareas disgregadas:

1. Topográfico (control de pendiente y dirección)
 - 1.1. Demarcación mediante el uso de yeso y aerosoles
Marcado de alineamiento y dirección
2. Traslado de tubería HDPE DN 600mm. L=12.0mt
 - 2.1. Carga y traslado desde almacén central hacia lugar de excavación.
(2 tubería L=12.0m)
 - 2.2. Descarga de tubería en punto designado cerca a la excavación.
(equipo: camión plataforma y excavadora)
3. Instalación de tubería DN 600mm. L=12.0 m
 - 3.1. Izaje y posicionamiento en trazo designado dentro de la excavación
(4 tubería L=12.0mt)
4. Termofusión de tubería en zanja cada (12.0 m)

- 4.1. Izaje y posicionamiento del equipo eléctrico para termofusión entre dos tuberías
- 4.2. Termofusionado entre las dos tuberías (3 uniones EE)
5. Aseguramiento de extremos de tubería
 - 5.1. Vertido de concreto pre mezclado entre el buzón y la tubería HDPE del BZ4-BZ5
6. Orden y Limpieza
 - 6.1. Ordenar Área de trabajo libre de obstáculos y herramientas manuales
Limpieza -Recojo de elementos como:(bolsas de plástico, papeles y otros)

Se realizan un dibujo en 3D CAD para tener una mejor percepción de cómo se ejecutó la tarea de obra

En la Figura 48 se muestra el equipo de termofusión dentro de la excavación

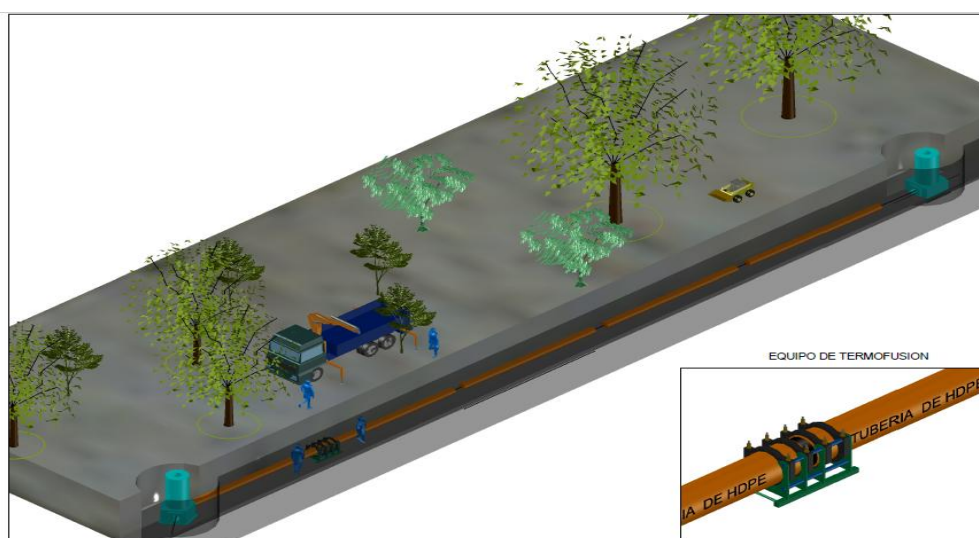


Figura 48: Actividad de obra civil

Fuente: Elaboración propia

Como segundo paso se desarrolló el D.O.P. (ver Figura 49) de la actividad de instalación de tubería de alcantarillado para comprender mejor los subprocesos involucrados.

Como tercer paso se elaboró el D.A.P. (ver Tabla 14) de la actividad de instalación de tubería de alcantarillado, se incluyen distancias y tiempos, este diagrama se realizó para hacer un análisis de valor en donde se reducirán tiempos innecesarios o actividades para mejorar el tiempo total del ciclo.

Se desarrolló el D.O.P. (ver Figura 49) de la actividad de instalación de tubería de alcantarillado para comprender mejor los subprocessos involucrados.

Se elaboró el D.A.P. (ver Tabla 22) de la actividad de instalación de tubería de alcantarillado donde se incluyen distancias y tiempos

Diagrama de Operaciones del proceso de Instalación de tuberías

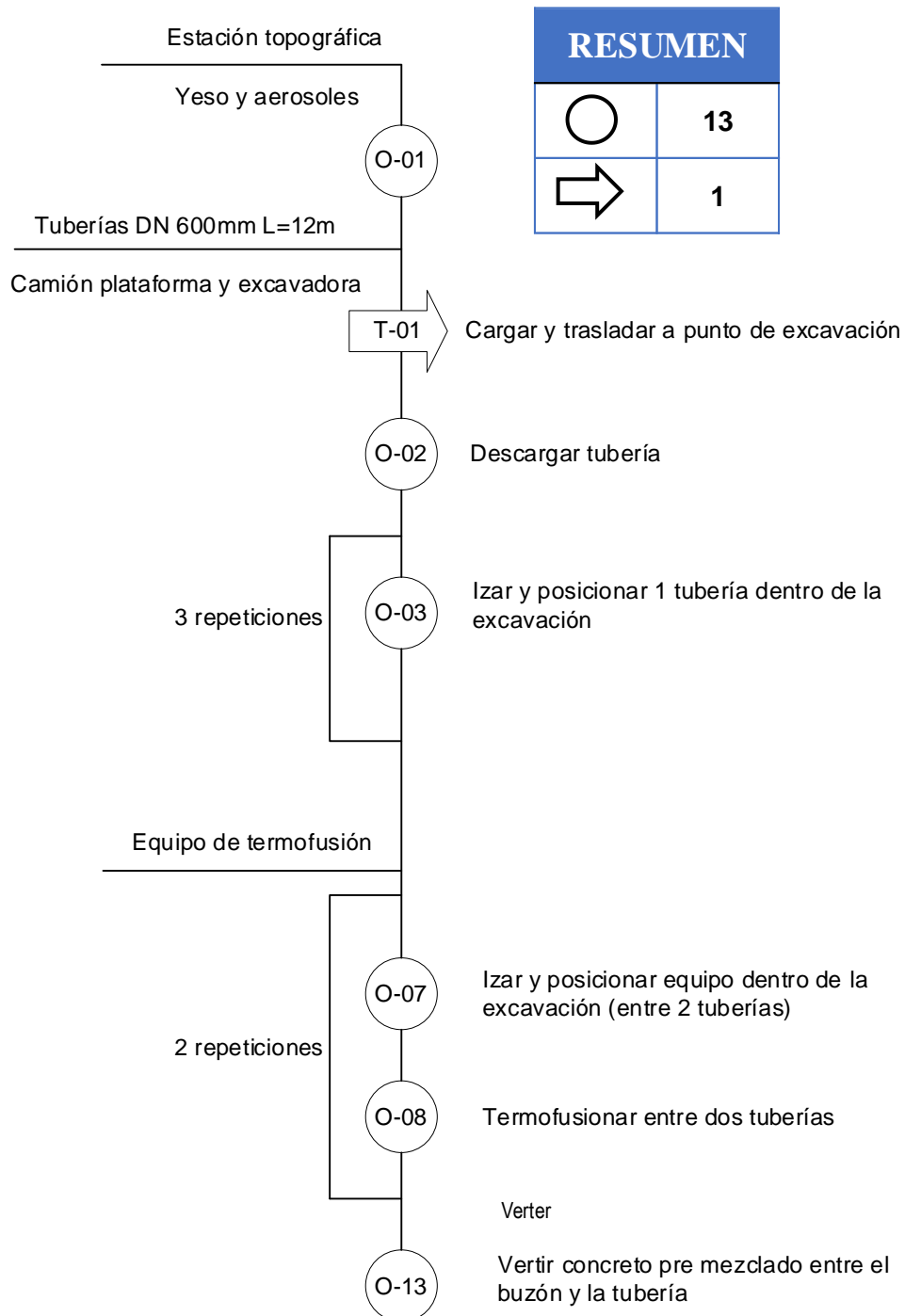







Figura 49: D.O.P. de ciclo Pre de instalación de redes de agua

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: D.A.P de ciclo Pre de instalacion de redes de agua

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO								
Diagrama No.	Hoja No.	OPERARIO <input checked="" type="checkbox"/>	MATERIAL <input type="checkbox"/>	EQUIPO <input type="checkbox"/>				
Objetivo:	Revisión de la actividad de Instalación de tuberías	RESUMEN						
		ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO	DATOS FINALES			
Proceso analizado:		Operación	5					
		Transporte	2					
		Espera	0					
Método:	Actual <input checked="" type="checkbox"/> Propuesto <input type="checkbox"/>	Inspección	0					
		Almacenamiento	0					
Localización: Parque de la Exposición		Distancia (m)	1501.5					
		Tiempo (hrs)	70.26					
Operario: Trabajador		Costo						
		Total						
Elaborado por: Carla Najarro	Fecha: 5/07/2022	Comentarios	Detalles					
Aprobado por:	Fecha:							
Descripción	Distancia (m)	Tiempo (hrs)	Símbolo					Observaciones
								
Marcar alineamiento y dirección		9.49	X					Se hace uso de yeso y aerosoles
Cargar y trasladar desde almacén central hacia punto de excavación.	1500	8.91		X				2 tuberías HDPE DN 600mm. L=12.0mt
Descargar tubería en punto designado, cerca a la excavación.	1.5	6.73		X				Se hace uso de camión plataforma y excavadora
Izar y posicionar tubería dentro de la excavación		23.83	X					4 tubería DN 600mm L=12.0mt
Izar y posicionar equipo eléctrico para termofusión entre dos tuberías		4.61	X					
Termofusionar entre dos tuberías		7.04	X					3 uniones EE
Verter concreto pre mezclado entre el buzón y la tubería HDPE del BZ4-BZ5		8.12	X					
Ordenar y limpiar área de trabajo		1.52	X					

Fuente: Elaboración propia

- Muestra antes

Para el muestreo se consideró el metro lineal de tubería instalado por día laboral. Tareas que duraron días desde el 03 de junio del 2022 al 09 de junio del 2022. La información fue recabada de los formatos de avance trabajo de excavación (Ver Anexo 6, tabla 58), dichos formatos fueron suministrados por la empresa HM esta información está expresada en volumen de tierra excavado (m) por día (jornada).

Tabla 23: Productividad Pre de la actividad de Instalacion de redes de agua

N° de día	m/día
1	9.10
2	9.00
3	9.25
4	9.10
5	9.45
6	9.10

Fuente: Elaboración propia

- Aplicación de la Teoría (Variable Independiente)

En la Figura 32 se observa lo pasos realizados para la Aplicación del Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos para el ciclo de instalación de obra civil

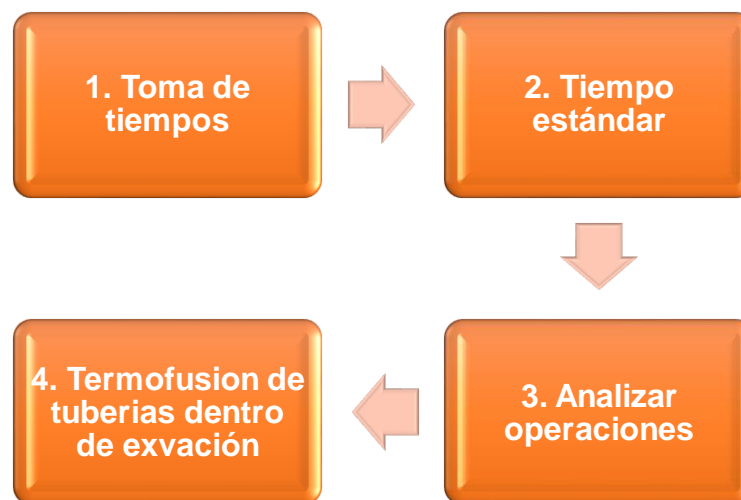


Figura 50: Pasos para la Aplicación del Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos para el ciclo de instalación de redes de agua

Fuente: Elaboración propia

Paso 1: Toma de tiempos

Se realizó una medición de tiempo de las tareas que conforman el ciclo de obra civil. Se registró en el siguiente formato los tiempos tomados de cada tarea. (Ver Tabla 24)

Tabla 24: Formato de Toma de tiempo del ciclo Pre de instalación de tubería de alcantarillado

Fecha de Estudio: 03/06/2022		Hoja de Estudio				Método:	Actual
Estudio N°: 1						Analista:	-
Tarea: Ciclo Pre de ins. Tubería de alcantarillado						Hora:	7:30 am a 6:00 pm
		Registro diario					
N°	Descripción del elemento	1	2	3	4	5	6
		Minutos					
1.1	Marcar alineamiento y dirección	45	40	41	38	40	180
2.1	Cargar y trasladar desde almacén central hacia punto de excavación.	180	190	0	0	0	0
2.2	Descargar tubería en punto designado, cerca a la excavación.	140	130	0	0	0	0
3.1	Izar y posicionar tubería dentro de la excavación	0	0	450	451	0	0
4.1	Izar y posicionar equipo eléctrico para termofusión entre dos tuberías	0	0	0	0	180	0
4.2	Verter Termo fusionar entre dos tuberías	0	0	0	0	250	0
5.1	Verter concreto pre mezclado entre el buzón y la tubería HDPE del BZ4-BZ5	0	0	0	0	0	320
6.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	13	14	11	12	13	14

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Tiempo Estándar

A partir de los datos tomados de la Tabla 24 se realizó un promedio de tiempos por tarea dando como resultado el Tiempo Observado. Luego se estimó en cada tarea la valoración del ritmo del trabajo conforme al sistema Westinghouse (Tabla 1). El resultado de la multiplicación del Tiempo Observado por la Valoración del ritmo de trabajo es el Tiempo Normal. Obtenemos el Tiempo Estándar al multiplicar los Suplementos (Tabla 2) por el Tiempo Normal.

En la Tabla 25 se muestra las tareas disgregadas del ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado.

Tabla 25: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Pre de instalación de tubería de alcantarillado

N°	INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE ALCANTARILLADO TRAMO BZ-4 AL BZ-5	Tiempo Observado (min)	Factor de Valoración	Tiempo Normal (min)	Total Suplementos	Tiempo Estándar (min)	Tiempo Estándar de ciclo (Hrs)
1.1	Marcar alineamiento y dirección	64.00	1.15	73.60	1.29	94.94	9.49
2.1	Cargar y trasladar desde almacén central hacia punto de excavación.	185.00	1.12	207.20	1.29	267.29	8.91
2.2	Descargar tubería en punto designado, cerca de la excavación.	135.00	1.16	156.60	1.29	202.01	6.73
3.1	Izar y posicionar tubería dentro de la excavación	450.50	1.24	558.62	1.28	715.03	23.83
4.1	Izar y posicionar equipo eléctrico para termofusión entre dos tuberías	180.00	1.19	214.20	1.29	276.32	4.61
4.2	Termofusionar entre dos tuberías	250.00	1.31	327.50	1.29	422.48	7.04
5.1	Verter concreto pre mezclado entre el buzón y la tubería HDPE del BZ4-BZ5	320.00	1.18	377.60	1.29	487.10	8.12
6.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	12.83	0.98	12.58	1.21	15.22	1.52

Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Analizar operaciones

- Se realizó un análisis a las tareas del ciclo de instalación de tubería de alcantarillado de la Tabla 25, llegando a identificarse las de mayor duración y/o posibles de reducir, a continuación, se presentan las tareas:
 - (3.1) Izaje y posicionamiento en trazo designado dentro de la excavación (4 tubería L=12.0m), teniendo una duración de 23.83 horas.
 - (1.1) Demarcación mediante el uso de yeso y aerosoles y marcado de alineamiento y dirección, teniendo una duración de 9.49 horas.
 - (2.1) Carga y traslado desde almacén central hacia lugar de excavación. (2 tubería L=12.0m), teniendo una duración de 8.91 horas.
 - (5.1) Vertido de concreto pre mezclado entre el buzón y la tubería HDPE del BZ4-BZ5, teniendo una duración de 8.12 horas.

Paso 4: Termofusión de tuberías dentro de excavación

Luego del análisis de operaciones se planteó que la manera óptima de realizar esta tarea es haciendo la termofusión fuera la excavación, se adaptó un área donde se colocaron las tuberías de manera alineada para realizar la termofusión. Teniendo el tramo unido se procedió al izaje del tramo y se colocó dentro del área excavada.

A continuación, se incluye imágenes referenciales de otra obra. (Ver Figura 51 y 52)



Figura 51: Termofusión de tuberías fuera de excavación
Fuente: Elaboración propia



Figura 52: Izaje de tubería termo-fusionada
Fuente: Elaboración propia

Luego de realizada la propuesta de mejora (simular) se aplicó nuevamente el análisis de operaciones / Estudio de tiempos, para hacer un comparativo con la situación antes (Pre-Test), con la finalidad de la reducción del tiempo del ciclo de instalación de tubería de alcantarillado.

En la Figura 53, se muestran las tareas que conforman el ciclo de instalación de tubería de alcantarillado.

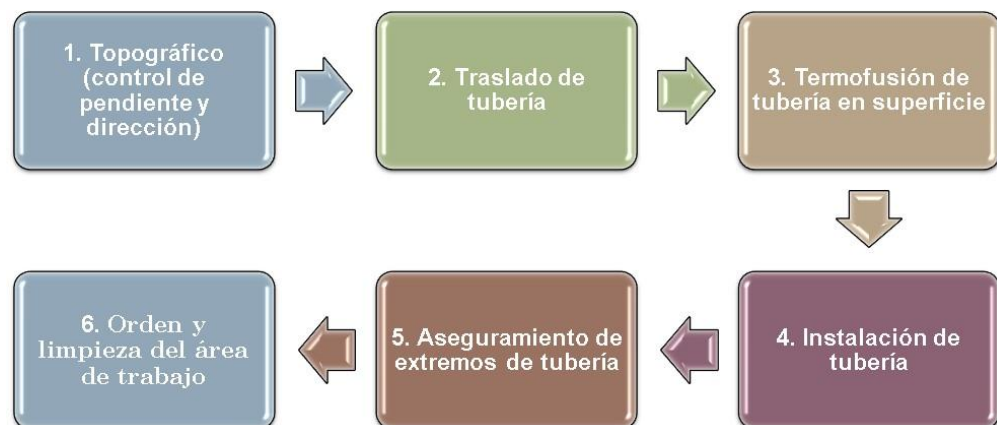


Figura 53: Tareas que conforman del Post ciclo de instalación de tubería de alcantarillado
Fuente: Elaboración propia

Líneas abajo se muestran las tareas disgregadas del ciclo de instalación de tubería de alcantarillado, se consideró la termofusión fuera de la zona excavada, y también el izaje para la colocación del tramo completo (unión de las 4 tuberías) 1. Topográfico (control de pendiente y dirección)

- 1.1. Demarcación mediante el uso de yeso y aerosoles de alineamiento y dirección
2. Traslado de tubería HDPE DN 600mm. L=12.0mt

- 2.1. Carga y traslado desde almacén central hacia lugar de excavación.
(4 tubería L=12.0mt)
- 2.2. Descarga de tubería en punto designado cerca a la excavación
(equipo: Camión grúa)
3. Termofusión de tubería en superficie (12.0 m)
 - 3.1. Izaje y posicionamiento del equipo eléctrico para termofusión entre dos tuberías
 - 3.2. Termo fusionado entre las dos tuberías (3 uniones EE)
4. Instalación de tubería DN 600mm. L=12.0 m.
 - 3.1. Izaje y posicionamiento en trazo designado dentro de la excavación (4 tubería termofusionadas) (equipo:2 excavadoras)
5. Aseguramiento de extremos de tubería
 - 5.1. Vertido de concreto pre mezclado entre el buzón y la tubería HDPE del BZ4-BZ5
6. Orden y Limpieza
 - 6.1. Ordenar Área de trabajo libre de obstáculos y herramientas manuales
Limpieza -Recojo de elementos como:(bolsas de plástico, papeles y otros)

Se realizó nuevamente una medición de tiempo de tareas que conforman el ciclo de instalación de tubería de alcantarillado. (Ver Tabla 26) y el cálculo del tiempo estándar (Ver Tabla 27)

Tabla 26: Formato de Toma de tiempo del Ciclo Post de instalacion de redes de agua

Fecha de Estudio: 01/07/2022		Hoja de Estudio		Método:	Actual
Estudio N°: 1				Analista:	-
Tarea: Ciclo Post de ins. Tubería de alcantarillado				Hora:	7:30 am a 6:00 pm
		Registro diario			
N°	Descripción del elemento	1	2	3	4
		Minutos			
1.1	Marcar alineamiento y dirección	45	42	41	38
2.1	Cargar y trasladar desde almacén central hacia punto de excavación.	120	0	0	0
2.2	Descargar tubería en punto designado, cerca a la excavación.	60	0	0	0
3.1	Izar y posicionar equipo eléctrico para termofusión entre dos tuberías		180	0	0
3.2	Termofusionar entre dos tuberías Verter		250	0	0
4.1	Izar y posicionar tubería dentro de la excavación (termofusionada)			450	0
5.1	Verter concreto pre mezclado entre el buzón y la tubería HDPE del BZ4-BZ5				320
6.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	10	12	11	13

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los formatos de toma de tiempo Pre y Post (ver Tabla 24 y 26) se observa que se redujeron el número de días, de 6 días a 4 días, dando como diferencia 2 días.

Comparando la suma total de la columna Tiempo estándar de ciclo de la Tabla 25 con la Tabla 27 se pudo observar un ahorro de tiempo en el ciclo de instalación de tubería de alcantarillado del 41.57 %

$$\sum TS * N \text{ días PRE} = 70.26 \text{ Hrs.}$$

$$\sum TS * N \text{ días POST} = 41.05 \text{ Hrs.}$$

$$\sum TS * N \text{ días PRE} - \sum TS * N \text{ días POST} = 29.21 \text{ Hrs.}$$

Tabla 27: Tabla de Tiempo Estándar del ciclo Post de instalación de tubería de alcantarillado

Nº	INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE ALCANTARILLADO TRAMO BZ-4 AL BZ-5	Tiempo Observado (min)	Factor de Valoración	Tiempo Normal (min)	Total Suplementos	Tiempo Estándar (min)	Tiempo Estándar de ciclo (Hrs)
1.1	Marcar alineamiento y dirección	41.33	1.15	47.53	1.29	61.32	3.07
2.1	Cargar y trasladar desde almacén central hacia punto de excavación.	120.00	1.12	134.40	1.29	173.38	2.89
2.2	Descargar tubería en punto designada, cerca de la excavación.	60.00	1.16	69.60	1.29	89.78	1.50
3.1	Izar y posicionar tubería dentro de la excavación	180.00	1.19	214.20	1.29	276.32	4.61
4.1	Izar y posicionar equipo eléctrico para termofusión entre dos tuberías	250.00	1.31	327.50	1.29	422.48	7.04
4.2	Termofusionar entre dos tuberías	450.00	1.24	558.00	1.28	714.24	11.90
5.1	Verter concreto pre mezclado entre el buzón y la tubería HDPE del BZ4-BZ5	320.00	1.18	377.60	1.29	487.10	8.12
6.1	Ordenar y limpiar área de trabajo	11.50	0.98	11.27	1.21	13.64	0.91

Fuente: Elaboración propia

Se desarrolló el D.O.P. (ver Figura 54) de la actividad Post de instalación de tubería de alcantarillado para comprender mejor los subprocesos involucrados.

Diagrama de Operaciones del proceso de Instalación de tuberías

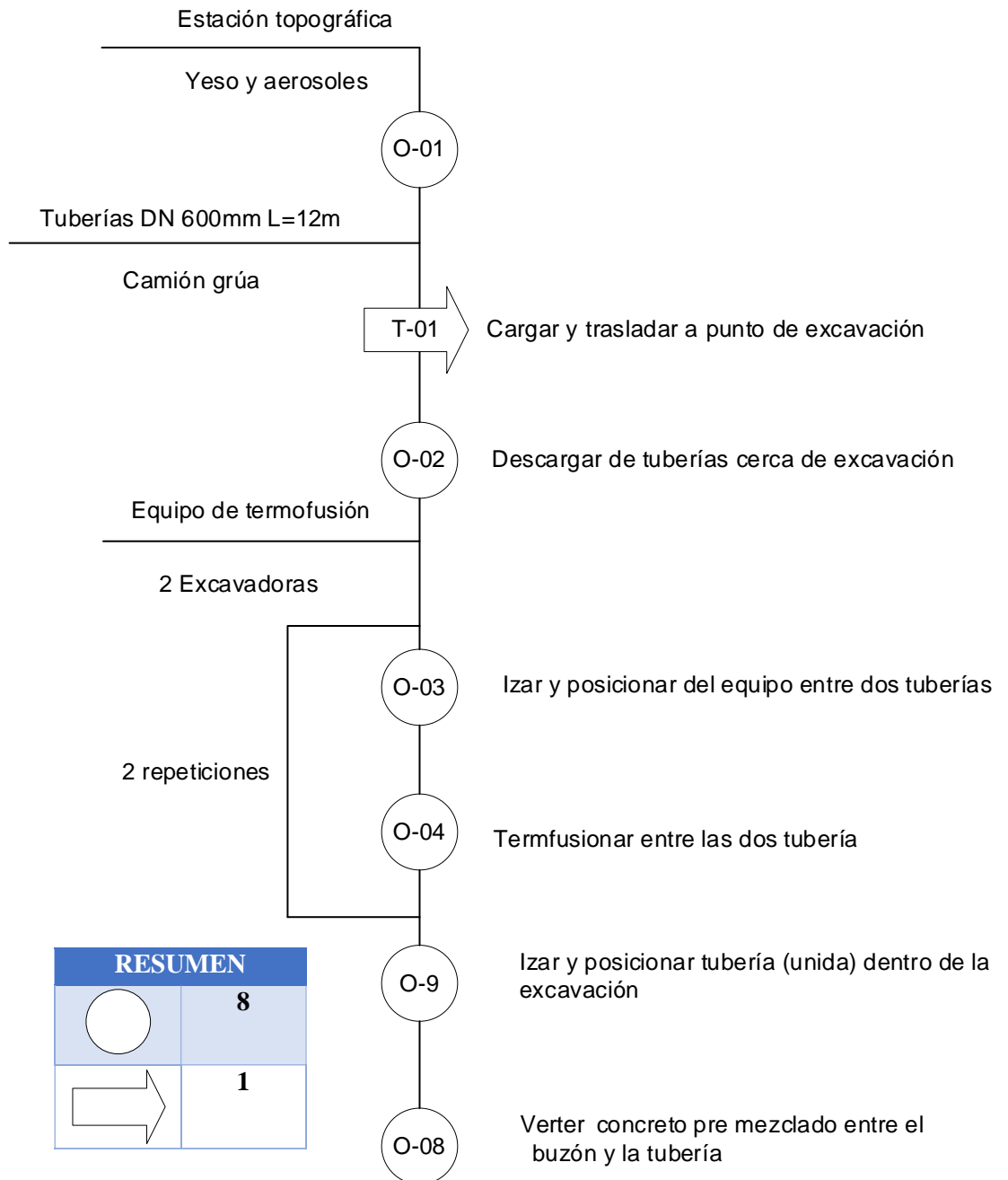







Figura 54: D.O.P. de ciclo Post de instalación de tubería de alcantarillado
Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: D.A.P de ciclo Post de instalacion de redes de agua

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO								
Diagrama No.	Hoja No.	OPERARIO <input checked="" type="checkbox"/>	MATERIAL <input type="checkbox"/>	EQUIPO <input type="checkbox"/>				
Objetivo:	Revisión de la actividad de Instalación de tuberías	RESUMEN						
		ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO	DATOS FINALES			
Proceso analizado:		Operación	5					
		Transporte	2					
		Espera	0					
Método:		Inspección	0					
Actual <input type="checkbox"/>	Propuesto <input checked="" type="checkbox"/>	Almacenamiento	0					
Localización:	Parque de la Exposición	Distancia (m)	1501.5					
		Tiempo (hrs)	41.05					
Operario:	Trabajador	Costo						
		Total						
Elaborado por:	Fecha:	Comentarios		Detalles				
Carla Najarro	5/07/2022							
Aprobado por:	Fecha:							
Descripción	Distancia (m)	Tiempo (hrs)	Símbolo					Observaciones
								
Marcar alineamiento y dirección		4.09	X					Se hace uso de yeso y aerosoles
Cargar y trasladar desde almacén central hacia punto de excavación.	1500	2.89		X				4 tuberías HDPE DN 600mm. L=12.0mt
Descargar tubería en punto designado, cerca a la excavación.	1.5	1.50		X				Se hace uso de camión grúa
Izar y posicionar equipo eléctrico para termofusión entre dos tuberías		4.61	X					
Termofusionar entre dos tuberías		7.04	X					3 uniones EE
Izar y posicionar tubería dentro de la excavación		11.90	X					4 tubería DN 600mm L=12.0mt, se hace uso de 2 excavadoras
Verter concreto pre mezclado entre el buzón y la tubería HDPE del BZ4-BZ5		8.12	X					
Ordenar y limpiar área de trabajo		0.91	X					

Fuente: Elaboración propia

Se elaboró el D.A.P. (ver Tabla 22) de la actividad de instalación de tubería de alcantarillado donde se han realizado los trabajos de termofusión fuera de la zona excavada, se incluyen distancias y tiempos, este diagrama se realizó para hacer un análisis de valor en donde se observa la reducción de tiempos en las tareas del ciclo de excavación en comparación de la Tabla 28.

- Situación después (Post Test)

Una vez aplicada la propuesta de mejora (simulación), se pudo observar que se logró realizar la reducción de los tiempos de las tareas del ciclo de instalación de tubería de alcantarillado. Adaptando un espacio dentro del área del trabajo para realizar la tarea de termofusión, se logró hacer el trabajo más productivo, reduciendo los 4 izajes de tuberías a 1, también se reducen los izajes del equipo de 3 a 1.

En el dibujo en 3D CAD (ver Figura 55) se muestra un escenario donde las tuberías están debidamente alineadas fuera de la zona excavada, listas para ser termofusionadas.



Figura 55: Tarea del ciclo Post de instalación de tubería de alcantarillado
Fuente: Elaboración propia

- Muestra después

Para el muestreo (Post) se midió metro lineal de tubería trabajado por día laboral. Las tareas tuvieron una duración de 4 días desde el 01 de julio del 2022 al 05 de julio del 2022. Debido a que la realización de las mejoras son una simulación, se utilizó la función aleatoria de Excel para obtener los datos de la muestra post, teniendo en cuenta que el metro lineal de tubería es de 55m y que la duración de la tarea es de 4 días, dando como resultado la siguiente data expresada en la Tabla 29

Tabla 29: Productividad Pre de la actividad de Instalacion de redes de agua

N° de día	m/día
1	13.75
2	13.55
3	13.90
4	13.80
5	0.00
6	0.00

Fuente: Elaboración propia

Resumen de resultados

El resultado del tiempo total de los ciclos PRE de las tareas de: excavación, obra civil e instalación de tubería de alcantarillado, es de 361.90 horas, y el resultado POST es 207.92 horas, lográndose un ahorro de 153.98 horas, equivalente al 42.55% de mejora.

La duración del proyecto de reubicación de agua potable y alcantarillado de la Estación Central E13 de la Línea 2 del Metro de Lima es de 1208 horas, el proyecto se ve impactado en una reducción del 12.75% del tiempo total del mismo.

En la Tabla30 se tiene el resumen de los resultados de la investigación de las tres hipótesis específicas.

Tabla 30: Resumen de resultados

Hipótesis Específica	V.I.	V.D.	Indicador	Pre-Test	Post-Test	Variación	%
Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de excavación	Análisis de Operaciones/ Estudio de Tiempos	Tiempo de ciclo de la tarea de excavación	Volumen de tierra m ³ /día	62.27	133.33	71.06	114%
Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil	Análisis de Operaciones/ Estudio de Tiempos	Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil	Volumen de concreto m ³ /día	1.11	1.99	0.88	79%
Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	Análisis de Operaciones/ Estudio de Tiempos	Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	Metro lineal de tubería m/día	9.17	13.75	4.58	50%

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de Resultados

Generalidades

En esta etapa de la investigación se da a conocer a detalle la información sobre las muestras en su estado pre y post test, con la finalidad de comparar el resultado en las pruebas de normalidad y de hipótesis. Las pruebas mencionadas demostraran la validez de las hipótesis específicas.

Para nuestro análisis estadístico se hizo uso de una herramienta de soporte, el software estadístico RStudio versión 4.2.1

Prueba de normalidad (para las tres hipótesis)

Se plantean las siguientes hipótesis para las pruebas de normalidad:

H₀: Hipótesis Nula – Los datos de la muestra, SI siguen una distribución normal

H₁: Hipótesis Alterna – Los datos de la muestra, NO siguen una distribución normal

Nivel de significancia: Sig. = 0.05

Regla de decisión:

- Si el nivel de significancia Sig. resulta ser un valor mayor a 5,00% (Sig. > 0,05), entonces, se acepta la hipótesis nula (H₀)
Por lo tanto, los datos de la muestra, SI siguen una distribución normal.
- Si el nivel de significancia Sig. resulta ser un valor menor o igual al 5,00% (Sig. =< 0,05), entonces, se acepta la hipótesis alterna (H₁)
Por lo tanto, los datos de la muestra, NO siguen una distribución normal.

Contrastación de hipótesis (aplica para las tres variables)

Para la contrastación de hipótesis se plantea la siguiente validez de la hipótesis:

H₀: Hipótesis Nula – NO existe diferencia estadística significativa entre la muestra Pre Test y la muestra Post Test.

H₁: Hipótesis Alterna – SI existe diferencia estadística significativa entre la muestra Pre Test y la muestra Post Test.

Nivel de significancia: Sig. = 0.05

Regla de decisión:

- Si el nivel de significancia Sig. resulta ser un valor mayor a 5,00% (Sig. > 0,05), entonces, se acepta la hipótesis nula (H₀), o lo que es lo mismo, se rechaza la hipótesis del investigador.

Por lo tanto: NO se aplica la Variable Independiente (Variable Teórica) del investigador.

- Si el nivel de significancia Sig. resulta ser un valor menor o igual al 5,00% (Sig. =< 0,05), entonces, se acepta la hipótesis alterna (H₁), o lo que es lo mismo, se acepta la hipótesis del investigador.

Por lo tanto: SI se aplica la Variable Independiente (Variable Teórica) del investigador.

Desarrollo de hipótesis específicas:

- a) Primera hipótesis específica (H₁): Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de excavación.

Prueba de normalidad

Para la actividad de excavación se tomó como muestra Pre Test el volumen de tierra excavado por día (m³/día) desde el 07 de mayo del 2022 al 19 de mayo del 2022 (11 días) y como muestra Post Test desde el 15 de junio al 21 de junio del 2022 (6 días)

Tabla 31: Datos de muestra Pre Test del ciclo de la tarea de excavación

N° de día	PRE TEST
1	59
2	65
3	60
4	61
5	60
6	64
7	61
8	61
9	68
10	61
11	60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Datos de muestra Post Test del Tiempo de ciclo de la tarea de excavación

N° de día	POST TEST
1	113
2	115
3	105
4	110
5	118
6	119
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0

Fuente: Elaboración propia

Se aplicó la Prueba de normalidad (véase Tabla 33) empleando el software RStudio versión 4.2.1, se ingresaron al software las muestras Pre y Post Test (Tabla 31 y Tabla 32)

Tabla 33: Prueba de Normalidad para la tarea de excavación

Fase de evaluación	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Pre Test	0.815	11	0.015
Post Test	0.950	6	0.742

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

El p-valor de significancia de la prueba de normalidad para muestras pequeñas Shapiro Wilk ($n < 50$), según la Tabla 33, alcanzó un valor menor que 0.05, para los datos de la fase de evaluación Pretest ($p = 0.015 < 0.05$), dando a conocer que la variable volumen de tierra excavado por día ($m^3/día$) en la fase de evaluación Pretest no cumple el supuesto de normalidad, en tanto que, el p-valor de significancia de la prueba de Shapiro Wilk, en los datos de la fase de evaluación Post Test, presentó un valor mayor que 0.05 ($p = 0.742 > 0.05$), por lo que se pudo observar que se cumplió el supuesto de normalidad en la variable volumen de tierra excavado por día ($m^3/día$) en la fase de evaluación Post Test, por lo que para comparar el volumen de tierra excavado por día ($m^3/día$) entre las fases de evaluación, se aplicó la prueba no paramétrica de U de Mann Whitney.

Contrastación de hipótesis

H_0 : Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, NO se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de excavación

H₁: Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, SI se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de excavación

Prueba no paramétrica de U de Mann Whitney de la tarea de excavación para la instalación de las tuberías de agua y alcantarillado en la estación E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima, según volumen de tierra excavado por día (m³/día) y comparación de las fases de evaluación (Pre Test y Post Test)

Tabla 34: Prueba no paramétrica de U de Mann Whitney

Fase de evaluación	n	Rango promedio	p-valor*
Pre Test	11	6.0	0.000985
Post Test	6	14.5	
Total	17		

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

En la Tabla 34, se puede visibilizar que el p-valor de significancia de la prueba no paramétrica de U de Mann Whitney, alcanzó un valor menor que 0.05 ($p=0.000985 < 0.05$), rechazando la hipótesis nula, y permitiendo conocer que existe diferencia significativa entre las fases de evaluación según la variable volumen de tierra excavado por día (m³/día).

En la Figura 56 (el diagrama de cajas de la fase de evaluación Post Test presentó valores más altos según escala) como el rango promedio mayor se encontró en la fase de evaluación Post Test ($\bar{R}_{Post\ Test} = 14.5 > \bar{R}_{Pre\ Test} = 6.0$), dan evidencia que en la fase de evaluación se visualizó una optimización en la variable volumen de tierra excavado por día (m³/día), como también en menor tiempo (ver Figura 57).

U de Mann-Whitney, $W = 66$, $p = 0.00098$, $n = 17$

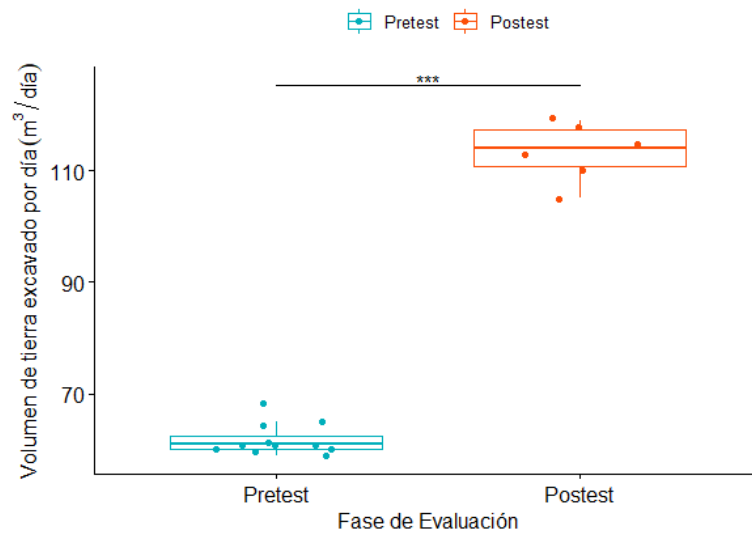


Figura 56: Diagrama de cajas y bigotes (boxplot) para la tarea de excavación
Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

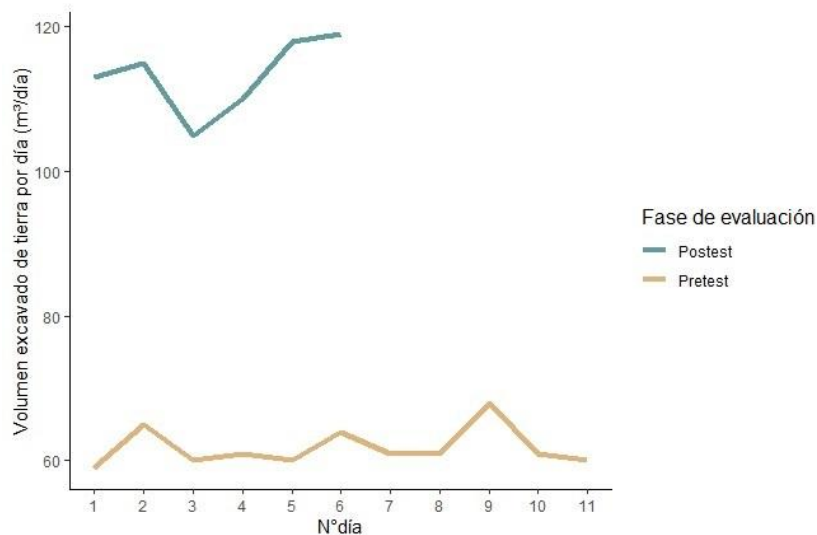


Figura 57: Gráfica de líneas de las muestras Pre Test y Post Test de excavación
Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

Estadísticos descriptivos

Medidas descriptivas de la tarea de excavación para la instalación de las tuberías de agua y alcantarillado en la estación E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima, según volumen de tierra excavado por día ($m^3/día$) y fase de evaluación Pre Test y Post Test.

Tabla 35: Medidas descriptivas la tarea de excavación

Fase de Evaluación	M* (m ³ /día)	SD (m ³ /día)	CV(%)
Pre Test	61.82 (60.00-63.64)	2.71	4.39
Post Test	113.33 (107.83-118.83)	5.24	4.62

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

Según los resultados presentes en la Tabla 35 y Figura 58, en la fase de evaluación Pre Test, el volumen promedio de tierra excavado por día fue de 61.82 (m³/día) [IC95%:60.00-63.64] (m³/día) con una desviación estándar de 2.71 (m³/día) y un coeficiente de variación de 4.39%, el coeficiente de variación permitió conocer que la distribución de los resultados en la fase de evaluación Pre Test es muy homogénea (ver Anexo 9), en tanto que, en la fase de evaluación Post Test el volumen promedio de tierra excavado por día fue de 113.33 (m³/día) [IC95%:107.83-118.83] (m³/día), presentando además una desviación estándar de 5.24 (m³/día) y un coeficiente de variación igual a 4.62%, es decir, la distribución del volumen promedio de tierra excavado por día en la fase de evaluación Post Test es muy homogénea (ver Anexo 9).



Figura 58: Gráfica de líneas de la tarea de excavación

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

- b) Segunda hipótesis específica (H₂): Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil

Prueba de normalidad

Para la actividad de obra civil se tomó como muestra Pre Test el volumen de concreto utilizado por día ($m^3/día$) desde el 24 de mayo del 2022 al 02 de junio del 2022 (9 días) y como muestra Post Test desde el 25 de junio al 30 de junio del 2022 (5 días)

Tabla 36: Datos de muestra Pre Test del ciclo de la tarea de obra civil

N° de día	PRE TEST
1	1.10
2	1.10
3	0.94
4	1.10
5	1.20
6	1.60
7	0.90
8	0.92
9	1.10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Datos de muestra Post Test del ciclo de la tarea de obra civil

N° de día	POST TEST
1	1.99
2	2.0
3	2.2
4	1.85
5	1.92
6	0
7	0
8	0
9	0

Fuente: Elaboración propia

Se aplicó la Prueba de normalidad (véase Tabla 38) empleando el software RStudio versión 4.2.1, se ingresaron al software las muestras Pre y Post Test (Tabla 36 y Tabla 37)

Tabla 38: Prueba de Normalidad para la tarea de obra civil

Fase de evaluación	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Pre Test	0.799	9	0.020
Post Test	0.924	5	0.557

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

Con base en la Tabla 38, la prueba de normalidad Shapiro Wilk, presentó un p-valor de significancia menor que 0.05, para los datos de la fase de evaluación Pre Test ($p=0.020 < 0.05$), con lo que se pudo afirmar que la variable volumen de concreto utilizado por día ($m^3/día$) en la fase de evaluación Pre Test no cumple el supuesto de normalidad, en contraparte, el p-valor de significancia de la prueba de Shapiro Wilk, en los datos de la fase de evaluación Post Test, mostró un valor mayor que 0.05 ($p=0.557 > 0.05$), cumpliendo el supuesto de normalidad en la variable volumen de concreto utilizado por día ($m^3/día$) en la fase de evaluación Post Test, es así que, la comparación del volumen de tierra excavado por día ($m^3/día$) entre las fases de evaluación, se aplicó la prueba no paramétrica de U de Mann Whitney.

Contrastación de hipótesis

H₀: Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, NO se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil

H₂: Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, SI se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil

Prueba de normalidad Shapiro Wilk de las tareas de obras civiles para la instalación de las tuberías de agua y alcantarillado en la estación E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima, según volumen de concreto utilizado por día ($m^3/día$) y fase de evaluación Pre Test y Post Test

Tabla 39: Prueba no paramétrica de U de Mann Whitney

Fase de evaluación	n	Rango promedio	p-valor*
Pre Test	9	5.0	0.00302
Post Test	5	12.0	
Total	14		

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

El p-valor de significancia de la prueba no paramétrica de U de Mann Whitney, observado en la Tabla 33, presentó un p-valor de significancia menor que 0.05 ($p=0.00302 < 0.05$), permitiendo el rechazo de la hipótesis nula, afirmando que existe diferencia significativa entre las fases de evaluación según la variable volumen de concreto utilizado por día ($m^3/día$).

Según la Figura 59 (se evidencia valores más altos en el diagrama de cajas o boxplot de la fase de evaluación Post Test) así también, el rango promedio mayor se visibilizó en la fase de evaluación Post Test ($\bar{R}_{Post\ Test} = 12.0 > \bar{R}_{Pre\ Test} = 5.0$), existiendo evidencia en los resultados, que es la fase de evaluación Post Test donde se visualizó una optimización en la variable volumen de concreto utilizado por día ($m^3/día$), así como también en menor tiempo (ver Figura 60).

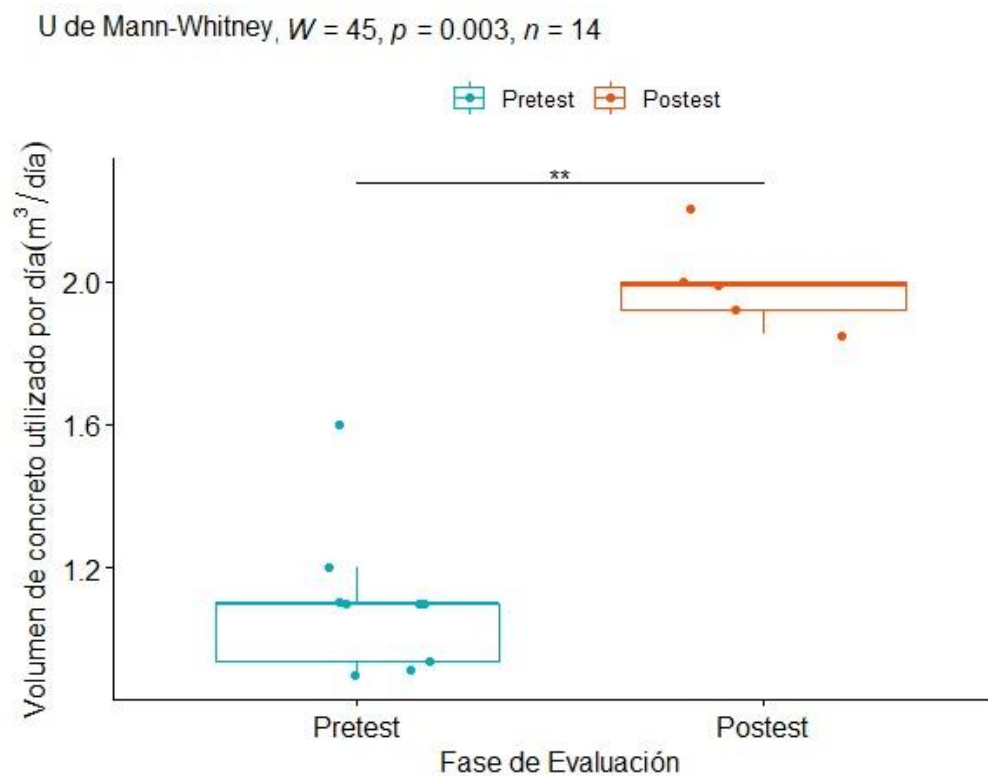


Figura 59: Diagrama de cajas y bigotes (boxplot) para la tarea de obra civil
Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

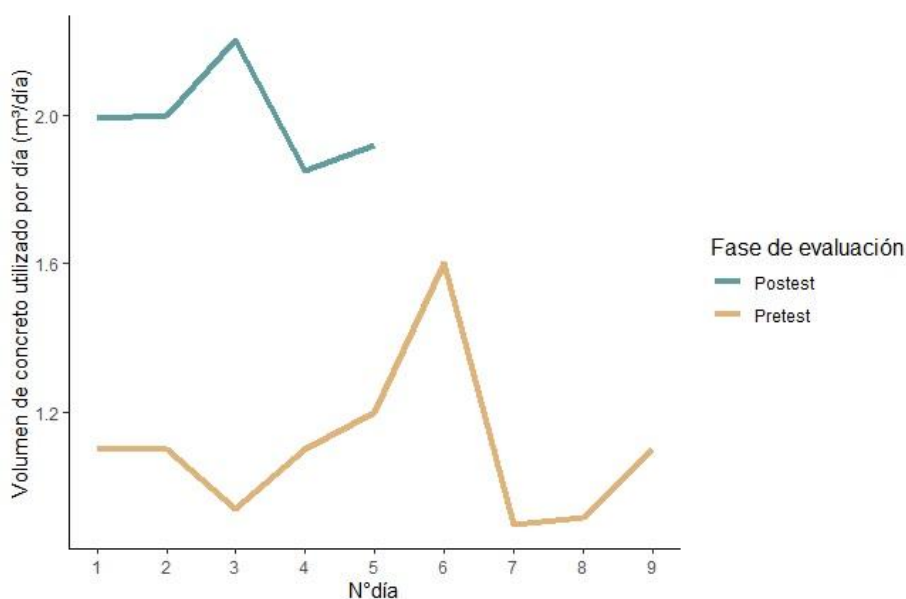


Figura 60: Gráfica de líneas de las muestras Pre Test y Post Test de obra civil
Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

Estadísticos descriptivos

Medidas descriptivas de la tarea de obra civil para la instalación de las tuberías de agua y alcantarillado en la estación E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima, según Volumen de concreto utilizado por día ($m^3/día$) y fase de evaluación Pre Test y Post Test.

Tabla 40: Medidas descriptivas la tarea de obra civil

Fase de Evaluación	M* ($m^3/día$)	SD ($m^3/día$)	CV(%)
Pre Test	1.11 (0.94-1.27)	0.21	19.11
Post Test	1.99 (1.83-2.15)	0.13	6.58

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

Considerando lo observado en la Tabla 40 y Figura 61, se puede evidenciar que en la fase de evaluación Pre Test, el volumen promedio de concreto utilizado por día fue de 1.11 ($m^3/día$) [IC95%:0.94-1.27] ($m^3/día$) con una desviación estándar de 0.21 ($m^3/día$) y un coeficiente de variación de 19.11%, es así que el coeficiente de variación permitió constatar que la distribución de los resultados en la fase de evaluación Pre Test es regularmente variable (ver Anexo 9), por otro lado, la fase de evaluación Post Test presentó el volumen promedio de concreto utilizado por día 1.99 ($m^3/día$) [IC95%:1.83-2.15] ($m^3/día$), con una desviación estándar de 0.13 ($m^3/día$) y un coeficiente de variación igual a 6.58%, de modo que, la distribución

del volumen promedio de concreto utilizado por día en la fase de evaluación Post Test es muy homogénea (ver Anexo 9).

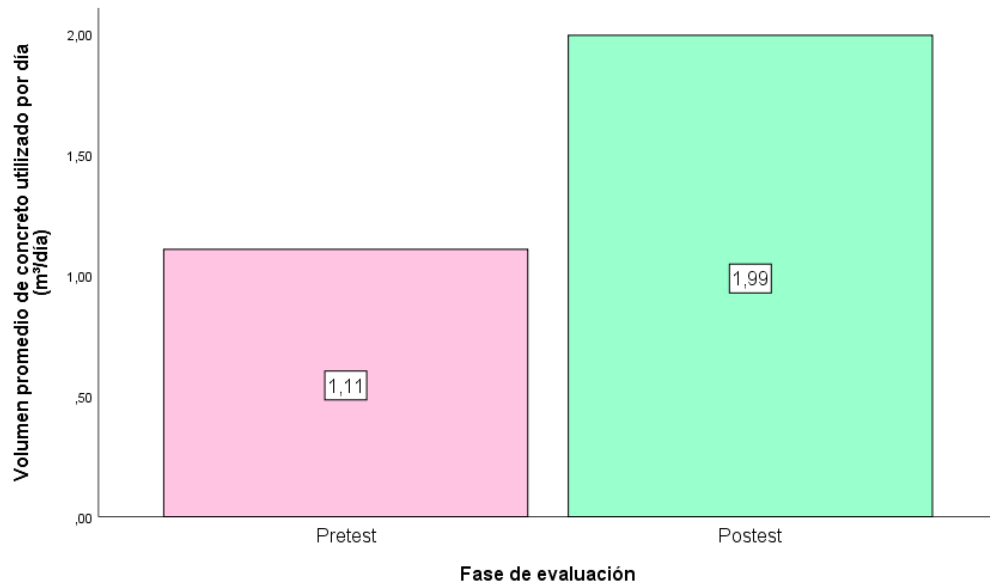


Figura 61: Gráfica de líneas de la tarea de obra civil

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

- c) Tercera hipótesis específica (H₃): Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

Prueba de normalidad

Para la actividad de instalación de tubería de alcantarillado se tomó como muestra Pre Test el metro lineal de tubería colocado por día (m/día) desde el 03 de junio del 2022 al 09 de junio del 2022 (6 días) y como muestra Post Test desde el 01 de julio al 05 de julio del 2022 (4 días)

Tabla 41: Datos de muestra Pre Test del ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

N° de día	PRE TEST
1	9.10
2	9.00
3	9.25
4	9.10
5	9.45
6	9.10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Datos de muestra Post Test del ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

N° de día	POST TEST
1	13.75
2	13.55
3	13.90
4	13.80
5	0.00
6	0.00

Fuente: Elaboración propia

Se aplicó la Prueba de normalidad (véase Tabla 43) empleando el software RStudio versión 4.2.1, se ingresaron al software las muestras Pre y Post Test (Tabla 41 y Tabla 42)

Tabla 43: Prueba de Normalidad para la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

Fase de evaluación	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Pre Test	0.856	6	0.176
Post Test	0.953	4	0.734

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

Considerando los resultados observado en la Tabla 43, la prueba de normalidad Shapiro Wilk, exhibió un p-valor de significancia mayor que 0.05, tanto para los datos de la fase de evaluación Pre Test ($p=0.176 > 0.05$), como en los datos de la fase de evaluación Post Test ($p=0.734 > 0.05$), es así que, se puede afirmar que se cumple el supuesto de normalidad en ambas las variables volumen de concreto utilizado por día ($m^3/día$) de ambas fases de evaluación, por tanto, para comparar la instalación de tubería por día ($ml/día$) entre las fases de evaluación, se aplicó la prueba paramétrica de t student para muestras independientes.

Contrastación de hipótesis

H_0 : Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, NO se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

H_3 : Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, SI se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

Prueba paramétrica t de grupos independientes de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado para la instalación de dicha tarea en la estación E13 del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima, según instalación de tubería por día (m/día) y comparación de las fases de evaluación (Pre Test y Post Test)

Tabla 44: Prueba paramétrica t para grupos independientes

Fase de evaluación	n	Intervalos de confianza al 95.0%	p-valor*
Pre Test - Post Test	6	[-4.81 ; -4.35]	5.8318E-11
	4		
Total	14		

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

Se verificó el cumplimiento de igualdad de varianzas con la prueba de Levene ($p=0.149>0.05$)

Los resultados de la Tabla 44, dieron evidencia que el p-valor de la prueba t student para grupos independientes, mostró un valor menor que 0.05 ($p=5.8318E-11<0.05$), con lo que se rechaza la hipótesis nula, es decir existe diferencia significativa entre las fases de evaluación según la variable instalación de tubería por día (m/día), como se puede constatar en la Figura 62 (valores más altos en el diagrama de cajas o boxplot en la fase de evaluación Post Test) así también, los intervalos de confianza de la diferencia de medias, presentaron ambos límites negativos [-4.81 ; -4.35], con lo que da a conocer que los metros lineales promedio diarios en la fase de evaluación Post Test fueron significativamente mayores, es decir, es la fase de evaluación Post Test donde se optimización la variable instalación de tubería por día (m/día), así también en un menor tiempo (ver Figura 63).

proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima, según instalación de tubería por día (m/día) y fase de evaluación Pre Test y Post Test

Tabla 45: Medidas descriptivas la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

Fase de Evaluación	M* (m/día)	SD (m/día)	CV(%)
Pre Test	9.17 (9.00-9.33)	0.16	1.75
Post Test	13.75 (13.52-13.98)	0.15	1.07

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

La Tabla 45 y Figura 64, muestra que en la fase de evaluación Pre Test, la instalación promedio de tubería por día fue de 9.17 (m/día) [IC95%:9.00-9.33] (m/día) con una desviación estándar igual a 0.16 (m/día) y un coeficiente de variación de 1.75%, de modo que el coeficiente de variación revela que la distribución de los resultados en la fase de evaluación Pre Test es muy homogénea (ver Anexo 9), en tanto, analizando la fase de evaluación Post Test visibilizamos que instalación promedio de tubería por día fue de 13.75 (m/día) [IC95%:13.75-13.98] (m/día), con desviación estándar de 0.15 (m/día) y un coeficiente de variación igual a 1.07%, por tanto, la distribución del instalación promedio de tubería por día por día en la fase de evaluación Post Test presentó un comportamiento muy homogénea (ver Anexo 9).

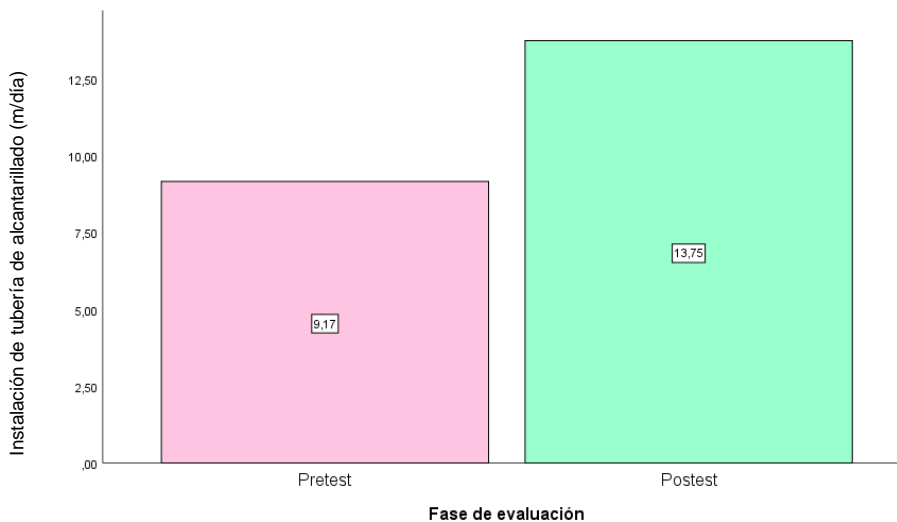


Figura 64: Gráfica de líneas de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

Fuente: Software estadístico RStudio versión 4.2.1.

CONCLUSIONES

1. Con respecto al objetivo específico 1 sobre la reducción del tiempo de ciclo la tarea de excavación, haciendo uso de la variable independiente estudio de tiempos, se recabó la información en la muestra pre para estimar el tiempo estándar correspondiente, y para la aplicación de la teoría se analizaron las operaciones y se identificaron aquellas que presentaron oportunidades de mejora, las que se aprovecharon incrementando la productividad de la tarea de excavación mediante una simulación del incremento de recursos, lo que permitió generar nuevos tiempos de las operaciones que fueron recabadas en la muestra post y con el análisis de operaciones se verificó una mejora de la productividad en la tarea de excavación la cual pasó de $62.27\text{m}^3/\text{día}$ en la muestra pre a $133.33\text{m}^3/\text{día}$ en la muestra post, resultando en un incremento de $71.06\text{m}^3/\text{día}$ que equivale a 114% de mejora de productividad, lo que finalmente resultó en una reducción del tiempo de ciclo de la tarea de excavación de 183.30 horas a 144.66 horas que equivale a una reducción de tiempo de ciclo del 37.45%.
2. Con respecto al objetivo específico 2 sobre la reducción del tiempo de ciclo de la tarea de obra civil, haciendo uso de la variable independiente estudio de tiempos, se recabó la información en la muestra pre para estimar el tiempo estándar correspondiente, y para la aplicación de la teoría se analizaron las operaciones y se identificaron aquellas que presentaron oportunidades de mejora, las que se aprovecharon incrementando la productividad de la tarea de obra civil mediante una simulación de la prefabricación de las piezas de buzones, lo que permitió generar nuevos tiempos de las operaciones que fueron recabadas en la muestra post y con el análisis de operaciones se verificó una mejora de la productividad en la tarea de obra civil la cual pasó de $1.11\text{m}^3/\text{día}$ en la muestra pre a $1.99\text{m}^3/\text{día}$ en la muestra post, resultando en un incremento de $0.88\text{m}^3/\text{día}$ que equivale a 79% de mejora de productividad, lo que finalmente resultó en una reducción del tiempo de ciclo de la tarea de obra civil de 108.34 horas a 52.21 horas que equivale a una reducción de tiempo de ciclo del 51.81%.
3. Con respecto al objetivo específico 3 sobre la reducción del tiempo de ciclo de la tarea de instalación de la tubería de alcantarillado, haciendo uso de la variable independiente estudio de tiempos, se recabó la información en la muestra pre para estimar el tiempo estándar correspondiente, y para la aplicación de la teoría se analizaron las operaciones y se identificaron aquellas que presentaron

oportunidades de mejora, las que se aprovecharon incrementando la productividad de la tarea de instalación de la tubería de alcantarillado mediante una simulación de la operación de la termofusión de tuberías fuera de la zona de excavado, lo que permitió generar nuevos tiempos de las operaciones que fueron recabadas en la muestra post y con el análisis de operaciones se verificó una mejora de la productividad en la tarea de instalación de la tubería de alcantarillado la cual pasó de 9.17m/día en la muestra pre a 13.75m/día en la muestra post, resultando en un incremento de 4.58m/día que equivale a 50% de mejora de productividad, lo que finalmente resultó en una reducción del tiempo de ciclo de la tarea de instalación de la tubería de alcantarillado de 70.26 horas a 41.05 horas que equivale a una reducción de tiempo de ciclo del 41.57 %.

4. En consecuencia, la aplicación de la ingeniería de métodos, a través del análisis de operaciones y estudio de tiempos a cada objetivo específico, ha permitido lograr el objetivo general de mejorar el tiempo de instalación de tuberías en la Estación Central del tren del Metro de Lima puesto que la reducción del tiempo de ciclo total de la muestra pre con la muestra post fue de 361.90 horas a 207.92 horas, es decir una reducción de 153.98 horas, que equivale a un 42.55% de mejora. El proyecto se ve impactado en una reducción del 12.75% del tiempo total del proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Con respecto al primer objetivo de reducir la tarea de excavación, actualmente se cuenta con una excavadora y un minicargador, los que cuentan con un nivel de operación y mantenimiento de alta calidad, por lo que se recomienda mantener dicho servicio e incrementar el alquiler y mantenimiento de otra excavadora y otro minicargador con el fin de duplicar el desempeño en las tareas programadas, los registros de calidad de la tarea han permitido recabar los datos, por lo que se sugiere reforzar y mantener actualizados dichos registros para que sean susceptibles de ser analizados para seguir oportunidades de mejora – motivación, compromiso y control, sentido urgencia del personal porque es una carrera contra el tiempo.
2. Con respecto al objetivo de reducir el tiempo de ciclo de obra civil, actualmente se cuenta con moldes de encofrado de madera, se recomienda cambiarlos por moldes de acero para conformar el prefabricado en los mismos almacenes de la empresa debido a la mayor resistencia y flexibilidad de montaje de los moldes de acero, además permitirá reducir los costos por ser moldes reutilizables y porque facilitan el vaciado del concreto contribuyendo a la reducción de tiempo de operación de la presente actividad.
3. Con respecto al objetivo de reducir el tiempo de ciclo de la instalación de la tubería de alcantarillado, la termofusión de la tubería de alcantarilla debería realizarse fuera del área excavada, para realizar la junta de las piezas en áreas amplias que permitan maniobrar fácilmente la máquina termofusionadora, a fin que se hagan las tareas mínimas para concluir la instalación de la tubería, esto permitiría reducir personal y actividades que resultarán en menores costos.
4. Para consolidar el logro del objetivo general se requiere implementar un área de planeamiento y programación detallada de las tareas a fin de incrementar de manera consolidada la productividad y reducción de tiempos de ciclo, lo que implica que se requiere personal que aplique la ingeniería de métodos como parte de su labor de planificación, programación y control.

REFERENCIAS

- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Bogota, Colombia: Pearson
- Burga, J., & Morales, M. (2021). *Plan de mejora de procesos para incrementar la productividad en una empresa procesadora de cítricos*. (Tesis de Pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú.
- Canales, M., & Ortega, J. (2021). *Plan de mejora de procesos para incrementar la productividad de la línea de llenado de alcohol en una droguería*. (Tesis de Pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú.
- Cruz del Castillo, C., Olivares, S. & González, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F.: Grupo editorial Patria
- Díaz, J. (2021). *Aplicación de la ingeniería de métodos para aumentar la productividad en el proceso de ampliación de redes de agua potable y alcantarillado en la empresa consultoría y ejecutora en obras ProjectPeru SAC*. (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica del Perú, Lima-Perú
- Garcia, R. (2005). *Estudio del trabajo, Ingeniería de Metodos y Medicion del trabajo*. Mexico: Mc Garw Hill.
- Glosario de términos familia profesional Edificación y Obra Civil *EOC* (2006). Recuperado de <https://www.academia.edu>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014) *Metodología de la investigación*. Mexico D.F.: McGraw-Hill
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Ginebra, Suiza: Oficina Internacional del Trabajo Ginebra
- Mugmal, J. (2017). *Organización del trabajo a través de ingeniería de métodos y estudio de tiempos para incrementar la productividad en el área de post-cosecha de la empresa florícola Lottus Flowers*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte
- Niebel, B. (2009). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. Monterrey, México: McGraw-Hill Interamericana Sapag, N. & Sapag, R. (2008) *Preparación y evaluación de proyectos*. Bogota, Colombia: McGraw-Hill Interamericana

- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación Cuantitativa – Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogota, Colombia: Ediciones de la U
- Picón, J. & Tavera, C.(2019). *Propuesta de mejora en los métodos de trabajo en el área de producción en la empresa Provemel Ltda.* (Tesis de Pregrado). Universidad El Bosque
- Revista VirtualPRO (2008) *Ingeniería de métodos, Estudio de tiempo y movimientos*, Bogotá, Colombia Recuperado de <https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/2206858/>
- Sapag, N. & Sapag, R. (2008) *Preparacion y evaluacion de proyectos* . Bogota, Colombia: McGraw-Hill Interamericana
- Tom tom (2022) *Lima in Traffic Index 2021*. Recuperado <https://www.tomtom.com/traffic-index/Lima-traffic/>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Tabla 46: Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicador	Variable Dependiente	Indicador
¿Cómo mejorar el tiempo de instalación de tuberías en la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima?	Aplicar la ingeniería de métodos para mejorar el tiempo de instalación de tuberías en la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima	Si se aplica la ingeniería de métodos se mejorará el tiempo de instalación de tuberías en la Estación Central del tren subterráneo del Metro de Lima	Ingeniería de Métodos	–	Tiempo de instalación de tuberías	–
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específica				
¿Cómo reducir el tiempo de ciclo de la tarea de excavación?	Aplicar el análisis de operaciones / Estudio de tiempos para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de excavación	Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de excavación	Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos	SI/NO	Tiempo de ciclo de la tarea de excavación	Volumen de tierra m ³ /día
¿Cómo reducir el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil?	Aplicar el análisis de operaciones / Estudio de tiempos para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil	Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de obra civil	Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos	SI/NO	Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil	Volumen de concreto m ³ /día
¿Cómo reducir el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado?	Aplicar el análisis de operaciones / Estudio de tiempos para reducir el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	Si se aplica el análisis de operaciones/ estudio de tiempo, se reducirá el tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos	SI/NO	Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	Metro lineal de tubería m/día

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz de Operacionalización

Tabla 47: Matriz de Operacionalización

Variable Independiente	Indicador	Definición conceptual	Definición operacional
Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos	SI/NO	Para Benjamín W. Niebel, 2009: Los analistas de métodos utilizan el análisis de operaciones para estudiar todos los elementos productivos y no productivos de una operación, incrementar la productividad por unidad de tiempo y reducir los costos unitarios con el fin de conservar o mejorar la calidad. (p.57)	Aplicando el análisis de operaciones y estudio de tiempos en la actividad de excavación, identificaremos los tiempos improductivos, y podremos reducirlos.
Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos	SI/NO	Según George Kanawaty, 2001: El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida. (p.273)	Aplicando el análisis de operaciones y estudio de tiempos en la actividad de obra civil, identificaremos los tiempos improductivos, y podremos reducirlos.
Análisis de Operaciones / Estudio de Tiempos	SI/NO		Aplicando el análisis de operaciones y estudio de tiempos en la actividad de instalación de tubería de alcantarillado, identificaremos los tiempos improductivos, y podremos reducirlos
Variable Dependiente	Indicador	Definición conceptual	Definición operacional
Tiempo de ciclo de la tarea de excavación	Volumen de tierra m ³ /día	El tiempo total estimado de la tarea de excavación depende de la medida del tamaño de la máquina, las condiciones del sitio de trabajo, especificaciones del fabricante y estado general de la excavadora.	Reporte de tiempo de ciclo de la tarea de excavación
Tiempo de ciclo de la tarea de obra civil	Volumen de concreto m ³ /día	El tiempo total estimado de la tarea de obra civil depende de la construcción de los buzones para las tuberías, las condiciones del sitio de trabajo.	Reporte de tiempo de ciclo de la tarea de obra civil
Tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado	Metro lineal de tubería m/día	El tiempo total estimado de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado depende el izaje y de las tuberías y del equipo de termofusión, el retiro de material excedente y el acople de cada tubería	Reporte de tiempo de ciclo de la tarea de instalación de tubería de alcantarillado

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Acta de autorización por parte de la empresa



Figura 65: Acta de autorización por parte de la empresa
Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Ensayo de Corte directo a gran escala (muestreo de suelo)

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO A GRAN ESCALA PARA LA LÍNEA 2 DEL METRO DE LIMA – AV. 28 DE JULIO		Página 20 de 22
P046-241 CCM2L	Rev. A	

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El ensayo de densidad de campo se realizó por el método de remplazo de agua, de acuerdo a la norma ASTM D 5030. El valor de la densidad húmeda global en campo es 2.528 g/cm³ y el valor de la densidad húmeda de material menor a 4" en campo es 2.483 g/cm³. El valor de la densidad seca global es 2.405 g/cm³ y el valor de la densidad seca del material menor a 4" en campo es 2.362 g/cm³. Además el valor de humedad de campo del material integral resultó 5.10 %. Estos valores han sido utilizados para remoldear los especímenes para el ensayo de corte directo a gran escala en el laboratorio.
- La muestra de suelo para el ensayo de corte directo a gran escala fue extraída del fondo de una excavación manual (calicata) de 15.0 m de profundidad, ubicada en el cruce de la Av. 28 de Julio y Jr. Renovación, en el distrito de La Victoria.
- Los ensayos de caracterización física determinan que la muestra obtenida en campo corresponde a una grava subredondeada, con clasificación SUCS: Grava pobremente gradada con arena (GP), de TM 10". La granulometría integral señala que la muestra ensayada está compuesta por los siguientes porcentajes: 0.0 % de bloques, 41.0 % de cantos, 32.5 % de gravas, 21.5 % de arenas y 1.3 % de finos.
- El ensayo de corte directo a gran escala en laboratorio fue realizado con el material que pasa la malla de 4" (10 cm). La muestra ensayada fue remoldeada considerando los valores de humedad y densidad húmeda obtenidos del ensayo de densidad in-situ por el método del anillo. En el siguiente cuadro se muestra los valores de humedad y densidad húmeda que se obtuvo en el remoldeo de los 3 especímenes para las diferentes cargas normales.

Especímen N°	M-01	M-02	M-03
Esfuerzo normal (kg/cm ²)	0.5	1.0	2.0
Contenido de humedad (%)	3.49	3.36	3.40
Densidad de remoldeo (g/cm ³)	2.32	2.33	2.29

Figura 66: Ensayo de Corte directo a gran escala (muestreo de suelo)

Fuente: Laboratorio

Anexo 5: Cronograma de actividades Pre, Implementación y Post

Tabla 48: Cronograma Pre de actividad de excavación

TAREA	INICIO	FIN	Mayo																											
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23						
			l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d	l						
EXCAVACION DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5																														
1. Traslado de maquinaria - Almacén / Obra	2-5-22	23-5-22																												
2. Topografía (control, trazo y replanteo)	2-5-22	23-5-22																												
3. Remover y trasladar material (Adoquines de concreto 50m ²)	2-5-22	4-5-22																												
4. Rotura y demolición de sardinel 110m lineales	5-5-22	6-5-22																												
5. Excavación base tierra vegetal volumen 165.0 m ³ Profundidad = 1.0 m / Largo = 55.0m / Ancho = 2.5m fe=1.2	7-5-22	11-5-22																												
6. Excavación de terreno con presencia de interferencia (Profundidad 2.5m/ Largo = 55.0 m / Ancho= 1.8m) f.e=1.5	12-5-22	19-5-22																												
7. Instalación de Entibado para estabilizar el desprendimiento de material (55.0 x 2 = 110.0m lineales)	20-5-22	23-5-22																												

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Cronograma Pre de actividad de obra civil

TAREA	INICIO	FIN	Mayo							Mayo						
			23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5
			l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d
OBRAS CIVILES DEL BZ-4 AL BZ-5																
1. Topografía (control, trazo y replanteo) BZ-4 Y BZ5	24-5-22	2-6-22														
2. Vertido de concreto e=0.05m de solado	24-5-22	24-5-22														
3. Armado de acero Cuerpo Principal Y losa	25-5-22	25-5-22														
4. Encofrado metálico de cuerpo principal (Pentagonal H=2.30 m.)	26-5-22	27-5-22														
5. Vaciado de concreto para cuerpo principal y losa H=2.30m.	28-5-22	28-5-22														
6. Desencofrado y curado de estructura	30-5-22	30-5-22														
7. Armado de acero Cuerpo Secundario	31-5-22	31-5-22														
8. Encofrado metálico de Cuerpo Secundario (Circular H=1.20 m)	1-6-22	1-6-22														
9. Vaciado de concreto para Cuerpo Secundario	1-6-22	1-6-22														
10. Desencofrado y curado de estructura	2-6-22	2-6-22														

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Cronograma Pre de actividad de instalacion de redes de agua

TAREA	INICIO	FIN	Mayo		Junio												
			30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d	
INSTALACION DE REDES DE AGUA DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5																	
1. Topográfico (control de pendiente y dirección)	3-6-22	9-6-22															
2. Traslado de tubería HDPE DN 600mm. L=12.0mt	3-6-22	5-6-22															
3. Instalación de tubería DN 600mm. L=12.0 m.	6-6-22	7-6-22															
4. Termofusión de tubería en zanja cada (12.0 m)	8-6-22	8-6-22															
5. Aseguramiento de extremos de tubería (mediante mortero)	9-6-22	9-6-22															

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: Cronograma de Implementación

FASES DE IMPLEMENTACION	INICIO	FIN	DÍAS	Junio				
				9	10	11	12	13
				j	v	s	d	v
EXCAVACION DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5	9-6-22	10-6-22	2					
Coordinación para usar espacio dentro del parque								
Duplicar los equipos de excavación								
Eliminación del traslado de material excavado								
Apilamiento de material excavado en forma de terraplén								
OBRAS CIVILES DEL BZ-4 AL BZ-5	11-6-22	12-6-22	2					
Armado completo de estructura (acero + encofrado metálico interior y exterior)								
Buzones Pre - fabricados en almacén central								
Instalación mediante grúa								
INSTALACION DE TUBERIA DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5	13-6-22	13-6-22	1					
Tendido de tubería en terraplén longitud Total 51m								
Termofusión en terraplén								
Instalación mediante grúa y excavadora								

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: Cronograma Post de actividad de excavación

TAREA	INICIO	FIN	Junio													
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
			l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d
EXCAVACION DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5																
1. Traslado de maquinaria - Almacén / Obra	13-6-22	24-6-22														
2. Topografía (control, trazo y replanteo)	13-6-22	24-6-22														
3. Remover y trasladar material (Adoquines de concreto 50m2)	13-6-22	13-6-22														
4. Rotura y demolición de sardinel 110 metros lineales	14-6-22	14-6-22														
5. Excavación base tierra vegetal volumen 165.0 m ³ Profundidad = 1.0 m / Largo = 55.0m / Ancho = 2.5m f.e=1.2	15-6-22	16-6-22														
6. Excavación de terreno con presencia de interferencia (Profundidad 2.5m / Largo = 55.0m / Ancho= 1.8m) f.e=1.5	17-6-22	21-6-22														
7. Instalación de Entibado para estabilizar el desprendimiento de material (55.0 x 2 = 110.0metros lineales)	22-6-22	24-6-22														

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Cronograma Post de actividad de obra civil

TAREA	INICIO	FIN	Junio						
			25	26	27	28	29	30	1
			s	d	l	m	j	v	s
OBRAS CIVILES DEL BZ-4 AL BZ-5									
1. Topografía (control, trazo y replanteo) BZ-4 Y BZ5	25-6-22	30-6-22							
2. Vertido de concreto e=0.05m de SOLADO	25-6-22	25-6-22							
3. Armado de acero Cuerpo Principal Y losa	27-6-22	27-6-22							
4. Encofrado metálico de cuerpo principal (Pentagonal H=2.30 m.)	27-6-22	27-6-22							
5. Vaciado de concreto para cuerpo principal y losa H=2.30m.	27-6-22	27-6-22							
6. Desencofrado y curado de estructura	28-6-22	28-6-22							
7. Armado de acero Cuerpo Secundario	29-6-22	29-6-22							
8. Encofrado metálico de Cuerpo Secundario (Circular H=1.20 m)	29-6-22	29-6-22							
9. Vaciado de concreto para Cuerpo Secundario	29-6-22	29-6-22							
10. Desencofrado y curado de estructura	30-6-22	30-6-22							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Cronograma Post de actividad de instalación de tubería de alcantarillado

TAREA	INICIO	FIN	Julio					
			1	2	3	4	5	6
			v	s	d	l	m	m
INSTALACION DE REDES DE AGUA DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5								
1. Topográfico (control de pendiente y dirección)	1-7-22	5-7-22						
2. Traslado de tubería HDPE DN 600mm. L=12.0m	1-7-22	1-7-22						
3. Termofusión de tubería en zanja cada (12.0m)	2-7-22	2-7-22						
4. Instalación de tubería DN 600mm. L=12.0 m.	4-7-22	4-7-22						
5. Aseguramiento de extremos de tubería (mediante mortero)	5-7-22	5-7-22						

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Formatos de Calidad

Tabla 55: Formato de Control Topográfico

FORMATO CONTROL TOPOGRÁFICO		CÓDIGO: FCT-01 VERSIÓN: 00 FECHA:														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="font-size: x-small;">CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO:</td><td></td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">CLIENTE:</td><td></td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">UBICACIÓN :</td><td></td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">PLANO REF:</td><td></td></tr> </table>	CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO:		CLIENTE:		UBICACIÓN :		PLANO REF:		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="font-size: x-small;">N° CORRELATIVO:</td><td></td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">FRENTE/SECTOR:</td><td></td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">FECHA:</td><td></td></tr> </table>	N° CORRELATIVO:		FRENTE/SECTOR:		FECHA:		
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO:																
CLIENTE:																
UBICACIÓN :																
PLANO REF:																
N° CORRELATIVO:																
FRENTE/SECTOR:																
FECHA:																
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:																
DATOS TÉCNICOS:																
1	Equipos de Medición	Marca	Modelo	N° Serie	Inicio Vigencia	Fin Vigencia										
1.-	Ubicación del B.M. del proyecto			4.-	Distancia y proporcionalidad entre Ejes											
	- B.M. 01 (X,Y,Z):			5.-	Colocación de Niveles											
	- B.M. 02 (X,Y,Z):				- Cota de Terreno:											
2.-	Ubicación de Puntos Auxiliares			- Cota Final (Según Plano):												
3.-	Trazo y Replanteo de Ejes			6.-	Otros											
Recolección de datos (PLANO ADJUNTO)																
N°	Cota / Long. (mt.)		Diferencia	N°	Cota / Long. (mt.)		Diferencia									
	Plano	Campo			Plano	Campo										
1				14												
2				15												
3				16												
4				17												
5				18												
6				19												
7				20												
8				21												
9				22												
10				23												
11				24												
12				25												
13				26												
OBSERVACIONES																
ELABORADO EN CAMPO POR: CALIDAD		REVISADO EN CAMPO POR: SUPERVISOR DE OBRA		APROBADO EN CAMPO POR: JEFE DE PROYECTO												
Firma:		Firma:		Firma:												
Nombre:		Nombre:		Nombre:												
Fecha:		Fecha:		Fecha:												

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Formato de Avance de Trabajos de Excavación

FORMATO REPORTE DE EXCAVACIÓN					CÓDIGO: RE-01 VERSIÓN: 00 FECHA:			
NOMBRE DEL PROYECTO:					N° CORRELATIVO:			
CLIENTE:					FECHA:			
PLANO REF:		PROGRESIVAS:			FRENTE/SECTOR			
DESCRIPCION DEL TRABAJO:								
TIPO DE EXCAVACION: Excavación Masiva <input type="checkbox"/> Excavación Localizada <input type="checkbox"/>								
PREVIO A LA EXCAVACION	SI	NO	ml	m3	Graficos / Esquemas			
Revisión de planos y Especificaciones								
Autorización de Excavación (*)								
Verificación de Interferencias								
Revisión de trazos (Verif. Topog)								
Perfilado de taludes								
Conformidad de Niveles								
Longitud de excavación terminado								
Volumen de excavación / día								
POSTERIOR A LA EXCAVACION	SI	NO	N.A.	OBSERVACIONES				
Término de la excavación (Estabilidad, sello, taludes, perfilado, etc.)								
Control de trazos y niveles de excavación								
Otros (especificar):								
(*) Autorizado por el Cliente y/o la Supervisión								
(**) La excavación en zona de Interferencias debe realizarse en forma manual y de acuerdo a los Planos As Built existentes.								
DATOS DE CAMPO:								
- Nivel de terreno (Previo a Excav.):			_____		(**) - Interferencia: _____			
- Nivel de Excavación (Según planos):			_____		_____			
- Nivel final de Excavación:			_____		_____			
- % Compact. Fondo de Excav. (1):			_____		_____			
(% Compact. Espec. = 95%)								
- PLANO Y ESQUEMA			SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>				
ADJUNTO:								
OBSERVACIONES								

ELABORADO EN CAMPO POR: CALIDAD		REVISADO EN CAMPO POR: SUPERVISOR DE OBRA		APROBADO EN CAMPO POR: JEFE DE PROYECTO				
Firma:		Firma:		Firma:				
Nombre:		Nombre:		Nombre:				
Fecha:		Fecha:		Fecha:				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58: Formato de Tendido de Tuberías

FORMATO TENDIDO DE TUBERÍAS HDPE		CÓDIGO: TT - 01 VERSIÓN: 00 FECHA:														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">NOMBRE DEL PROYECTO:</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td>CLIENTE:</td><td></td></tr> <tr><td>PLANO REFERENCIA:</td><td></td></tr> <tr><td>UBICACIÓN (Calle, Jirón o Av.):</td><td></td></tr> </table>	NOMBRE DEL PROYECTO:		CLIENTE:		PLANO REFERENCIA:		UBICACIÓN (Calle, Jirón o Av.):		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">N° CORRELATIVO:</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td>FECHA:</td><td></td></tr> <tr><td>SECTOR:</td><td></td></tr> </table>	N° CORRELATIVO:		FECHA:		SECTOR:		
NOMBRE DEL PROYECTO:																
CLIENTE:																
PLANO REFERENCIA:																
UBICACIÓN (Calle, Jirón o Av.):																
N° CORRELATIVO:																
FECHA:																
SECTOR:																
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: _____																

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	TRAMO:				OBSERVACIONES										
		SI	NO	ML	CANT.											
1	Verificar diámetro de tubería: (D = plg.)															
2	Instalación de tuberías y accesorios están de acuerdo a Planos															
3	Verificación de Niveles en cama de arena															
4	Longitud de tubería a instalar															
5	Longitud de tubería instaladala															
7	Verificación de niveles															
8	Conformidad y liberación de de instalación					Formato #										
ESQUEMA TIPICO																
OBSERVACIONES																

ELABORADO EN CAMPO POR: CALIDAD		REVISADO EN CAMPO POR: SUPERVISOR DE OBRA			APROBADO EN CAMPO POR: JEFE DE PROYECTO											
Firma:		Firma:			Firma:											
Nombre:		Nombre:			Nombre:											
Fecha:		Fecha:			Fecha:											

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7: Presupuesto de antes y después de Instalación de tubería de agua y alcantarillado

Tabla 59: Presupuesto de intalación de tuberías (antes)

Presupuesto					
Presupuesto	1101112	83.- PRESUPUESTO N°01			
Subpresupue	001				
Cliente				Costo al	03/10/2020
Lugar	LIMA - LA VICTORIA				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	EXCAVACION DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5				41,214.31
01.01	Movilización y desmovilización de equipos mecánicos	glb	100	5,000.00	5,000.00
01.02	Control topográfico durante la obra	día	40.00	457.59	18,303.60
01.03	Retiro de adoquines en vereda	m2	50.00	18.67	933.50
01.04	Rotura y demolición de sardinel	m	10.00	59.58	6,554.09
01.05	Excavación de material suelto a nivel de sub-rasante	m3	6.88	31.19	189.48
01.06	Excavación de zanja en terreno con presencia de redes de otros	m3	4125	62.87	2,150.36
01.07	Entibado para instalaciones de tubería	m	110.00	73.48	8,083.29
02	OBRAS CIVILES BUZON BZ-4 Y BZ-5				27,001.51
02.01	Solado, e=10.00cm - concreto 1:10	m3	160	271.03	433.66
02.02	CUERPO PRINCIPAL (PENTAGONAL)				20,126.51
02.02.01	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	820.00	16.00	13,120.00
02.02.02	Encofrado y desencofrado metálico	m2	25.00	162.69	4,067.31
02.02.03	Concreto f'c= 280 kg/cm2 para buzón	m3	6.00	489.87	2,939.20
02.03	CUERPO SECUNDARIO (CIRCULAR)				6,875.00
02.03.01	Encofrado y desencofrado metálico	m2	30.00	164.04	4,921.07
02.03.02	Concreto f'c= 210 kg/cm2 para buzón	m3	4.50	434.21	1,953.93
03	INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE ALCANTARILLADO				12,929.29
03.01	Traslado de Tubería HDPE DN 600 L=12.0mt total 55m.	glb	2.00	2,000.00	4,000.00
03.02	Termofusion de Tubería en Zanja (3 uniones pegas)	Und	4.00	256.57	1,026.29
03.01	Instalación de Tubería Alcantarillado HDPE DN 630 mm SN 4 NTP-ISO	Und	55.00	139.47	7,671.08
03.02	Aseguramiento de Extremos de tubería concreto f'c= 280 kg/cm2	m3	120	193.26	23,191.29
	Costo Directo				81,145.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60: Presupuesto de intalación de tuberías (despues)

Presupuesto					
Presupuesto	1101112	83.- PRESUPUESTO N°01		Costo al	03/10/2020
Subpresupuesto	001				
Cliente					
Lugar	LIMA - LA VICTORIA				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	EXCAVACION DEL TRAMO BZ-4 AL BZ-5				49,692.55
0101	Movilización y desmovilización de	glb	2.00	5,000.00	10,000.00
0102	Control topográfico durante la obra	día	23.00	473.57	10,892.11
0103	Retiro de adoquines en vereda	m2	50.00	46.65	2,332.35
0104	Rotura y demolición de sardinel	m	110.00	110.38	12,141.67
0105	Excavación de material suelto a nivel de sub-	m3	6.88	65.63	189.48
0106	Excavación de zanja en terreno con	m3	4125	115.62	2,150.36
0107	Entibado para instalaciones de tubería	m	110.00	108.97	11,986.57
02	OBRAS CIVILES BUZON BZ-4 Y BZ-				30,611.86
02.01	Solado, e=10.00cm - concreto t10	m3	160	271.03	433.66
02.02	CUERPO PRINCIPAL				21,394.52
02.02.01	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	820.00	14.58	11,956.09
02.02.02	Encofrado y desencofrado metálico	m2	25.00	243.39	6,084.87
02.02.03	Concreto f'c= 280 kg/cm2 para buzón	m3	6.00	558.93	3,353.56
02.03	CUERPO SECUNDARIO				9,217.35
02.03.01	Encofrado y desencofrado metálico	m2	30.00	231.75	6,952.65
02.03.02	Concreto f'c= 210 kg/cm2 para buzón	m3	4.50	503.27	2,264.70
03	INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE				18,143.41
03.01	Traslado de Tubería HDPE DN 600 L=12.0mt	glb	100	3,500.00	3,500.00
03.02	Termofusión de Tubería en Plataforma (3	Und	4.00	284.70	1,138.80
03.01	Instalación de Tubería Alcantarillado HDPE	Und	55.00	240.47	13,225.96
03.02	Aseguramiento de Extremos de tubería	m3	120	232.21	278.65
	Costo Directo				98,447.82

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8: Especificaciones técnicas de Minicargador y Excavadora



MINICARGADOR

Cat[®] 246D3

Especificaciones

Motor

Modelo de motor	C3.3B DIT Cat (turbocompresor)	
Potencia bruta SAE J1995	55,4 kW	74,3 hp
Potencia neta SAE 1349	53,6 kW	71,8 hp
	54,0 kW†	72,4 hp†
Potencia neta ISO 9249	54,1 kW	72,6 hp
	54,6 kW†	73,2 hp†
Par máximo a 1.600 rpm SAE J1995	265 N-m	195 lbf-pie
Cilindrada	3,3 L	203 pulg ³
Carrera	120 mm	4,7"
Calibre	94 mm	3,7"

†Motor que cumple con las normas de emisiones Mar-1 de Brasil y Stage III de China para uso fuera de carretera, equivalentes a Tier 4 Interim de la EPA de EE.UU. y se ofrece solo para Australia/Nueva Zelanda, Brasil, China, Polinesia Francesa, Hong Kong, Macedonia y Nueva Caledonia.

Pesos*

Peso en orden de trabajo	3.392 kg	7.478 lb
--------------------------	----------	----------

Tren de fuerza

Velocidad de desplazamiento (avance o retroceso):		
Una velocidad	12,5 km/h	7,7 mph
Opción de dos velocidades	17,7 km/h	11,0 mph

Especificaciones de operación*

Capacidad nominal de operación	1.000 kg	2.200 lb
Capacidad nominal de operación con contrapeso optativo	1.095 kg	2.410 lb
Carga límite de equilibrio	2.000 kg	4.400 lb
Fuerza de desprendimiento, cilindro de inclinación	3.336 kg	7.355 lb

Sistema hidráulico

Flujo hidráulico: estándar:

Presión hidráulica del cargador	23 000 kPa	3335 lb/pulg ²
Flujo hidráulico del cargador	86 L/min	23 gal EE.UU./min
Potencia hidráulica (calculada)	33 kW	44 hp

Flujo hidráulico; XPS de flujo alto:

Presión hidráulica máxima del cargador	28 000 kPa	4061 lb/pulg ²
Flujo hidráulico máximo del cargador	121 L/min	32 gal EE.UU./min
Potencia hidráulica (calculada)	57 kW	76 hp



Figura 67: Especificaciones técnicas del Minicargador CAT 246D3

Fuente: <https://www.unimaq.com.pe/>

Especificaciones de la Excavadora de Ruedas M320D2

Motor	
Modelo del motor	Cat C7.1 ⁽¹⁾
Clasificaciones	2.000 rpm
Potencia bruta del motor (máxima)	
ISO 14396	128,8 kW (173 hp)
ISO 14396 (métrica)	175 hp
Potencia neta (valor nominal) ⁽²⁾	
ISO 9249/SAE J1349	123,5 kW (166 hp)
ISO 9249/SAE J1349 (métrico)	168 hp
80/1269/EEC	123,5 kW (166 hp)
Potencia neta (máxima)	
ISO 9249/SAE J1349	123,5 kW (166 hp)
ISO 9249/SAE J1349 (métrico)	168 hp
80/1269/EEC	123,5 kW (166 hp)
Calibre	105 mm
Carrera	135 mm
Cilindrada	7,01 L
Par máximo a 1.400 rpm	862 N·m
Cantidad de cilindros	6

⁽¹⁾ Puede cumplir con los estándares de emisiones de Stage III de la ECE R96 y Stage II de China GB20891-2007.

⁽²⁾ Velocidad nominal de 2.000 rpm. Potencia constante de 1.400 a 2.000 rpm.

- La potencia neta publicada es la potencia disponible en el volante cuando el motor está equipado con un filtro de aire, un alternador y un ventilador de enfriamiento funcionando a velocidad intermedia.
- No se requiere reducción de potencia hasta una altitud de 3.000 m. Se produce una reducción de potencia automática después de 3.000 m.

Transmisión	
Avance/retroceso	
1ª marcha	8 km/h
2ª marcha	37 km/h
Velocidad del movimiento ultralento	
1ª marcha	3 km/h
2ª marcha	13 km/h
Tracción de la barra de tiro	99 kN
Rendimiento máximo en pendiente	60 %

Mecanismo de giro	
Velocidad de giro	9,2 rpm
Par de giro	43,4 kN·m

Tren de rodaje	
Espacio libre sobre el suelo	370 mm
Ángulo máximo de dirección	35°
Ángulo del eje de oscilación	±8,5°
Radio mínimo de giro	
Eje estándar	
Exterior del neumático	6.400 mm
Extremo de la pluma VA	7.000 mm
Extremo de la pluma de una pieza	8.300 mm
Eje ancho	
Exterior del neumático	6.500 mm
Extremo de la pluma VA	7.300 mm
Extremo de la pluma de una pieza	8.500 mm

Capacidades de llenado de servicio	
Tanque de combustible (capacidad total)	385 L
Sistema de enfriamiento	36,5 L
Cárter del motor	18,5 L
Caja del eje trasero (diferencial)	14 L
Eje de dirección delantero (diferencial)	10,5 L
Mando final	2,5 L
Servotransmisión	2,5 L

Pesos	
Pesos de operación*	19.000 kg a 19.800 kg
Pesos	
Pluma VA	
Hoja topadora delantera, estabilizadores traseros	19.800 kg
Pluma de una pieza	
Hoja topadora delantera, estabilizadores traseros	19.300 kg
Brazos**	
Medianos (2.500 mm)	930 kg
Largos (2.800 mm)	970 kg
Contrapeso	
Estándar	4.000 kg

*El peso en orden de trabajo incluye brazo mediano, contrapeso de 4.000 kg, tanque de combustible lleno, operador, acoplador rápido de 245 kg, cucharón de 695 kg y neumáticos dobles. El peso varía según la configuración.

**Incluye cilindro, varillaje del cucharón, pasadores y tuberías hidráulicas estándar.

Figura 68: Especificaciones técnicas de la Excavadora M320D2

Fuente: <https://www.unimaq.com.pe/>

Anexo 9: Calificación de una distribución de datos, según el grado de dispersión

Tabla 61: Calificación de una distribución de datos, según el grado de dispersión

Coefficiente de variabilidad (%)	Calificación
0	Completamente homogénea
$0 < CV < 10$	Muy homogénea
$10 \leq CV < 15$	Regularmente homogénea
$15 \leq CV < 20$	Regularmente variable
$20 \leq CV < 25$	Variable
$CV \geq 25$	Muy variable

Fuente: Elaboración propia a partir de Luis Alvarado Pintado y Hugo Agurto Mejía (2009)