

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



ANÁLISIS DE EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA DE MURO PROYECTADO UTILIZANDO MODELOS VIRTUALES BAJO LA FILOSOFÍA LEAN; EN COMPARACIÓN CON EL SISTEMA CONVENCIONAL DE MUROS ANCLADOS

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

San Martín Blas, Erick César

Rojas Córdova, Alejandro Rafael

ASESOR

Murguía Sánchez, Danny Eduardo

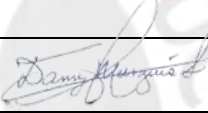
Lima, Febrero, 2026

Informe de Similitud

Yo, Danny Eduardo Murguía Sánchez, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada: “ANÁLISIS DE EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA DE MURO PROYECTADO UTILIZANDO MODELOS VIRTUALES BAJO LA FILOSOFÍA LEAN; EN COMPARACIÓN CON EL SISTEMA CONVENCIONAL DE MUROS ANCLADOS”, de los autores San Martín Blas, Erick César y Rojas Córdova, Alejandro Rafael, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 8%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 15/02/2026.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 15 de febrero de 2026

Apellidos y nombres del asesor: <u>Murguía Sánchez, Danny Eduardo</u>	
DNI: 42283195	Firma 
ORCID: 0000-0003-1009-4058	

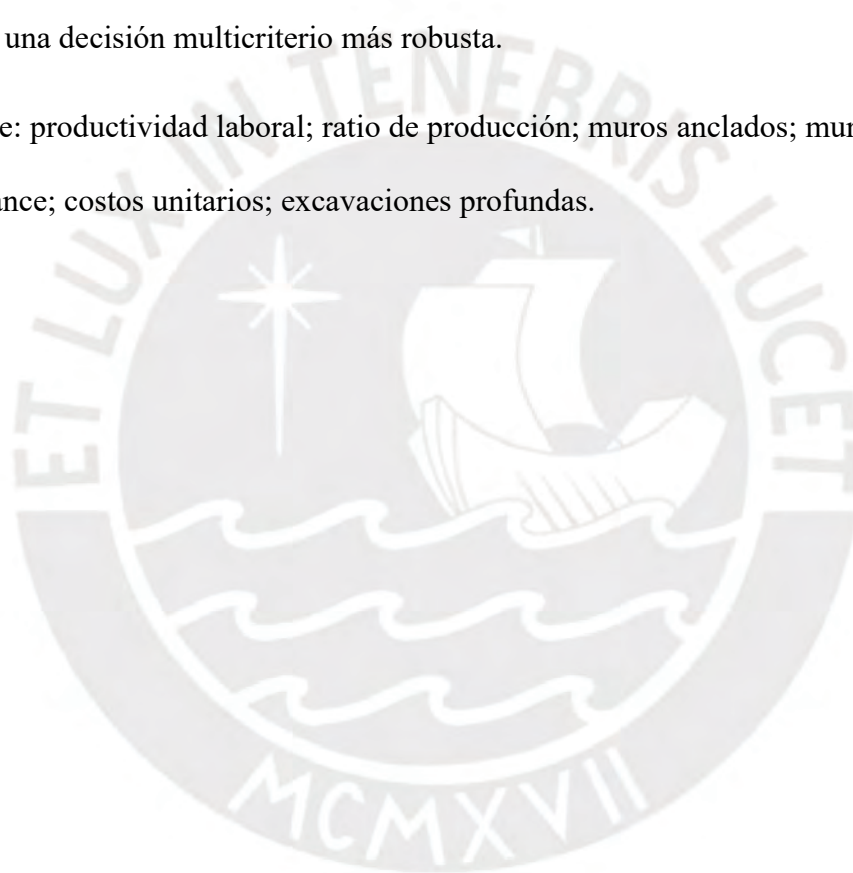
RESUMEN

Esta tesis compara la eficiencia y productividad de dos sistemas para la estabilización de excavaciones profundas: el muro anclado convencional y el muro proyectado. Con datos reales de obra (registros diarios y semanales) se evaluaron indicadores de ratio de producción (m^3 y m^2 por unidad de tiempo), productividad laboral (m^3/hh y m^2/hh), rentabilidad operativa (m^3 o m^2 por S/1,000) y costos unitarios normalizados (S/m^2). El análisis integró gráficos comparativos de dispersión con tendencias, líneas de balance (plan–avance real) y una síntesis estadística basada en mínimos, cuartiles, mediana, promedio y máximos, enfocándose en la lectura conjunta de outputs, recursos y resultado económico para comparar sistemas y no sólo actividades. Herramientas como modelos virtuales y planificación colaborativa se emplearon únicamente como apoyo de metrado, coordinación y control.

Los resultados muestran en ambos sistemas una relación positiva entre producción y productividad; sin embargo, el muro proyectado presenta menor dispersión, mejor ajuste a tendencias y una relación más consistente entre producción, productividad y rentabilidad, lo que se traduce en mayor previsibilidad y control del gasto. Las líneas de balance evidencian un flujo más continuo y transiciones suaves entre anillos en el sistema proyectado, frente a segmentación y quiebres de ritmo en el sistema anclado, con implicancias directas en el cumplimiento de cronograma. En términos de eficiencia global —considerando simultáneamente ratio de producción, productividad y rentabilidad— el sistema proyectado muestra mejor desempeño promedio con baja variabilidad, mientras que el sistema anclado puede alcanzar picos altos bajo condiciones favorables, aunque con menor confiabilidad para sostenerlos. La experiencia operativa recogida sugiere, además, que el concreto lanzado aporta mayor valor en proyectos de menor área, donde las restricciones de espacio y secuencia son críticas; en terrenos muy extensos, el movimiento de tierras pasa a dominar el ritmo global.

A partir de esta evidencia, se recomienda priorizar el muro proyectado cuando se busquen plazos firmes, previsibilidad y gestión de riesgo acotada; reforzar la capacitación de cuadrillas y el aseguramiento de procedimientos; verificar el contenido de acero en elementos locales (y, de ser necesario, ajustar el diseño para evitar soluciones que encarezcan o ralenticen la partida); incorporar seguimiento digital y análisis operativo en tiempo real; y estandarizar secuencias para reducir dependencia de factores impredecibles. Se propone ampliar la investigación con más obras y contextos geotécnicos, e incorporar calidad, seguridad y sostenibilidad como criterios para una decisión multicriterio más robusta.

Palabras clave: productividad laboral; ratio de producción; muros anclados; muro proyectado; líneas de balance; costos unitarios; excavaciones profundas.



ABSTRACT

This thesis compares the efficiency and productivity of two systems for stabilizing deep excavations: the conventional anchored wall and the projected wall (shotcrete). Using field data (daily and weekly records), the study evaluates production rate (m^3 and m^2 per unit time), labor productivity ($\text{m}^3/\text{worker-hour}$ and $\text{m}^2/\text{worker-hour}$), operational profitability (m^3 or m^2 per PEN 1,000), and normalized unit costs (PEN/ m^2). The analysis relies on comparative scatter plots with trend lines, lines of balance (plan vs. actual), and a descriptive statistical summary (minimum, quartiles, median, mean, and maximum). Virtual models and collaborative planning tools were employed strictly as support for quantification, coordination, and control, not as the object of analysis.

Results show a positive relationship between production and productivity in both systems; however, the projected wall exhibits lower dispersion and a more consistent co-movement among production, productivity, and profitability, indicating a more stable workflow and greater predictability. With surface-normalized costs, the projected wall displays a learning curve: it begins with start-up over costs and then converges toward more competitive unit costs as the process stabilizes and repetition economies are captured. The lines of balance corroborate more reliable schedule adherence for the projected wall (more homogeneous slopes and fewer flow breaks), whereas the anchored wall reaches high performance peaks under certain conditions but with greater operational variability.

We conclude that the projected wall delivers higher average performance, lower operational risk, and competitive unit costs once the initial stage is overcome, making it preferable when tight schedules and risk control are priorities. The anchored wall remains viable where greater variability is acceptable and fine constraint management is available to capitalize on its peaks. Future work should extend the evidence to more projects and geotechnical contexts,

incorporate quality and safety indicators, and add environmental criteria to support a more robust multi-criteria decision.

Keywords: labor productivity; production rate; anchored walls; projected (shotcrete) walls; lines of balance; unit costs; deep excavations.



TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 : GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos:.....	6
1.4.1. Objetivo general:.....	6
1.4.2. Objetivos específicos:.....	6
1.5. Hipótesis	7
1.6. Alcance.....	7
CAPÍTULO 2 : METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1. Enfoque	8
2.2. Tipo de investigación.....	8
2.3. Caso de estudio.....	8
2.4. Indicadores a evaluar	9
2.5. Métodos para recolección de datos.....	10
2.6. Métodos para análisis de resultados	10
CAPÍTULO 3 : MARCO TEÓRICO.....	11
2.7. Muros anclados	11
2.7.1. Proceso constructivo de sistema de muros anclados convencional	12
2.7.2. Proceso constructivo de sistema muro proyectado	19
2.8. Producción y productividad en construcción	30
2.9. Herramientas complementarias para la planificación y control de obra	32
CAPÍTULO 4 : DATOS OBTENIDOS	34
3.1. Descripción de proyectos evaluados	34
3.1.1. Proyecto 1: Sistema de Muro Proyectado.....	34
3.1.2. Proyecto 2: Sistema convencional de muros anclados.....	37
3.2. Datos del proyecto 1	39
3.2.1. Metrado de partidas	41
3.2.2. Horas hombre utilizados durante la etapa de muros anclados	45
3.2.3. Tiempo de ejecución de los muros anclados	46
3.2.4. Excavación Masiva	46

4.2.5	Costo semanal y por anillo de muros anclados.....	47
3.3.	Datos del proyecto 2	48
3.3.1.	Metrados de partidas	49
3.3.2.	Horas hombre utilizados durante la etapa de muros anclados	54
3.3.3.	Tiempo de ejecución de muros anclados	56
3.3.4.	Excavación masiva	56
3.3.5.	Costos de encofrado, concreto y acero para los muros anclados.....	57
CAPÍTULO 5 : ANÁLISIS DE RESULTADOS		59
4.1.	Comparación de líneas balance de proyectos.....	59
4.2.	Comparación del desempeño semanal: ratio de producción y productividad laboral semanal del volumen y área.....	62
4.3.	Comparación del desempeño: ratio de producción, productividad laboral y rentabilidad semanal del volumen y área.....	67
4.4.	Comparación del desempeño: ratio de producción y productividad laboral diaria del volumen y área	72
4.5.	Comparación del costo y productividad: m ² /día, m ² /hh y m ² /1000 soles de muro estabilizado	77
4.6.	Resumen de comparación de métricas de ambos sistemas de muros anclados. 78	
CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		82
5.1.	Conclusiones	82
5.2.	Recomendaciones	84
CAPÍTULO 7 : BIBLIOGRAFIA		87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Maquina perforadora de anclajes realizando los orificios del primer anillo.	13
Figura 3. Relleno con lechada luego de perforación y colocación de cables de tensado.	13
Figura 4. Paño de muro anclado con mallas de acero colocado según planos de diseño.	14
Figura 5. Paño de muro anclado encofrado con paneles de encofrado y fenólicos.	15
Figura 6. Excavadora colocando material enfrente del muro encofrado para sostenimiento del mismo. (<i>pachamanca</i>).....	16
Figura 7. Tensado de anclaje de muro anclado por parte de contratista.	17
Figura 8. Ejecución terminada de 3 anillos de muro anclado.	18
Figura 9. Perforación e introducción de cable con hydraulic drill rig.	19
Figura 10. Excavación localizada de banquetta realizada por excavadora	20
Figura 11. Zona liberada de muro anclado.	21
Figura 12. Perfilado manual de banquetta.	22
Figura 13. Aplicación de lechada de concreto sobre banquetta.	22
Figura 14. Resultado final de aplicación de lechada de concreto sobre banquetta.	23
Figura 15. Colocación de mallas de acero de muro anclado.....	24
Figura 16. Encofrado final de muro anclado.	25
Figura 17. Verificación de slump de concreto.	26
Figura 18. Aplicación de concreto lanzado por medio de compresora de aire.	27
Figura 19. Aplicación final de concreto lanzado.	27
Figura 20. Alineamiento de muro anclado.....	28
Figura 21. Alineamiento de muro anclado.....	28
Figura 22. Acabado final de muro anclado.....	29
Figura 23. Tensando de cables.....	30
Figura 24. Render del proyecto 1.....	35
Figura 25. División de proyecto en 3 torres.....	36
Figura 26. Plano de corte de elevación de muro en eje H.....	36
Figura 27. Plano en planta de elevación de anillos de muros anclados.	37
Figura 28. 3D de proyecto 2	38
Figura 29. Plano en planta de cimentaciones y muros anclados de proyecto 2 Torres 1 y 4...38	38
Figura 30. Plano en corte de elevación de muro anclado que consta de 3 anillos.	39

Figura 31. Tren de actividades de anillo 1 proyecto 1.....	40
Figura 32. Modelo BIM de muros anclados proyecto 1	41
Figura 33. Diagrama de Gantt de muros anclados del proyecto 1	46
Figura 34. Cronograma de muros anclados de proyecto 2.....	56

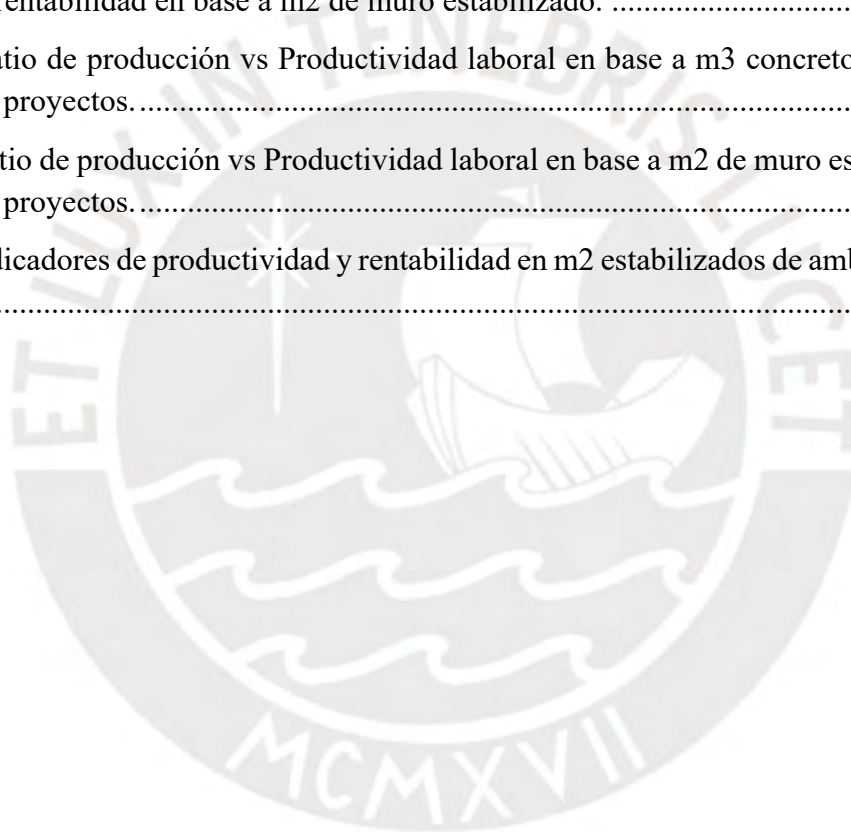


ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metrados de partidas de anillo 1 del proyecto 1	42
Tabla 2. Metrados de partidas de anillo 2 del proyecto 1	43
Tabla 3. Metrados de partidas de anillo 3 del proyecto 1	44
Tabla 4. Resumen de metrado de partidas del proyecto 1	45
Tabla 5: HH semanales utilizadas en concreto, encofrado y acero obra 1	45
Tabla 6: Movimiento de Tierras Proyecto 1	47
Tabla 7: Costo semanal de Muros Proyectados	48
Tabla 8: Costo por anillo muro proyectado	48
Tabla 9. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 52-2).....	50
Tabla 10. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 3-4).....	51
Tabla 11. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 5).....	52
Tabla 12. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 6-8).....	53
Tabla 13. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 9-14).....	54
Tabla 14. HH de muros anclados de proyecto 2.	55
Tabla 15. Volumen de eliminación de tierras por semana de proyecto 2	57
Tabla 16. Costos de materiales, contrata, mano de obra y totales por semana.	58
Tabla 17. Costos de materiales, contrata, mano de obra y totales por anillo.	58
Tabla 18. Resumen comparativo semanal de métricas analizadas de ambos proyectos.....	79
Tabla 19. Resumen comparativo diario de métricas analizadas de ambos proyectos.	79
Tabla 20: Resumen comparativo diario en base a m ³ /hh y m ² /hh	81
Tabla 21: Resumen comparativo semanal en base a m ³ /hh y m ² /hh	81

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Líneas balance de proyecto 1 muro proyectado	59
Gráfico 2. Líneas balance de proyecto 2 muro anclado.....	60
Gráfico 3. Ratio de producción vs productividad laboral en base a m3 de concreto vaciado de ambos proyectos.....	62
Gráfico 4. Ratio de producción vs productividad laboral en base a m2 de muro estabilizado de ambos proyectos.....	63
Gráfico 5. Comparación de proyectos: Ratio de producción vs productividad laboral con indicador de rentabilidad en base a m3 de concreto vaciado.....	68
Gráfico 6. Comparación de proyectos: Ratio de producción vs productividad laboral con indicador de rentabilidad en base a m2 de muro estabilizado.	68
Gráfico 7. Ratio de producción vs Productividad laboral en base a m3 concreto vaciados por día de ambos proyectos.....	72
Gráfico 8. Ratio de producción vs Productividad laboral en base a m2 de muro estabilizado por día de ambos proyectos.....	73
Gráfico 9. Indicadores de productividad y rentabilidad en m2 estabilizados de ambos proyectos.....	77



CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Introducción

El rubro de la construcción es uno de los más dinámicos y considerados como motor de la economía del Perú, ya que involucra a industrias primarias y secundarias proveedoras de insumos estratégicos como cemento, acero y agregados (Palomino Silva et al., 2017). Su aporte al producto bruto interno no solo refleja el impacto directo en la infraestructura, sino también el efecto multiplicador en la generación de empleo y en el desarrollo de cadenas productivas relacionadas. Sin embargo, el desempeño del sector depende de la capacidad para ejecutar proyectos dentro de lo planificado en términos de tiempo, costo y calidad, factores que históricamente han representado un reto en el país.

A pesar de los avances en nuevas técnicas constructivas, la industria de la construcción continúa enfrentando serias dificultades asociadas a retrasos, sobrecostos y baja confiabilidad en la planificación (Ballard, 2000). Como destacan Sacks, Rafael et al. (2010), los problemas más recurrentes en obra no provienen únicamente de una planificación deficiente, sino de la incapacidad para gestionar la producción durante la ejecución. Esto se traduce en interrupciones en el flujo de trabajo, desperdicios de recursos y variabilidad en el rendimiento de los equipos de obra. La construcción, por su carácter único y dependiente de múltiples agentes, está especialmente expuesta a estas fluctuaciones.

En este sentido, resulta fundamental diferenciar los conceptos de producción y productividad. La producción hace referencia al volumen de trabajo ejecutado en un período determinado, expresado en unidades físicas como metros cúbicos de concreto vaciados o metros cuadrados de encofrado. La productividad, en cambio, mide la relación entre la producción obtenida y los

recursos utilizados para alcanzarla, siendo las horas-hombre uno de los indicadores más utilizados (Jarkas & Bitar, 2012; Thomas et al., 2003). Esta distinción es crítica, pues un sistema constructivo puede alcanzar altos niveles de producción, pero si demanda un consumo excesivo de recursos, su productividad resultará baja.

El análisis de la productividad en construcción ha sido ampliamente estudiado en la literatura. Formoso et al. (1999) plantean que su evaluación no debe limitarse a la simple medición de insumos y productos, sino que debe considerar pérdidas, cuellos de botella y restricciones operativas en obra. De manera complementaria, Murguía et al. (2024) sostienen que la productividad debe evaluarse en múltiples niveles —tarea, proyecto y organización—, ya que el comportamiento en obra refleja no solo el avance físico, sino también la eficiencia en la gestión de recursos, la coordinación entre equipos y la estabilidad del flujo de trabajo.

En el Perú, este desafío cobra especial relevancia debido a las condiciones urbanas de alta presión de plazos y costos, en donde una baja productividad genera efectos acumulativos que comprometen el desempeño global de los proyectos. Estudios recientes destacan que los índices de productividad en la construcción peruana se encuentran por debajo de estándares internacionales, en gran parte debido a la variabilidad de procesos y a la prevalencia de métodos constructivos tradicionales (Murguía et al., 2024). Por ello, resulta imprescindible no solo innovar en técnicas de planificación y control, sino también evaluar de manera objetiva los sistemas constructivos utilizados en campo.

En el ámbito de la ejecución de muros de contención, los sistemas de muros anclados convencionales han sido durante décadas la solución más extendida, garantizando estabilidad y seguridad en excavaciones profundas. No obstante, la búsqueda de procesos más rápidos y eficientes ha impulsado la aparición de métodos alternativos, como el sistema de muro proyectado, que propone una reducción en los tiempos de ejecución al eliminar etapas como el

encofrado tradicional. La coexistencia de ambos sistemas plantea la necesidad de un análisis comparativo que permita determinar cuál ofrece mejores resultados en términos de producción y productividad bajo condiciones reales de obra.

Es importante señalar que herramientas como *Lean Construction* (Ballard & Howell, 1994) y *Building Information Modelling* – BIM (Succar, 2010) han demostrado ser útiles para mejorar la planificación, la coordinación y la previsibilidad en proyectos constructivos. Sin embargo, en este estudio se consideran únicamente como herramientas complementarias, ya que el objetivo principal no es evaluar estas metodologías, sino medir y comparar directamente el desempeño de los sistemas constructivos mencionados.

En consecuencia, el presente trabajo busca analizar y comparar la eficiencia de dos sistemas aplicados a la ejecución de muros de contención: el sistema convencional de muros anclados y el sistema de muro proyectado. A través de indicadores de producción y productividad, se pretende determinar cuál de los dos sistemas ofrece un mejor desempeño técnico y operativo. Este análisis permitirá no solo aportar evidencia empírica al debate sobre la adopción de nuevas tecnologías constructivas, sino también contribuir a la toma de decisiones estratégicas en la gestión de proyectos de infraestructura urbana en el Perú, donde la mejora de la productividad constituye un reto aún pendiente.

1.2. Antecedentes

A nivel internacional, la productividad en la construcción ha sido objeto de múltiples investigaciones debido a su impacto directo en los costos y plazos de ejecución. Murguía et al. (2024) plantearon un marco tridimensional para medir la productividad a nivel de proyectos, destacando que no basta con analizar métricas aisladas, sino que se requiere integrar diferentes niveles de información para capturar la variabilidad entre sistemas constructivos. En la misma

línea, Thomas et al. (2003) señalaron que la productividad debe entenderse como la relación entre producción y recursos empleados, lo que permite comparar de forma objetiva diferentes métodos de construcción. Formoso et al. (1999), por su parte, identificaron la importancia de evaluar pérdidas de tiempo y recursos como punto de partida para proponer mejoras en los procesos productivos.

En cuanto a sistemas de sostenimiento, los muros anclados han sido ampliamente utilizados en proyectos internacionales de excavación profunda por su capacidad de resistir presiones laterales del terreno y garantizar la estabilidad de estructuras adyacentes (Coll, 1996). Sin embargo, investigaciones recientes han explorado alternativas como el muro proyectado, que permite una mayor velocidad en la conformación del sistema estructural y la reducción de horas-hombre necesarias en obra, lo que abre la posibilidad de mejoras significativas en eficiencia y costos.

En el contexto nacional, la construcción de sótanos y excavaciones profundas es una actividad frecuente en proyectos residenciales y comerciales. Los muros anclados convencionales han sido la técnica predominante en el Perú, siendo valorados por su confiabilidad y aplicabilidad en diferentes condiciones geotécnicas. No obstante, la introducción de sistemas como el muro proyectado representa una oportunidad de innovación, ya que puede incrementar la capacidad de vaciado de concreto diario y reducir el material excedente, aspectos que inciden directamente en la productividad del proceso. Pese a ello, no se encuentran estudios sistemáticos que comparen ambos métodos en términos de eficiencia productiva en obras locales.

Si bien en los últimos años se ha promovido en el Perú la adopción de metodologías de gestión como Lean Construction y herramientas digitales como BIM, estas se han enfocado principalmente en mejorar la planificación y coordinación de proyectos (Ministerio de

Economía y Finanzas, 2021). Su aporte al análisis de muros anclados radica en facilitar la extracción de metrados, el control de avances y la planificación colaborativa; sin embargo, no constituyen el eje central de evaluación en esta investigación, sino herramientas complementarias que contribuyen a la recopilación y procesamiento de datos.

En este sentido, se evidencia una brecha en la literatura nacional respecto a la comparación directa entre el sistema de muros anclados convencionales y el sistema de muro proyectado, específicamente en lo que concierne a indicadores de producción y productividad. La presente tesis busca atender esta necesidad mediante un análisis aplicado en proyectos reales, aportando evidencia técnica que permita orientar la toma de decisiones en el sector construcción.

1.3. Justificación

La construcción de sótanos profundos en edificaciones urbanas es una etapa crítica que requiere el sostenimiento de taludes para proteger las construcciones colindantes y garantizar la seguridad de los trabajadores. Esta actividad, por su nivel de complejidad y duración, forma parte de la ruta crítica del proyecto y puede representar hasta el 50 % del tiempo total de ejecución estructural. En ese sentido, cualquier mejora en su desarrollo tiene un impacto directo en los plazos generales, costos y productividad del proyecto.

En los últimos años, el sistema de muros anclados ha sido ampliamente utilizado como solución técnica frente a los métodos tradicionales como las calzaduras. Este cambio estuvo motivado por mejoras en productividad, eficiencia y costos. Sin embargo, el sistema muro proyectado se presenta como una alternativa más reciente con potencial para seguir optimizando esta fase crítica, ya que permite mayor velocidad de vaciado, menor generación de excedentes, reducción de horas-hombre y mayor flexibilidad constructiva en terrenos urbanos complejos.

A pesar del uso creciente del sistema muro proyectado en el país, no existen estudios técnicos comparativos que cuantifiquen sus ventajas frente al sistema convencional de muros anclados. Esta carencia de datos objetivos limita la capacidad de los profesionales para tomar decisiones informadas al momento de definir el método constructivo más conveniente para la partida de contención de suelos.

Por ello, esta investigación propone realizar un análisis comparativo entre ambos sistemas, enfocándose en tres variables críticas: productividad, costos y plazos de ejecución. A través del levantamiento y procesamiento de datos reales obtenidos en obra, se busca evidenciar con claridad qué sistema ofrece un mejor desempeño técnico-operativo. Como parte del enfoque de análisis, se incorporan herramientas de planificación como BIM y metodologías Lean, las cuales aportan al proceso de ejecución, pero no son el eje de comparación.

Esta tesis busca llenar un vacío práctico en la toma de decisiones sobre métodos de contención en proyectos urbanos, brindando una base técnica objetiva y aplicable para futuras licitaciones, presupuestos o planificación de obras similares.

1.4.Objetivos:

1.4.1. Objetivo general:

Comparar la eficiencia del sistema muro proyectado con el sistema de muros anclados convencionales, en cuanto a productividad, costos y plazo de ejecución.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Presentar y analizar los tiempos de ejecución de las partidas involucradas en el proceso constructivo de los muros anclados del sistema muro proyectado y del sistema convencional.

- Realizar la comparación entre ambos sistemas constructivos en función de indicadores de productividad, costos unitarios y consumo de recursos.
- Determinar las diferencias entre ambos sistemas, identificando fortalezas y limitaciones observadas en su implementación.
- Evaluar el aporte del uso de modelos BIM y de la filosofía Lean Construction como herramientas complementarias de planificación en la ejecución del sistema muro proyectado.

1.5. Hipótesis

La eficiencia y la productividad de los muros anclados realizados con el sistema proyectado utilizando modelos BIM y la filosofía Lean, mejoran a comparación del sistema convencional de muros anclados.

1.6. Alcance

En base a la literatura revisada, así como en la información brindada de los proyectos, se compararán dos sistemas de construcción de muros anclados, cada uno en un proyecto de construcción multifamiliar distinto. El primero utilizo muros proyectados, el cual se realiza, además, con modelos BIM y la planificación se realiza bajo la filosofía *Lean Construction*. El segundo proyecto utilizó el sistema convencional de construcción de muros anclados.

Este caso de estudio buscará recolectar datos de ambos proyectos, como por ejemplo el proceso constructivo, el metrado de las partidas más incidentes en el proceso constructivo, tiempos de ejecución y bolsa de horas hombre utilizadas. Además, para poder realizar la comparación se utilizará un método para la medición de la productividad en la construcción a través de un marco tridimensional multinivel, el cual fue una investigación desarrollada y presentada en Gran Bretaña el año 2024 al ASCE.

Con la información brindada por los datos de cada proyecto se procesarán y analizan los datos recopilados y se hará una comparación con respecto a rendimientos, productividad, rentabilidad y tiempos entre ambos proyectos. Finalmente, se realizarán conclusiones y recomendaciones respecto a los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que se recopiló y analizó parámetros numéricos de ambos sistemas usados, cada uno en un diferente proyecto, y mediante ello se evaluó cuál sistema tiene una mejora en la productividad, en la eficiencia y rentabilidad. La investigación cuantitativa está asociada con el método deductivo y estudia la relación y asociación entre las variables cuantificadas (Pita-Fernández y Pértegas-Díaz, 2002).

2.2. Tipo de investigación

Se considera la investigación como descriptiva, ya que para la recopilación de datos se observaron y anotaron los resultados obtenidos de los diferentes parámetros a evaluar para cada sistema de muro anclado. Según Hernández Sampieri (2014), las investigaciones descriptivas buscan medir y evaluar diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

2.3. Caso de estudio

El caso de estudio consta de dos sistemas de muros anclados, el sistema de muros anclados convencional y el sistema muros proyectado utilizando modelos BIM y bajo la filosofía *Lean Construction*. Cada sistema se llevó a cabo en diferentes proyectos de viviendas multifamiliares. Se realizó una comparación entre ambos sistemas, teniendo en cuenta distintos

parámetros, para determinar cuál de los dos resulta ser el más eficiente. Los proyectos donde se evaluaron los sistemas son los siguientes:

- Proyecto 1: Proyecto multifamiliar de 3 torres (1 de 17 pisos y 2 de 22 pisos) con 4 sótanos, en donde se utilizó el sistema de muros proyectados. Asimismo, el proyecto se desarrolló bajo la filosofía *Lean Construction* y utilizando modelos BIM.
- Proyecto 2: Proyecto mixto (centro comercial, hotel, oficinas y departamentos) con 5 torres y 4 sótanos, en donde se utilizó el sistema convencional de muros anclados.

Con respecto a la comparación, se consideraron 3 anillos del proyecto 1 y 4 anillos para el proyecto 2. Cabe resaltar que se consideran todos los anillos del proyecto 2 para obtener una comparación más real con respecto a los tiempos de ejecución y rendimientos, además que el cuarto anillo es muy pequeño comparado con cualquiera de ambas obras. Se recopilaron datos de acuerdo a los parámetros de tiempo y rendimiento. El análisis de los datos se realizó por semanas y por anillos. Asimismo, se analizó toda la etapa de excavación y sostenimiento de taludes para cada proyecto, desde el nivel 0.00 hasta la finalización del último anillo.

2.4. Indicadores a evaluar

Los indicadores a evaluar para cada sistema de muros anclados fueron los siguientes:

- Productividad de vaciado de concreto tanto por horas hombre, días y semanas (m^3/hh , $m^3/día$, $m^3/semana$)
- Productividad de encofrado tanto por horas hombre, días y semanas (m^2/hh , $m^2/día$, $m^2/semana$)
- Tiempo de finalización de partidas del muro anclado (excavación, colocación de acero y encofrado, vaciado de concreto y tiempo total)

- Rentabilidad tanto de concreto como de encofrado ($m^3/ s/1000$, $m^2/ s/1000$), se considera en función a $s/ 1000$ para fines comparativos, y costo total de cada anillo.

La selección de estos indicadores se sustenta en el marco propuesto por Murguía et al. (2024), quienes desarrollaron una estructura tridimensional para medir la productividad en construcción considerando múltiples niveles de agregación, perspectivas de análisis (recursos y tiempo) y escalas temporales (diaria, semanal, mensual, entre otras). Este enfoque permite una evaluación comparativa más estructurada y flexible del rendimiento constructivo, adaptada tanto a partidas específicas como al análisis global del sistema constructivo.

2.5. Métodos para recolección de datos

Para la recopilación de datos, se tuvo que usar el método de observación, debido a que se tuvo que ir presencialmente a ambas obras para poder observar los procesos constructivos de los dos sistemas, anotar los resultados obtenidos y llevar un registro para la futura comparación.

2.6. Métodos para análisis de resultados

Para la recopilación y procesamiento de datos se utilizaron principalmente dos herramientas: Autodesk Revit y Microsoft Excel. Autodesk Revit se empleó para el modelado del proyecto y la extracción precisa de metrados de concreto y encofrado, los cuales fueron posteriormente validados en campo. La información sobre horas-hombre, rendimientos y costos fue recolectada a partir de registros de obra, fichas técnicas y reportes de avance. Por su parte, Microsoft Excel fue utilizado para organizar los datos, generar tablas comparativas y gráficos, y calcular los indicadores de producción y productividad definidos para cada sistema constructivo.

Adicionalmente, el uso de modelos virtuales y herramientas de planificación colaborativa, como BIM y *Lean Construction*, aportó valor en la etapa de organización, visualización y

planificación del sistema muro proyectado, permitiendo un mejor control y registro de datos para el análisis.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

El desarrollo urbano y la creciente demanda de espacios subterráneos en zonas densamente edificadas han generado la necesidad de implementar soluciones de contención seguras y eficientes durante la excavación de sótanos. En este contexto, los muros anclados se han consolidado como una técnica clave para estabilizar taludes y prevenir desplazamientos del terreno, permitiendo avanzar con las etapas constructivas sin comprometer la integridad de las estructuras colindantes ni la seguridad del personal en obra. A lo largo del tiempo, su ejecución ha estado dominada por procedimientos convencionales que, aunque ampliamente adoptados, presentan limitaciones en términos de tiempo, costos y uso de recursos. Frente a este panorama, han surgido nuevas alternativas técnicas que buscan mejorar estos aspectos mediante innovaciones en los procesos constructivos. Tal es el caso del sistema de muro proyectado, una solución que ha comenzado a implementarse en determinados proyectos como una posible mejora respecto al sistema tradicional. En el presente marco teórico se analizarán las características técnicas y constructivas de ambos sistemas, como base para su posterior comparación en términos de eficiencia y productividad.

2.7. Muros anclados

Es un sistema de sostenimiento de excavaciones compuesto por muros que se construyen conforme se va excavando el terreno. Estos muros tienen la función de resistir los empujes del suelo, además de tomar las cargas verticales que les transmitan otros elementos estructurales (Delgado, 2011). Con el pasar de los años, su uso se ha vuelto cada vez más popular en el país, debido a que brinda la posibilidad de construir múltiples niveles de sótanos dando un óptimo

funcionamiento y, ahorro en tiempos y costos. El sistema de muro proyectado surgió como una solución para la construcción de muros anclados, siendo un sistema que realiza el vaciado de concreto proyectándolo directamente sobre la armadura de acero, evitando realizar el encofrado del muro.

2.7.1. Proceso constructivo de sistema de muros anclados convencional

La ejecución de los muros anclados comienza con la excavación del terreno, se usa maquinaria pesada para la excavación masiva y se realiza conforme se avanza con los anillos. La profundidad de la excavación depende del diseño del muro anclado, pero generalmente oscila entre 10 y 20 metros. El ancho de la zanja suele ser de aproximadamente 1 metro. Es crucial asegurarse de que las paredes de la excavación sean estables y no presenten riesgo de derrumbe durante la construcción.

Los anclajes pos-tensados se instalan en agujeros con una maquina perforadora (Figura 1) en el terreno a una inclinación de aproximadamente 15 grados con respecto a la horizontal. La separación entre los anclajes varía según el diseño, pero suele estar entre 1,5 y 2,5 metros. El diámetro de los agujeros para los anclajes es de aproximadamente 15 cm. y cada anclaje consta de varios cables de acero de alta resistencia. Después de colocar los anclajes en los agujeros, se inyecta lechada para fijarlos al terreno (Figura 2).



Figura 1. Maquina perforadora de anclajes realizando los orificios del primer anillo.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.



Figura 2. Relleno con lechada luego de perforación y colocación de cables de tensado.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

Luego se colocan los aceros acordes al diseño estructural de los muros. El diámetro del acero de refuerzo varía según el diseño de igual forma como se observa en la Figura 3. El encofrado del muro se realiza utilizando paneles metálicos que se unen entre sí y se fijan al terreno para mantener la forma del muro durante el vertido del concreto y se colocan planchas de fenólico

para que la tierra contenga uniformemente el muro (Figura 4). Cabe señalar que el proceso de construcción de los paños del muro se realiza de forma intercalada y no continua, partiendo el muro en paños de hasta 4 m, logrando terminar un anillo de esta forma en dos pasadas.



Figura 3. Paño de muro anclado con mallas de acero colocado según planos de diseño.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.



Figura 4. Paño de muro anclado encofrado con paneles de encofrado y fenólicos.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

Una vez se haya colocado el encofrado del muro, se hayan dejado las cachimbas que se picaran al día siguiente y que se haya hecho la *pachamanca* como se puede ver en la Figura 5 (tierra o material que se coloca en frente del encofrado del muro para evitar que se mueva por el empuje del concreto) se realiza el vaciado de concreto con la resistencia especificada en el diseño. Es crucial asegurarse de que el concreto se vierta de manera uniforme y sea vibrado adecuadamente. Una vez que el concreto ha fraguado, se retira el encofrado y se realizan los acabados necesarios, como el tratamiento de juntas y la aplicación de impermeabilizantes.



Figura 5. Excavadora colocando material enfrente del muro encofrado para sostenimiento del mismo.
(*pachamanca*)

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

Después de que el concreto haya fraguado, lo que generalmente toma entre 24 y 48 horas, se procede a tensar los anclajes (Figura 6). Este tensado se realiza utilizando gatos hidráulicos que aplican una fuerza controlada a cada anclaje. El proceso de tensado es crítico, ya que genera la presión necesaria para estabilizar el terreno y transferir las cargas desde el muro a las capas más profundas y estables del terreno.



Figura 6. Tensado de anclaje de muro anclado por parte de contratista.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

Cada anclaje se tensiona hasta alcanzar la fuerza especificada en el diseño, y se monitorean las tensiones para asegurar que se mantengan dentro de los parámetros de seguridad.

Con el primer nivel de anclajes instalado y tensionado, se continúa con la excavación hacia abajo en niveles sucesivos. Cada nuevo nivel de excavación se lleva a cabo de manera controlada, siguiendo un proceso repetitivo de perforación, instalación de anclajes, colocación de acero y encofrado, vaciado de concreto y tensado viéndose al terminar los muros como se visualiza en la Figura 7.

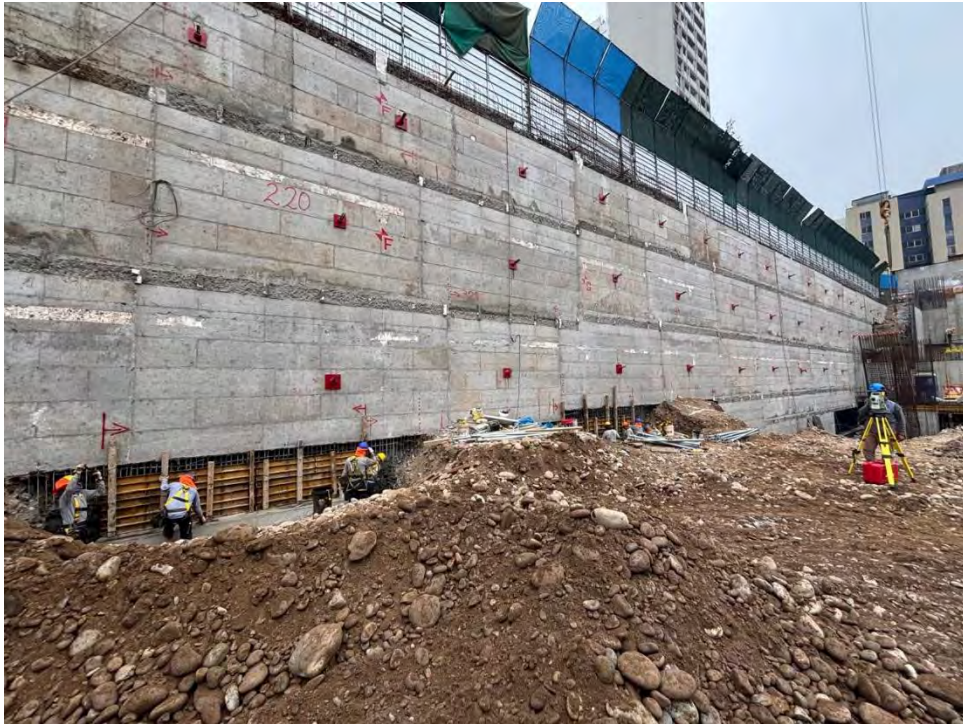


Figura 7. Ejecución terminada de 3 anillos de muro anclado.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

Esta metodología secuencial permite mantener la estabilidad del terreno en todo momento y evita el riesgo de deslizamientos o colapsos.

Durante y después de la construcción, se implementa un programa de monitoreo para asegurar la estabilidad continua del muro y del terreno circundante. Se instalan dispositivos de monitoreo como inclinómetros, piezómetros y celdas de carga para detectar cualquier movimiento o cambio de tensión en los anclajes. Las inspecciones periódicas y el mantenimiento regular son esenciales para garantizar la longevidad y la seguridad del sistema de muro anclado.

Este enfoque integral asegura que los muros anclados proporcionen una solución segura y efectiva para la estabilización de terrenos y la contención de excavaciones profundas en diversos proyectos de construcción.

2.7.2. Proceso constructivo de sistema muro proyectado

El sistema de muros proyectados, al igual que el proceso tradicional “pachamanca”, inicia con la excavación masiva del terreno hasta el nivel de profundidad del primer anillo, dejando las banquetas formadas alrededor del perímetro. Luego se procede a realizar el proceso de perforación e inyección de los cables de acero en el terreno, para ello se utiliza una maquinaria cuyo nombre técnico es “*hydraulic drill rig*”; la cual consiste en un taladro y perforadora que le permite ingresar al terreno al mismo tiempo que se introduce el cable, así como se muestra en la Figura 8. De esta forma, se van inyectando todos los puntos de anclaje del anillo que se esté realizando.



Figura 8. Perforación e introducción de cable con hydraulic drill rig.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

Una vez que se tuvo la mayoría los anclajes instalados, se procedió a iniciar con la excavación localizada de banquetas dejando una de ellas en medio de dos excavadas, con el fin de seguir las medidas de seguridad establecidas en este proceso constructivo. Como se observa en la

Figura 9, la excavadora retira el material de la zona delimitada que ocupará el muro hasta dejarlo como en la Figura 10. Cabe mencionar que, en la primera vuelta del anillo, se realizó una sobre excavación tanto lateral como en profundidad debido a los empalmes de acero que se dejaron en ambos casos.



Figura 9. Excavación localizada de banqueta realizada por excavadora

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.



Figura 10. Zona liberada de muro anclado.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

Dado que la excavación localizada de la banquetta, realizada por la cuchara de la excavadora, no es uniforme a lo largo de toda el área del paño; se realizó un perfilado manual para poder asemejar el espesor del muro lo más posible a las especificaciones del plano. Este procedimiento se observa en la Figura 11. Posteriormente, se le aplica una lechada de concreto a la zona perfilada como se muestra en la Figura 12, esto con la finalidad de prevenir que material del terreno caiga, dado que la zona no se encuentra en su ángulo de reposo y el material no se encuentra adherido al terreno.



Figura 11. Perfilado manual de banqueta.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.



Figura 12. Aplicación de lechada de concreto sobre banqueta.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

El resultado final de la lechada se muestra en la Figura 13, es importante recalcar que todas las actividades realizadas hasta el momento requieren de la orientación de un topógrafo pues es quien indica las dimensiones en campo a seguir desde la abertura de las banquetas hasta la colocación de acero y encofrado lateral, como se verá más adelante.



Figura 13. Resultado final de aplicación de lechada de concreto sobre banqueta.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

Continuando con el proceso constructivo se realizó un forrado con plástico azul del paño abierto con el fin de que el terreno no absorba la humedad del concreto. Se instalaron las mallas de acero de acuerdo a las especificaciones del plano tal como se observa en la Figura 14. Cabe mencionar que, se dejó una distancia libre en las barras de acero para garantizar que se cumpla con la longitud de empalme entre las mallas de acero de los muros, este espaciamiento dependerá del diámetro de las barras utilizadas; para el caso de la obra, se dejó 50 cm horizontalmente en cada extremo, y en las barras verticales, 60 cm.



Figura 14. Colocación de mallas de acero de muro anclado.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 1

En la Figura 15 se observa el resultado final del encofrado, el cual, a diferencia del método tradicional, no se requiere colocar encofrado en la cara delantera del muro. Para este caso de muro proyectado en el primer anillo, se colocan tablonces en la parte superior del muro para delimitar la altura, mientras que en los costados se instalan retazos de fenólicos para delimitar el ancho del vaciado. Finalmente, se colocan puntales para asegurar que el muro no se desplome.



Figura 15. Encofrado final de muro anclado.
Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

Para el momento del vaciado es importante tener en cuenta que el *slump* de la mezcla de los *mixers* oscile entre 3" a 4" como se observa en la Figura 16, esto con la finalidad de que al momento del bombeo no se tengan dificultades.



Figura 16. Verificación de slump de concreto.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

En las Figuras 17 y 18, se observa cómo se utiliza la manguera para el vaciado de concreto, la cual se conecta a una compresora de aire para permitir el lanzamiento del concreto. El lanzamiento de concreto se empieza desde la esquina inferior del muro hasta una altura de aproximadamente 1.50 m, esto con el fin de asegurar que el concreto sea lanzado de forma horizontal. Para alturas mayores a 1.50 m se utilizan andamios para que los operarios puedan llegar a más altura de vaciado con la manguera.



Figura 17. Aplicación de concreto lanzado por medio de compresora de aire.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.



Figura 18. Aplicación final de concreto lanzado.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

Terminado el vaciado de concreto, la cuadrilla de albañiles se encarga de verificar el recubrimiento del acero, así como la verticalidad del muro y si se presentara problemas en alguno de los casos, se procede a volver a lanzar concreto para asegurar la verticalidad del muro. Una vez que se verifica la verticalidad y el recubrimiento del muro, se procede a darle

el acabado final utilizando paletas y el desperdicio que cae del muro por el lanzado que puede ser reutilizado, como se muestra en las Figuras 19 y 20.



Figura 19. Alineamiento de muro anclado.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.



Figura 20. Alineamiento de muro anclado.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

El resultado final del acabado es como se observa en la Figura 21, con lo cual se dejan los puntales hasta el momento en el que el concreto adquiera la resistencia requerida en los planos.



Figura 21. Acabado final de muro anclado.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

En la Figura 22 se observa el procedimiento de tensado de los cables, el cual se realiza a los 3 días que el concreto haya adquirido la resistencia especificada. Este proceso se realiza para todos los muros del mismo anillo teniendo en consideración que los paños se abren una vez que sus muros colindantes estén tensados, para asegurar la estabilidad del terreno.



Figura 22. Tensando de cables.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

2.8. Producción y productividad en construcción

La productividad en el sector construcción ha sido un tema ampliamente debatido debido a su impacto directo sobre el desempeño técnico, operativo y económico de los proyectos. A diferencia de otros sectores, como la manufactura, la construcción enfrenta desafíos particulares relacionados con la variabilidad de procesos, el entorno físico cambiante y la dependencia intensiva de la mano de obra (Pekuri, 2012; Thomas et al., 2002).

En este contexto, Murguía et al. (2024) proponen un marco de evaluación tridimensional que busca estandarizar la forma en la que se mide la productividad en la construcción a lo largo de distintos proyectos. Este enfoque considera tres dimensiones clave: (1) el tipo de producción, que diferencia entre producción directa, indirecta y de soporte; (2) el nivel de agregación, desde

tareas específicas hasta proyectos completos; y (3) la perspectiva de medición, que puede ser técnica (por unidad de recurso), económica (por unidad monetaria) o temporal (por unidad de tiempo).

Este enfoque resulta especialmente útil para evaluar con mayor precisión la eficiencia operativa en partidas específicas como el vaciado de concreto o el encofrado, ya que permite comparar entre diferentes métodos constructivos bajo criterios uniformes. Por ejemplo, la medición técnica de productividad puede expresarse como metros cúbicos de concreto por hora-hombre (m^3/hh), mientras que la medición económica puede referirse a cuántos metros cúbicos se logran por cada mil soles invertidos ($m^3/S/.1000$), lo cual es precisamente la metodología utilizada en esta investigación.

En este sentido, es fundamental diferenciar el ratio de producción y la productividad laboral, ya que ambos indicadores permiten evaluar el desempeño real de los procesos constructivos. El ratio de producción se refiere al volumen de trabajo ejecutado en un periodo de tiempo determinado, expresado en unidades físicas como metros cuadrados de muro por día, lo que refleja la velocidad de avance alcanzada en obra (Murguía et al., 2024). Por otro lado, la productividad laboral establece la relación entre dicho volumen de producción y los recursos humanos empleados, generalmente medida en unidades de producción por hora-hombre (Thomas et al., 2002; Jarkas & Bitar, 2012). Mientras que el ratio de producción permite identificar el ritmo de ejecución de una partida, la productividad laboral revela la eficiencia con la que se utilizan los recursos, en especial la mano de obra. En el caso de los muros anclados, ambos conceptos resultan clave para comparar el desempeño de los sistemas constructivos convencionales frente al muro proyectado, permitiendo evaluar no solo cuál genera un mayor avance físico, sino también cuál optimiza mejor el uso de los recursos disponibles.

Asimismo, el marco de Murguía subraya la importancia de evaluar la consistencia de los datos recolectados en campo, la claridad de los objetivos de productividad definidos en el proyecto, y la alineación entre lo planificado y lo realmente ejecutado. Estas consideraciones refuerzan la necesidad de contar con herramientas de análisis que permitan no solo recolectar datos, sino interpretarlos correctamente para la toma de decisiones técnicas (Murguía et al., 2024).

La incorporación de este enfoque contribuye a una comprensión más completa del rendimiento constructivo, permitiendo identificar no solo qué método constructivo produce más, sino también cuál lo hace de manera más eficiente, rentable y sostenible dentro del entorno urbano complejo en el que se desarrollan los proyectos evaluados en este estudio.

2.9.Herramientas complementarias para la planificación y control de obra

En la industria de la construcción, herramientas como *Building Information Modelling* (BIM) y la filosofía *Lean Construction* se han consolidado como metodologías que contribuyen a mejorar la planificación y ejecución de los proyectos, principalmente al reducir la incertidumbre, eliminar desperdicios y mejorar la toma de decisiones. Si bien no constituyen el eje central del presente estudio, su mención resulta relevante en tanto complementan los procesos evaluados, especialmente en el caso del sistema muro proyectado, que se implementa en un entorno de trabajo digitalizado y colaborativo.

BIM se define como un conjunto de tecnologías, procesos y políticas que permiten gestionar de forma digital la información del ciclo de vida de un proyecto (Succar, 2010). En la etapa de construcción, su principal aporte radica en la visualización 3D de las partidas, simulaciones de procesos constructivos (modelos 4D) y coordinación interdisciplinaria, permitiendo detectar incompatibilidades y planificar mejor el flujo de trabajo (Dave et al., 2013). Así, BIM ayuda a

minimizar retrasos, retrabajos y conflictos entre partidas, contribuyendo indirectamente a mejorar la productividad en campo (Kymmel, 2008).

Por su parte, Lean Construction es una filosofía de gestión desarrollada por Ballard y Howell (1994) basada en los principios del sistema de producción Toyota. Su objetivo principal es maximizar el valor para el cliente mediante la eliminación de pérdidas, centrándose en el flujo continuo de trabajo y la planificación colaborativa (Koskela, 1992; *Construction Industry Institute*, 2005). Dentro de esta filosofía, herramientas como el Last Planner System permiten transformar lo que “se debe hacer” en lo que “realmente se hará”, al identificar restricciones, planificar tareas viables y promover el compromiso de los responsables de ejecución (Pons y Rubio, 2019).

Aunque el enfoque principal de esta investigación está en los indicadores de producción y productividad, la incorporación de modelos virtuales mediante BIM y principios Lean durante la ejecución de muros proyectados facilita la planificación diaria y la coordinación de cuadrillas, factores que inciden directamente en la eficiencia de obra. Por ello, ambas metodologías son consideradas elementos de soporte que fortalecen la ejecución del sistema evaluado.

CAPÍTULO 4: DATOS OBTENIDOS

3.1. Descripción de proyectos evaluados

Para la presente investigación se consideraron dos proyectos multifamiliares, con 4 sótanos cada uno. De estos proyectos se recopilaron los datos con respecto a la partida de muros anclados para realizar el análisis y comparación correspondiente. En este caso de estudio, el proyecto 1 utilizó el sistema de muros proyectados y se realizó bajo un entorno de *Lean Construction* haciendo uso de Revit como software BIM para la elaboración del modelo. El proyecto 2 utilizó el sistema convencional de muro anclado, en el cual también se utilizó Revit como herramienta BIM para la producción de un modelo 3D.

3.1.1. Proyecto 1: Sistema de Muro Proyectado

El proyecto es una vivienda multifamiliar con comercio en el primer piso y 4 sótanos destinados a estacionamientos. La obra está compuesta por 3 torres, como se observa en las Figuras 23 y 24, las cuales se ejecutarán por etapas, siendo en total 3 etapas del proyecto.

- 1ra etapa: 4 sótanos y Torre Black
- 2da etapa: Torre Gold
- 3ra etapa: Torre Platinum

La torre Black consta de 16 pisos más azotea, siendo solo de uso residencial. Por otro lado, las torres Gold y Platinum poseen 22 pisos más azotea y, además de ser residenciales, tienen el primer piso comercial. Para la partida de muros anclados, el proyecto consideró 3 anillos (Figura 25), se dividió en 4 elevaciones, como se muestra en la Figura 26, tomando como referencia el perímetro del terreno. A continuación, se presentan las características generales del proyecto:

- Área total del terreno: 2033 m²

- Numero de sótanos: 4 sótanos
- Número de pisos: 16 – 22 pisos más azotea
- Profundidad de excavación: 17,25 m
- Numero de anillos de muro anclado: 3 anillos



Figura 23. Render del proyecto 1.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

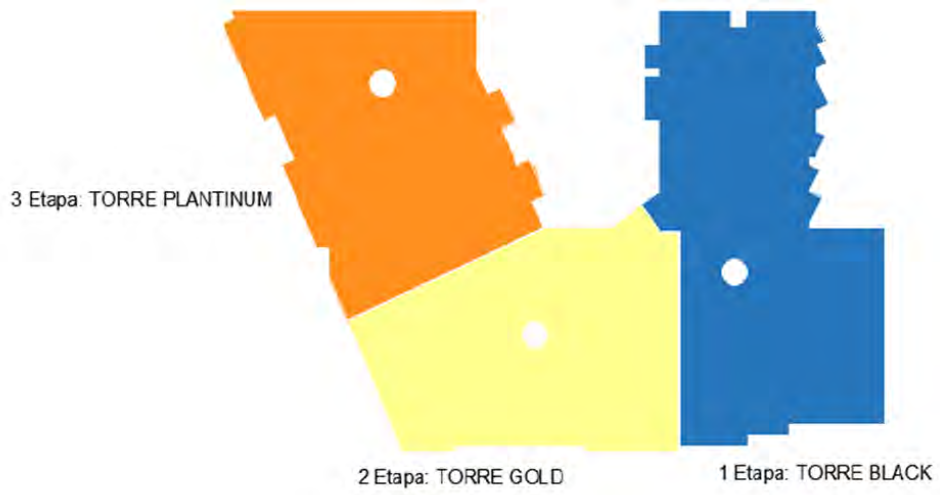


Figura 24. División de proyecto en 3 torres.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

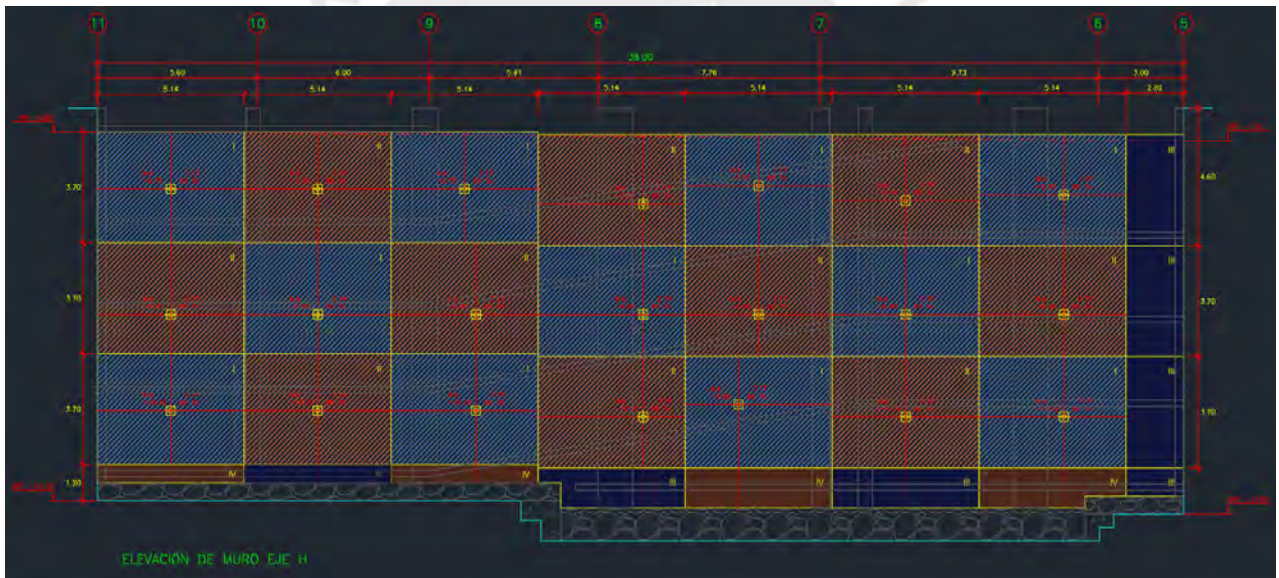


Figura 25. Plano de corte de elevación de muro en eje H.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1

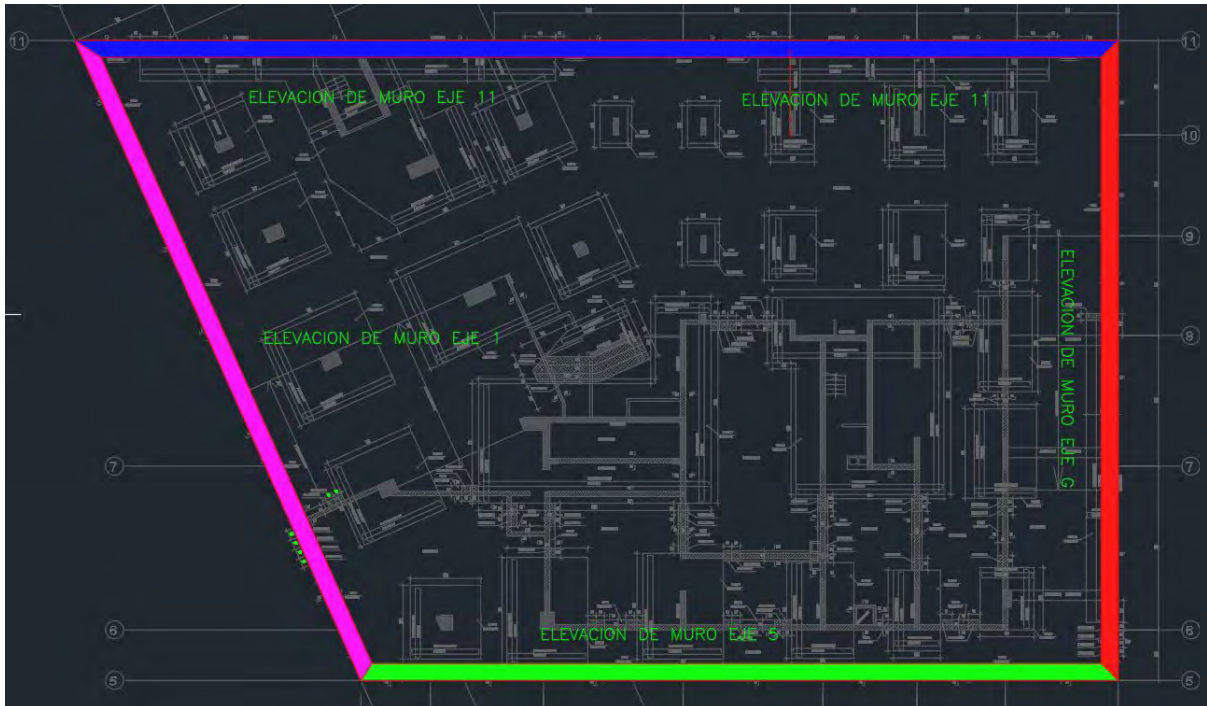


Figura 26. Plano en planta de elevación de anillos de muros anclados.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

3.1.2. Proyecto 2: Sistema convencional de muros anclados

El proyecto 2 (Figura 27) consta de 1 nivel de cisternas, 3 sótanos, 4 torres destinadas a viviendas de 21 pisos, 1 torre destinada a hotel de 17 pisos, 1 edificio destinado a uso comercial y cines de 2 pisos más azoteas en cada uno de los edificios mencionados. Con respecto a los muros anclados, por la magnitud del proyecto que abarca más de 15000 m² de área de terreno y para la comparación con el otro proyecto anterior mencionado, solo se consideraran los muros anclados correspondientes a la torre 1 y torre 4 (Figura 28) donde se consideraran los 3 anillos como se puede observar en la Figura 29. A continuación, se muestra un resumen de características generales del proyecto:

- Área total del terreno: 15,035.96 m²
- Numero de sótanos: 3 sótanos y nivel de cisterna.
- Número de pisos: Torre 1 de 21 pisos y torre 4 de 17 pisos, ambos con azotea.

- Profundidad de excavación: 15.20 m
- Numero de anillos de muro anclado: 3 anillos



Figura 27. 3D de proyecto 2

Nota. Tomado de Autodesk Construction Cloud

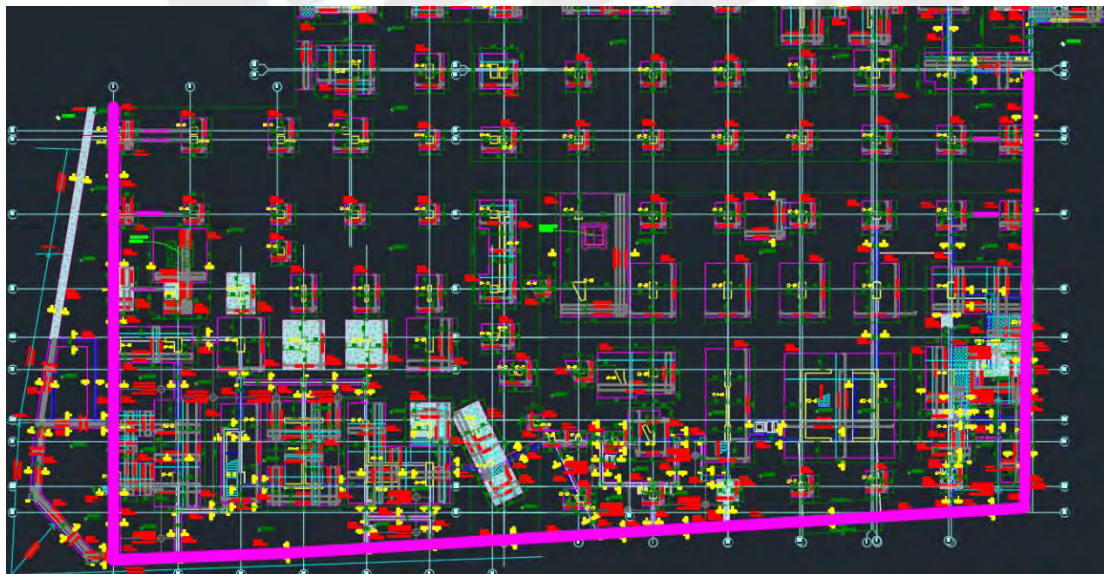


Figura 28. Plano en planta de cimentaciones y muros anclados de proyecto 2 Torres 1 y 4.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

la malla de acero instalada, se utilizó el modelo BIM (Figura 31) de la partida de muros anclados para tener volúmenes considerando un porcentaje de desperdicio.

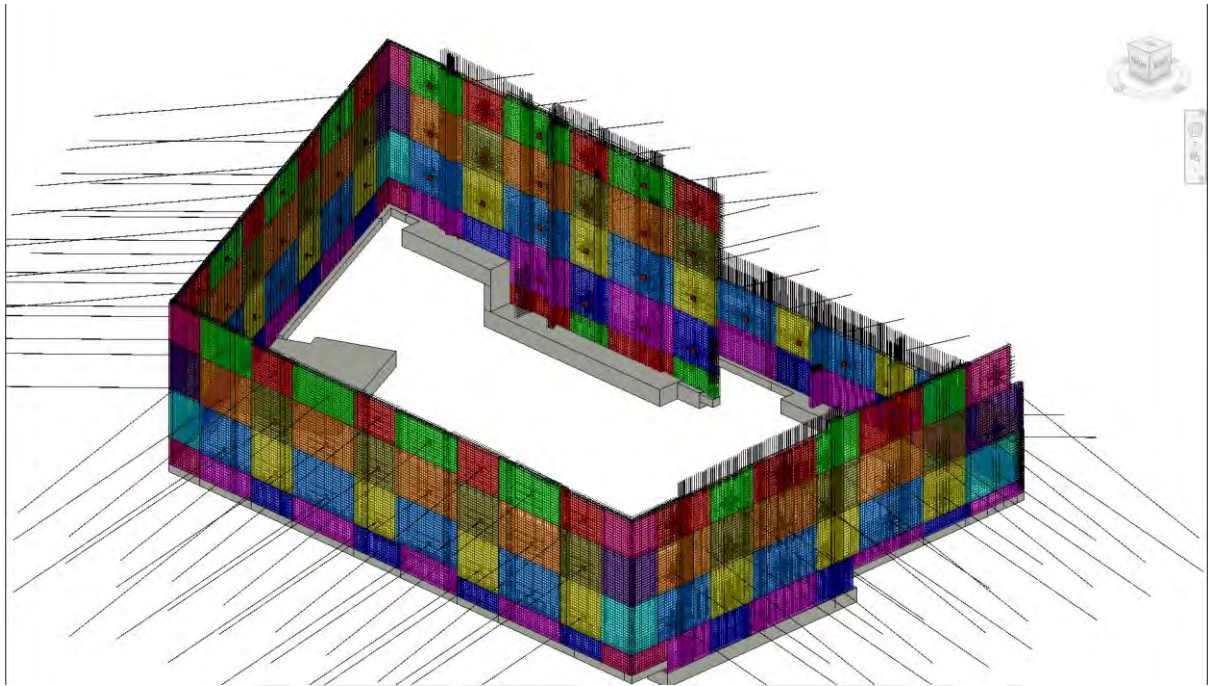


Figura 31. Modelo BIM de muros anclados proyecto 1

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

3.2.1. Medrado de partidas

A continuación, se presentan los metrados de las partidas de vaciado de concreto, colocación de encofrado y colocación de acero. Las siguientes tablas se presentan ordenadas por anillos, siendo los metrados del anillo 1 la Tabla 1, del anillo 2 la Tabla 2 y finalmente en la Tabla 3 se puede visualizar los metrados del tercer anillo. Cabe resaltar que, para la partida de encofrado del proyecto 1, se considera metro lineal debido a que solo se encofran los perímetros de los paños de los muros proyectados.

- Anillo 1

Tabla 1. Metrados de partidas de anillo 1 del proyecto 1

ETAPA			f'c (kg/cm ²)	Acero (kg)	Concreto (m ³)	Encofrado (m)
MUROS ANCLADOS	EJE	TIPO	RESISTENCIA			
SEMANA 4				1,587.95 kg	22.50 m³	55.9 m
Muro 1.30	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	356.88	5.00	13.80
Muro 1.32	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	399.11	5.00	14.10
Muro 1.02	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	464.17	7.50	14.30
Muro 1.34	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	367.79	5.00	13.74
SEMANA 5				7,577.89 kg	61.00 m³	162.1 m
Muro 1.06	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	560.40	5.50	13.80
Muro 1.14	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	486.12	5.00	14.10
Muro 1.04	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	840.91	6.00	13.50
Muro 1.20	1	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	358.71	4.50	13.06
Muro 1.28	A	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	401.35	4.00	13.64
Muro 1.16	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1321.58	6.50	15.28
Muro 1.01	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1993.71	7.50	16.10
Muro 1.31	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	448.90	6.50	18.02
Muro 1.33	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	443.02	6.50	18.06
Muro 1.24	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	350.81	4.50	13.50
Muro 1.26	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	372.38	4.50	13.00
SEMANA 6				7,633.53 kg	62.50 m³	150.1 m
Muro 1.03	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	3069.61	10.50	18.80
Muro 1.05	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1437.27	9.50	18.12
Muro 1.15	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	586.89	7.50	19.40
Muro 1.22	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	338.42	5.00	13.26
Muro 1.29	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	412.94	6.00	17.60
Muro 1.18	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	547.17	6.00	14.00
Muro 1.25	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	412.82	6.50	17.10
Muro 1.27	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	412.22	6.00	16.30
Muro E1	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	416.19	5.50	15.50
SEMANA 7				4,100.70 kg	47.00 m³	117.7 m
Muro 1.21	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	479.93	7.00	16.70
Muro 1.17	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	825.07	9.50	18.14
Muro 1.19	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1074.84	6.50	14.02
Muro E2	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	388.95	6.00	17.32
Muro 1.23	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	444.28	6.50	18.16
Muro E3	1	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	398.19	6.00	17.72
Muro 1.13	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	489.44	5.50	15.64

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

- Anillo 2

Tabla 2. Metrados de partidas de anillo 2 del proyecto 1

ETAPA			f'c (kg/cm ²)	Acero (kg)	Concreto (m ³)	Encofrado (m)
MUROS ANCLADOS	EJE	TIPO	RESISTENCIA			
SEMANA 9				5,533.63 kg	82.50 m³	170.3 m
Muro 2.23	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	499.81	11.00	19.16
Muro 2.28	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	508.01	9.00	15.58
Muro 2.30	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	431.48	7.50	15.48
Muro 2.26	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	407.65	6.00	14.88
Muro 2.32	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	466.32	7.50	15.60
Muro 2.14	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	450.05	5.50	14.20
Muro 2.16	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1081.14	7.50	15.40
Muro 2.18	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	544.15	8.00	15.40
Muro 2.20	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	382.94	6.00	14.20
Muro 2.24	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	391.18	7.50	15.36
Muro 2.22	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	370.90	7.00	15.00
SEMANA 10				8,087.94 kg	107.50 m³	209.4 m
Muro 2.04	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	724.83	8.00	15.58
Muro 2.06	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	589.10	6.50	15.48
Muro 2.29	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	488.62	9.00	19.16
Muro 2.15	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	605.79	9.00	19.46
Muro 2.13	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	748.46	8.00	16.50
Muro 2.02	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	442.81	8.50	15.00
Muro 2.34	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	399.64	7.50	15.60
Muro 2.17	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	729.35	12.00	19.32
Muro 2.19	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1075.56	9.00	17.40
Muro 2.27	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	424.90	7.00	16.60
Muro 2.05	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1370.80	14.00	19.70
Muro 2.31	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	488.08	9.00	19.60
SEMANA 11				6,310.31 kg	75.50 m³	148.5 m
Muro 2.25	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	463.06	9.00	18.20
Muro 2.21	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	483.33	9.00	19.00
Muro 2.03	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	2065.36	14.00	18.78
Muro E3	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	435.03	7.50	19.78
Muro 2.33	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	497.51	8.50	18.78
Muro 2.01	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1485.41	10.50	19.70
Muro E1	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	406.26	7.00	17.72
Muro E2	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	474.35	10.00	16.50

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

- Anillo 3

Tabla 3. Metrados de partidas de anillo 3 del proyecto 1

ETAPA			f'c (kg/cm ²)	Acero (kg)	Concreto (m ³)	Encofrado (m)
MUROS ANCLADOS	EJE	TIPO	RESISTENCIA			
SEMANA 13				2,041.22 kg	30.00 m³	52.0 m
Muro 3.29	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	510.95	8.50	13.30
Muro 3.30	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	486.00	7.00	13.30
Muro 3.26	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	513.50	6.50	12.70
Muro 3.27	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	530.77	8.00	12.70
SEMANA 14				7,351.43 kg	77.00 m³	143.7 m
Muro 3.34	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	506.78	7.00	14.35
Muro 3.33	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	627.29	10.00	14.35
Muro 3.08	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	697.98	5.00	13.94
Muro 3.10	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	2028.05	7.50	13.82
Muro 3.12	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	440.28	5.00	15.04
Muro 3.02	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	525.34	9.50	15.30
Muro 3.04	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	738.02	9.00	14.96
Muro 3.06	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	596.84	7.00	13.50
Muro 3.32	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	570.32	7.00	14.21
Muro 3.31	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	620.53	10.00	14.21
SEMANA 15				12,437.71 kg	121.50 m³	224.5 m
Muro 3.14	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	606.15	5.00	14.26
Muro 3.16	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1125.42	7.50	15.76
Muro 3.07	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	800.61	7.50	17.66
Muro 3.09	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1217.09	9.00	18.00
Muro 3.11	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1314.54	8.50	18.00
Muro 3.22	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	513.77	6.50	14.70
Muro 3.23	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	641.27	9.50	14.70
Muro 3.18	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	487.39	9.00	15.80
Muro 3.03	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	2107.73	13.00	20.52
Muro 3.05	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1404.20	14.00	20.10
Muro 3.24	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	487.39	6.50	14.30
Muro 3.25	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	618.96	9.50	14.30
Muro 3.20	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	486.00	6.50	13.20
Muro 3.21	1	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	627.19	9.50	13.20
SEMANA 16				7,198.44 kg	78.50 m³	142.1 m
Muro 3.01	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1588.15	6.50	13.20
Muro E1	7	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	517.50	8.00	13.20
Muro 3.28	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	613.61	8.00	13.70
Muro E2	A	UNIANCLADO	f'c 210 a 3 dias	568.31	9.50	13.70
Muro 3.15	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	727.54	9.50	19.90
Muro 3.13	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	649.19	8.50	19.30
Muro 3.19	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	1173.89	9.00	14.60
Muro E3	1	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	572.26	7.50	14.60
Muro 3.17	H	UNIANCLADO	f'c 280 a 3 dias	787.99	12.00	19.90

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1

Tabla 4. Resumen de metrado de partidas del proyecto 1

Anillo 1 1.13 - 1.19	H	UNIANCLADO	EJE H-H	5,331.11	46.50	110.58
Anillo 1 E1 - 1.06	7	UNIANCLADO	EJE 7-7	8,782.26	52.00	110.12
Anillo 1 1.27 - E3	1	UNIANCLADO	HUASCAR	3,567.76	50.50	138.80
Anillo 1 E2 - 1.34	A	UNIANCLADO	SAN FELIPE	3,218.94	44.00	126.28
Anillo 2 2.13 - 2.19	H	UNIANCLADO	EJE H-H	5,234.50	59.00	117.68
Anillo 2 E1 - 2.06	7	UNIANCLADO	EJE 7-7	7,084.57	68.50	121.96
Anillo 2 2.27 - E3	1	UNIANCLADO	HUASCAR	3,858.80	70.00	152.18
Anillo 2 E2 - 2.34	A	UNIANCLADO	SAN FELIPE	3,754.01	68.00	136.30
Anillo 3 3.13 - 3.19	H	UNIANCLADO	EJE H-H	5,557.57	60.50	119.52
Anillo 3 E1 - 3.12	7	UNIANCLADO	EJE 7-7	13,976.33	109.50	207.24
Anillo 3 3.27 - E3	1	UNIANCLADO	HUASCAR	4,991.11	70.00	124.40
Anillo 3 E2 - 3.34	A	UNIANCLADO	SAN FELIPE	4,503.79	67.00	111.12
			TOTALES	69,860.75 kg	765.50 m3	1,576.18 m

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1

3.2.2. Horas hombre utilizados durante la etapa de muros anclados

Se presenta detalle de las horas hombre utilizadas en las partidas de concreto, acero y encofrado agrupado por semana.

Tabla 5: HH semanales utilizadas en concreto, encofrado y acero obra 1

SEMANA	AÑO	ETAPA	PARTIDA	HH SEMANALES	HH ACUM
SEM 4	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	133	133
SEM 5	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	150	282
SEM 6	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	85	367
SEM 7	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	108	475
SEM 9	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	141	615
SEM 10	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	60	675
SEM 11	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	77	751
SEM 13	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	77	828
SEM 14	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	187	1,014
SEM 15	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	144	1,158
SEM 16	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	144	1,302
SEM 17	2022	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	119	1,421
SEM 4	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	379	379
SEM 5	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	460	838
SEM 6	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	306	1,144
SEM 7	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	331	1,475
SEM 9	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	501	1,976
SEM 10	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	521	2,497
SEM 11	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	483	2,980

SEM 13	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	362	3,342
SEM 14	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	450	3,791
SEM 15	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	597	4,388
SEM 16	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	609	4,997
SEM 17	2022	MURO ANCLADO	CONCRETO	526	5,522
SEM 4	2022	MURO ANCLADO	ACERO	370	370
SEM 5	2022	MURO ANCLADO	ACERO	260	629
SEM 6	2022	MURO ANCLADO	ACERO	179	808
SEM 7	2022	MURO ANCLADO	ACERO	336	1,144
SEM 9	2022	MURO ANCLADO	ACERO	655	1,799
SEM 10	2022	MURO ANCLADO	ACERO	362	2,160
SEM 11	2022	MURO ANCLADO	ACERO	277	2,437
SEM 13	2022	MURO ANCLADO	ACERO	576	3,013
SEM 14	2022	MURO ANCLADO	ACERO	328	3,340
SEM 15	2022	MURO ANCLADO	ACERO	336	3,676
SEM 16	2022	MURO ANCLADO	ACERO	336	4,012
SEM 17	2022	MURO ANCLADO	ACERO	277	4,289

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

3.2.3. Tiempo de ejecución de los muros anclados

Para medir el tiempo total que tomó la ejecución de los muros anclados se consideró desde la excavación del terreno hasta el vaciado del último anillo. En la Figura 32 se pueden observar los días que se necesitaron para completar toda la partida y cada anillo; además, se consideró una excavación constate durante toda la fase. Finalmente, toda la partida de muros constó de 98 días y, considerando semana de 6 días laborales, serian aproximadamente 16 semanas.

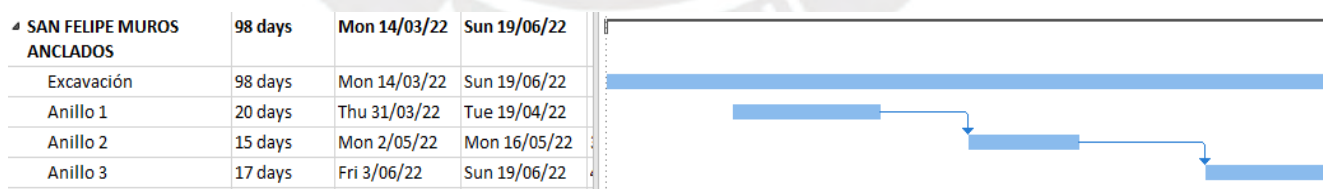


Figura 32. Diagrama de Gantt de muros anclados del proyecto 1

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

3.2.4. Excavación Masiva

Se presenta el resumen de movimiento de tierras del proyecto 1, en el cual se muestra la cantidad de metros cúbicos eliminados por semana en banco, así como el total de viajes realizados durante la semana.

Tabla 6: Movimiento de Tierras Proyecto 1

SEMANA	Vol Banco (m3)	Acum. Vol (m3)	Cant Volq.
SEM 1	2,191.20	2,191.20	129.00
SEM 2	1,937.60	4,128.80	120.00
SEM 3	107.20	4,236.00	7.00
SEM 4	1,439.52	5,675.52	84.00
SEM 5	788.00	6,463.52	48.00
SEM 6	1,324.00	7,787.52	85.00
SEM 7	2,291.20	10,078.72	143.00
SEM 8	662.40	10,741.12	40.00
SEM 9	1,148.80	11,889.92	71.00
SEM 10	1,225.60	13,115.52	68.00
SEM 11	2,234.40	15,349.92	124.00
SEM 12	1,262.40	16,612.32	75.00
SEM 13	2,011.20	18,623.52	115.00
SEM 14	2,338.00	20,961.52	146.00
SEM 15	2,091.20	23,052.72	117.00
SEM 16	1,899.20	24,951.92	106.00
SEM 17	1,749.60	26,701.52	103.00
SEM 18	2,104.80	28,806.32	124.00
SEM 19	412.80	29,219.12	26.00
SEM 20	230.40	29,449.52	16.00
SEM 21	220.80	29,670.32	14.00
SEM 22	217.60	29,887.92	12.00
Total	29,887.92		1,773.00

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

4.2.5 Costo semanal y por anillo de muros anclados

En cuanto al costo del procedimiento constructivo utilizado en la Tabla 8 se detallan los costos por semana divididos en mano de obra, material y subcontrato los cuales engloban las partidas de concreto, encofrado y acero. En el caso de la mano de obra están considerados todas las horas hombre utilizadas por casa para la apertura de paños, perfilado, habilitado de acero, colocación de postes y albañilería luego del vaciado para dar acabado. En el caso de subcontrato se considera el costo de bombeo, el metro cubico de concreto y la mano de obra para el lanzado de concreto. Finalmente, para el material se considera el gasto total de acero en obra. Cabe resaltar, que para el precio de hora hombre, se considera un promedio de s/.21.50 para ambos proyectos, este valor se obtuvo de un promedio de los análisis de precios unitarios. Con esta información se obtienen el costo total semanal y el costo total de toda la partida de muros anclados.

Tabla 7: Costo semanal de Muros Proyectados

SEMANA	m3	MO	SC	MAT	COSTO TOTAL
SEM 3	0.0	5,880.3			5,880.3
SEM 4	22.5	17,114.0	14,287.5	5,129.1	36,530.6
SEM 5	61.0	18,672.8	38,735.0	24,476.6	81,884.3
SEM 6	62.5	12,244.3	39,687.5	24,656.3	76,588.1
SEM 7	47.0	16,651.8	29,845.0	13,245.3	59,742.0
SEM 8	0.0	11,395.0			11,395.0
SEM 9	82.5	20,468.0	52,387.5	17,873.6	90,729.1
SEM 10	107.5	20,500.3	68,262.5	26,124.0	114,886.8
SEM 11	75.5	17,974.0	47,942.5	20,382.3	86,298.8
SEM 12	0.0	10,621.0			10,621.0
SEM 13	30.0	15,920.8	19,050.0	6,593.1	41,563.9
SEM 14	77.0	20,715.3	48,895.0	23,745.1	93,355.4
SEM 15	121.5	23,144.8	77,152.5	40,173.8	140,471.1
SEM 16	78.5	22,704.0	49,847.5	23,251.0	95,802.5
Total	765.5 m3	S/ 234,006.00	S/ 486,092.50	S/ 225,650.22	S/ 945,748.72

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

Por otro lado, utilizando los mismos parámetros de costo (mano de obra, subcontrato y material) se obtuvieron los siguientes costos totales por anillo ejecutado.

Tabla 8: Costo por anillo muro proyectado

ANILLO	MO	SC	MAT	COSTO TOTAL
Anillo 1	70,563.0	122,555.0	67,507.2	260,625.2
Anillo 2	70,337.3	168,592.5	64,380.0	303,309.7
Anillo 3	93,105.8	194,945.0	93,763.0	381,813.8
Total	S/ 234,006.00	S/ 486,092.50	S/ 225,650.22	S/ 945,748.72

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

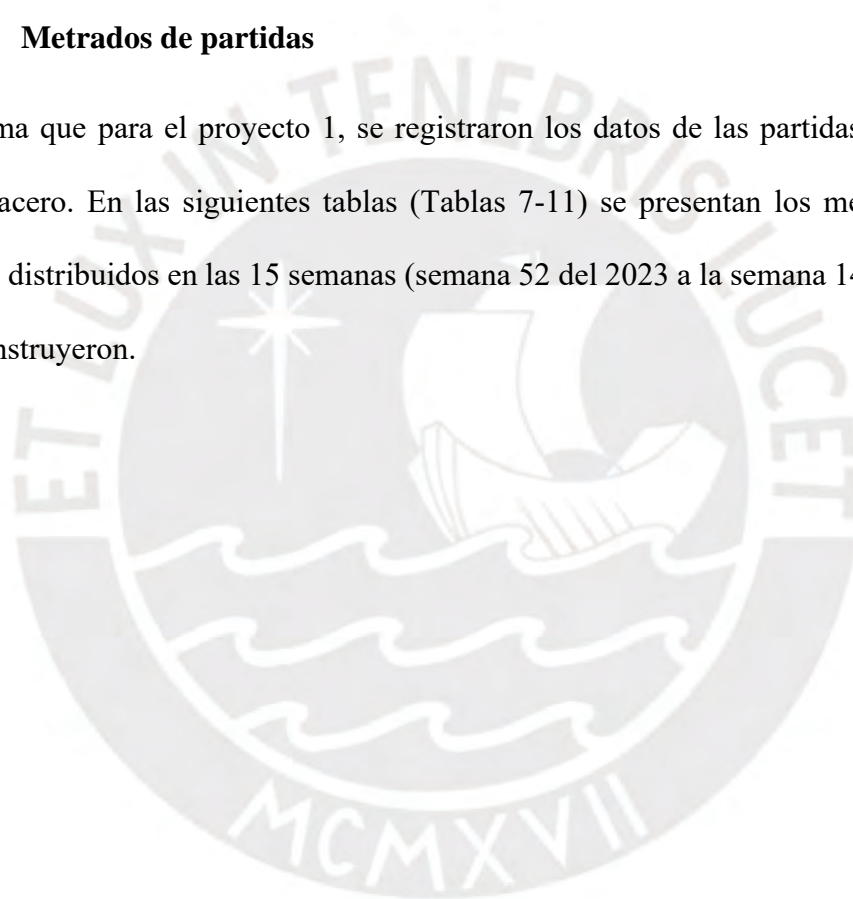
3.3. Datos del proyecto 2

De igual forma, para el proyecto 2 las mediciones se realizaron en campo considerando los datos a cuantificar de las partidas de excavación, acero colocado, encofrado y vaciado de concreto.

Asimismo, se siguió el tren de trabajo establecido para la partida de muros anclados para que no se genere un cuello de botella durante la ejecución de los muros, dándole suficiente tiempo a la excavación, acero y encofrado para que puedan completarse con normalidad. Un día antes del vaciado, tenía que estar listo al menos el acero colocado según el detalle del muro. Después del vaciado, se consideró el perfilado y picado de cachimbas de los muros dentro de las horas hombre de la partida.

3.3.1. Metrados de partidas

De igual forma que para el proyecto 1, se registraron los datos de las partidas de concreto, encofrado y acero. En las siguientes tablas (Tablas 7-11) se presentan los metrados de los anillos 1 al 4, distribuidos en las 15 semanas (semana 52 del 2023 a la semana 14 del 2024) en las que se construyeron.



- Semana 52-2023 a semana 02-2024:

Tabla 9. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 52-2)

ETAPA 1 SOTANOS			fc (kg/cm ²)	Acero (kg)	Concreto (m ³)	Encofrado (m ²)
MUROS ANCLADOS	Torre	TIPO	RESISTENCIA			
SEMANA 52 - 23				2,000.16 kg	19.00 m³	53.3 m²
Muro 1.05	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	258.41	5.00	16.65
Muro 1.07	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	298.10	5.00	17.54
Muro 1.09	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	784.13	3.00	10.80
Muro 1.11	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	659.51	6.00	8.28
SEMANA 1 - 24				5,711.16 kg	53.50 m³	137.2 m²
Muro 1.13	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1117.80	6.50	13.13
Muro 1.16	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	271.40	5.00	14.40
Muro 1.18	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	271.40	5.00	14.40
Muro 1.20	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	271.40	4.50	14.40
Muro 1.22	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	271.40	5.00	14.40
Muro 1.24	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	260.20	4.50	11.54
Muro 1.06	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	340.59	6.50	18.24
Muro 1.08	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	2635.57	12.00	23.12
Muro 1.14	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	271.40	4.50	13.60
SEMANA 2 - 24				5,846.05 kg	83.00 m³	217.3 m²
Muro 1.12	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	816.35	8.00	22.02
Muro 1.17	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	346.04	6.00	18.14
Muro 1.19	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	347.94	6.00	17.75
Muro 1.21	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	346.04	7.00	18.15
Muro 1.23	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	364.04	7.50	18.15
Muro 1.10	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1123.14	12.00	23.20
Muro 1.15	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	332.60	6.00	19.20
Muro 1.13	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	259.58	5.00	13.31
Muro 1.26	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	256.09	4.50	11.20
Muro 1.28	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	261.36	4.50	11.20
Muro 1.30	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	265.96	4.00	11.20
Muro 1.04	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	780.97	9.50	11.20
Muro 1.32	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	345.94	3.00	22.61

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

- Semana 03-2024 a semana 04-2024:

Tabla 10. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 3-4)

ETAPA 1 SOTANOS			fc (kg/cm ²)	Acero (kg)	Concreto (m ³)	Encofrado (m ²)
MUROS ANCLADOS	Torre	TIPO	RESISTENCIA			
SEMANA 3 - 24				3,575.88 kg	52.00 m³	146.4 m²
Muro 1.36	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	393.76	4.00	10.80
Muro 1.38	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	296.27	5.00	15.58
Muro 1.40	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	301.87	4.50	10.72
Muro 1.25	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	378.63	6.00	13.46
Muro 1.27	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	367.28	6.00	16.80
Muro 1.29	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	350.42	5.00	16.80
Muro 1.31	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	353.39	5.00	16.80
Muro 1.34	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	346.00	4.50	13.04
Muro 1.37	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	381.11	6.00	16.20
Muro 1.39	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	407.15	6.00	16.20
SEMANA 4 - 24				6,825.78 kg	95.00 m³	228.2 m²
Muro 2.18	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	295.90	5.40	14.80
Muro 2.20	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	419.04	5.90	14.80
Muro 1.41	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	322.59	5.70	13.50
Muro 2.16	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	295.90	7.00	13.32
Muro 2.22	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	400.93	6.50	14.80
Muro 1.35.1	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	292.00	5.50	15.50
Muro 1.33	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	365.94	5.00	15.60
Muro 2.11	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1912.43	5.00	9.74
Muro 2.13	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	190.44	2.00	4.46
Muro 2.17	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	410.87	9.40	22.20
Muro 2.19	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	410.87	9.30	22.20
Muro 2.21	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	562.23	9.30	22.20
Muro 1.35.2	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	238.91	4.50	10.67
Muro 2.15	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	331.18	7.50	15.91
Muro 2.23	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	376.56	7.00	18.50

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

- Semana 05:

Tabla 11. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 5)

ETAPA 1 SOTANOS			fc (kg/cm ²)	Acero (kg)	Concreto (m ³)	Encofrado (m ²)
MUROS ANCLADOS	Torre	TIPO	RESISTENCIA			
SEMANA 5 - 24				7,871.74 kg	130.00 m³	280.5 m²
Muro 2.05	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	725.51	7.50	18.75
Muro 2.07	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	709.77	8.50	17.78
Muro 2.09	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	778.76	7.50	16.73
Muro 2.26	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	295.90	6.50	14.80
Muro 2.28	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	354.12	6.25	15.91
Muro 2.30	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	354.12	6.25	14.80
Muro 2.32	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	331.72	6.50	14.80
Muro 2.24	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	358.62	7.50	18.83
Muro 1.42	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	325.30	5.00	10.80
Muro 1.43	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	325.30	7.00	16.20
Muro 1.44	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	325.30	4.00	13.50
Cimentación 3.16	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	56.36	3.00	4.40
Cimentación 3.17	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	56.36	3.00	6.60
Cimentación 3.20	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	122.76	4.50	4.65
Cimentación 3.21	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	122.76	5.00	9.00
Muro 2.12	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	353.64	5.00	9.74
Cimentación 2.13	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	37.42	2.50	3.89
Muro 2.06	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	516.55	9.00	21.38
Muro 2.13.2	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	37.42	2.50	3.66
Muro 3.16	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	56.36	5.50	4.00
Muro 3.17	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	56.36	2.50	4.80
Muro 2.08	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	503.38	7.00	12.14
Muro 2.10	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1067.96	8.00	23.33

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

- Semana 06-2024 a semana 08-2024:

Tabla 12. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 6-8)

ETAPA 1 SOTANOS			fc (kg/cm ²)	Acero (kg)	Concreto (m ³)	Encofrado (m ²)
MUROS ANCLADOS	Torre	TIPO	RESISTENCIA			
SEMANA 6 - 24				4,737.23 kg	89.00 m³	176.8 m²
Muro 2.25	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	395.63	9.50	22.20
Cimentación 3.15	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	47.82	2.50	2.63
Cimentación 3.18	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	95.76	2.00	2.40
Cimentación 3.19	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	95.76	3.50	3.60
Cimentación 3.20	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	0.00	0.50	0.50
Cimentación 3.22	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	129.82	3.50	4.00
Cimentación 3.23	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	129.82	1.50	1.60
Muro 3.15	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	47.82	3.50	5.86
Muro 3.18	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	92.18	3.00	3.08
Muro 3.19	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	92.18	3.00	3.90
Muro 3.23	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	120.22	1.33	3.90
Muro 3.24	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	51.76	1.33	2.60
Muro 3.25	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	51.76	1.33	3.90
Cimentación 3.23	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	0.00	1.50	2.65
Cimentación 3.24	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	0.00	3.50	2.40
Cimentación 3.25	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	0.00	2.00	3.60
Muro 2.27	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	442.01	10.00	21.09
Muro 2.29	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	421.74	11.00	22.50
Muro 2.31	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	433.42	11.00	22.50
Muro 2.42	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1106.31	7.00	24.07
Muro 2.44	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	983.23	6.50	17.85
SEMANA 7 - 24				5,170.67 kg	63.00 m³	119.4 m²
Muro 2.36	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	463.86	6.50	15.91
Muro 2.38	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1067.16	9.75	27.01
Muro 2.40	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1542.17	9.75	17.92
Muro 1.03	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	527.46	5.00	10.50
Muro 3.07	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	416.65	9.50	15.33
Muro 3.09	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	583.53	9.50	14.35
Muro 2.43	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	569.84	13.00	18.40
SEMANA 8 - 24				4,618.05 kg	111.50 m³	133.4 m²
Muro 2.33	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	597.22	12.00	28.75
Muro 2.37	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	1649.35	13.50	27.01
Muro 2.39	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	556.88	9.00	22.20
Muro 2.41	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	1195.04	12.50	23.36
Muro 2.04	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	339.27	8.50	12.21
Muro 3.08	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	280.29	10.00	19.84

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

- Semana 09-2024 a semana 14-2024:

Tabla 13. Metrados de partidas de muro anclado del proyecto 2 (Semana 9-14)

ETAPA 1 SOTANOS			fc (kg/cm ²)	Acero (kg)	Concreto (m ³)	Encofrado (m ²)
MUROS ANCLADOS	Torre	TIPO	RESISTENCIA			
SEMANA 9 - 24				7,098.47 kg	90.50 m³	190.5 m²
Muro 2.03	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	423.88	5.50	12.21
Muro 3.06	T1	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	499.46	9.00	20.71
Muro 3.30	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	429.60	7.50	14.80
Muro 3.32	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	429.60	7.50	14.80
Muro 3.36	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	570.86	8.50	15.91
Muro 3.38	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	937.18	9.00	19.61
Muro 3.40	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1130.33	7.00	20.72
Muro 3.42	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	682.90	10.00	19.16
Muro 3.28	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	429.60	8.50	15.91
SEMANA 10 - 24				24,150.41 kg	276.50 m³	306.6 m²
Muro 3.05	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	278.91	8.00	22.26
Muro 3.39	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	687.59	11.00	22.20
Muro 3.41	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	723.47	11.00	23.36
Muro 3.43	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	335.26	6.50	16.32
Muro 3.31	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	370.58	9.00	22.50
Muro 3.33	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	579.51	8.50	19.64
Muro 3.35E	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	278.91	3.00	8.88
Muro 3.37	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1367.05	12.50	27.01
Muro 3.04	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	406.74	11.00	24.36
Muro 3.27	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	479.46	9.00	21.38
Muro 3.29	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	406.08	9.50	22.50
Muro 3.44	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	511.72	6.50	13.44
SEMANA 11 - 24				14,771.23 kg	242.50 m³	282.1 m²
Muro 3.10	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	1313.92	11.00	19.92
Muro 4.39	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	948.43	9.00	21.78
Muro 4.32	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	460.08	10.00	16.60
SEMANA 12 - 24				18,794.69 kg	257.50 m³	355.6 m²
Muro 4.37	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	431.99	7.50	12.21
Muro 4.38	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	431.99	8.00	12.21
Muro 4.29	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	431.99	9.00	22.00
Muro 4.30	T4	CONVENCIONAL	fc 420 a 3 días	431.99	9.50	22.00
SEMANA 13 - 24				22,697.38 kg	238.00 m³	312.5 m²
Muro 4.37	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	2053.88	5.38	31.70
Muro 4.35E	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	630.68	5.38	9.96
Muro 4.36	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	630.68	5.38	14.19
Muro 4.33	T4	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	462.70	5.38	33.20
SEMANA 14 - 24				12,315.78 kg	111.00 m³	265.0 m²
Muro 3.11	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	996.66	12.00	18.45
Muro 3.10	T1	CONVENCIONAL	fc 500 a 3 días	0.00	1.50	1.92

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

3.3.2. Horas hombre utilizados durante la etapa de muros anclados

De igual manera que para el caso del proyecto 1, se obtuvieron los índices de productividad (ISP), los índices acumulados y meta de cada partida ordenados por semanas. A continuación, se presenta la tabla de resultado. Además, se presentan las horas hombre de cada semana relacionado con su partida en específico.

Tabla 14. HH de muros anclados de proyecto 2.

SEMANA	AÑO	ETAPA	PARTIDA	HH SEMANALES	HH ACUM
SEM 52	2023	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	246	246
SEM 1	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	243	488
SEM 2	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	370	858
SEM 3	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	480	1,338
SEM 4	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	455	1,793
SEM 5	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	461	2,253
SEM 6	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	385	2,638
SEM 7	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	364	3,002
SEM 8	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	277	3,278
SEM 9	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	238	3,516
SEM 10	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	336	3,852
SEM 11	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	160	4,012
SEM 12	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	124	4,135
SEM 13	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	51	4,186
SEM 14	2024	MURO ANCLADO	ENCOFRADO	60	4,246
SEM 52	2023	MURO ANCLADO	CONCRETO	119	119
SEM 1	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	150	268
SEM 2	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	302	570
SEM 3	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	328	898
SEM 4	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	545	1,443
SEM 5	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	492	1,934
SEM 6	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	432	2,366
SEM 7	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	297	2,663
SEM 8	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	272	2,935
SEM 9	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	306	3,241
SEM 10	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	472	3,712
SEM 11	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	169	3,881
SEM 12	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	243	4,124
SEM 13	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	43	4,166
SEM 14	2024	MURO ANCLADO	CONCRETO	161	4,327
SEM 52	2023	MURO ANCLADO	ACERO	178	178
SEM 1	2024	MURO ANCLADO	ACERO	178	356
SEM 2	2024	MURO ANCLADO	ACERO	178	534
SEM 3	2024	MURO ANCLADO	ACERO	209	743
SEM 4	2024	MURO ANCLADO	ACERO	240	983
SEM 5	2024	MURO ANCLADO	ACERO	274	1,257
SEM 6	2024	MURO ANCLADO	ACERO	288	1,545
SEM 7	2024	MURO ANCLADO	ACERO	280	1,825
SEM 8	2024	MURO ANCLADO	ACERO	229	2,053
SEM 9	2024	MURO ANCLADO	ACERO	288	2,341
SEM 10	2024	MURO ANCLADO	ACERO	249	2,590
SEM 11	2024	MURO ANCLADO	ACERO	288	2,878
SEM 12	2024	MURO ANCLADO	ACERO	280	3,157
SEM 13	2024	MURO ANCLADO	ACERO	85	3,242
SEM 14	2024	MURO ANCLADO	ACERO	171	2,760

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

3.3.3. Tiempo de ejecución de muros anclados

Para el proyecto 2, se consideró de igual forma que para el proyecto 1, una excavación constante para los muros. En la Figura 33 se presenta el cronograma de la partida de muros anclados del proyecto, teniendo que la ejecución de los muros tomó aproximadamente 83 días laborales.

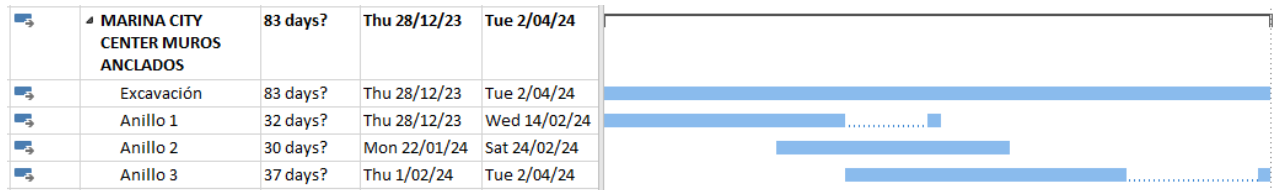


Figura 33. Cronograma de muros anclados de proyecto 2

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2

3.3.4. Excavación masiva

En la Tabla 16 se muestra la relación de movimiento de tierras semanal que comprende las torres 1 y 4 del proyecto 2. Asimismo, se observan la cantidad de volquetes por semana.

Tabla 15. Volumen de eliminación de tierras por semana de proyecto 2

SEMANA	Vol Banco (m3)	Acum. Vol (m3)	Cant Volq. (und.)
SEM 49	166	166	12
SEM 50	6,406	6,572	409
SEM 51	4,235	10,808	279
SEM 52	568	11,375	41
SEM 1	388	11,763	28
SEM 2	678	12,442	49
SEM 3	3,868	16,310	256
SEM 4	5,741	22,051	370
SEM 5	6,093	28,144	394
SEM 6	5,983	34,127	376
SEM 7	5,626	39,753	379
SEM 8	5,338	45,092	363
SEM 9	7,032	52,124	484
SEM 10	5,016	57,140	346
SEM 11	2,565	59,705	164
SEM 12	2,854	62,559	192
SEM 13	565	63,125	43
SEM 14	799	63,924	60
SEM 15	778	64,702	60
SEM 16	129	64,831	11
SEM 17	208	65,038	17
SEM 18	708	65,746	55
SEM 19	1,062	66,808	82
SEM 20	526	67,335	39
SEM 21	563	67,898	46
SEM 22	69	67,967	6
SEM 23	179	68,146	11
SEM 24	152	68,298	11
SEM 25	0	68,298	0
SEM 26	622	68,921	43
SEM 27	1,183	70,104	80
SEM 28	1,056	71,160	72
SEM 29	1,122	72,282	81
SEM 30	1,023 m3	73,305	70
SEM 31	1,111 m3	74,415	74

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

3.3.5. Costos de encofrado, concreto y acero para los muros anclados

En cuanto al costo de las partidas involucradas en el proceso constructivo de los muros anclados en la Tabla 16 se muestran los costos semanales de la mano de obra, subcontratista y materiales, en los cuales se consideran las partidas de concreto, encofrado y acero, y en la Tabla 17 se muestran los costos por anillo. Para la mano de obra se toman en cuenta todas las horas hombre de las 3 partidas involucradas, desde el habilitado de acero y encofrado hasta el vaciado de muros y perfilado. En el caso de subcontrato, están considerados el costo del alquiler de encofrado y el costo de bombeo de concreto. Por último, con respecto a los materiales, se toman en cuenta los costos de consumibles de encofrado, el costo del kilo de acero y el metro cúbico de concreto. De igual manera que para el proyecto 1, se considera un promedio de s/.21.50 para

las horas hombre. Con esta información, se obtiene el costo por semana y el costo total de los muros anclados del proyecto.

Tabla 16. Costos de materiales, contrata, mano de obra y totales por semana.

SEMANA	MO	SC	MAT	COSTO TOTAL
SEM 52	S/ 11,653.00	S/ 1,216.86	S/ 13,276.60	S/ 26,146.46
SEM 1	S/ 12,255.00	S/ 3,307.74	S/ 37,563.86	S/ 53,126.60
SEM 2	S/ 18,264.25	S/ 5,172.96	S/ 48,686.49	S/ 72,123.70
SEM 3	S/ 21,854.75	S/ 3,336.03	S/ 30,284.06	S/ 55,474.83
SEM 4	S/ 26,660.00	S/ 5,730.04	S/ 56,037.73	S/ 88,427.77
SEM 5	S/ 26,359.00	S/ 7,545.53	S/ 71,816.70	S/ 105,721.23
SEM 6	S/ 23,746.75	S/ 5,024.63	S/ 47,000.85	S/ 75,772.23
SEM 7	S/ 20,210.00	S/ 3,503.45	S/ 39,034.96	S/ 62,748.41
SEM 8	S/ 16,705.50	S/ 3,728.04	S/ 38,218.97	S/ 58,652.51
SEM 9	S/ 17,877.25	S/ 4,447.37	S/ 45,530.87	S/ 67,855.49
SEM 10	S/ 22,704.00	S/ 6,274.32	S/ 58,492.62	S/ 87,470.94
SEM 11	S/ 13,254.75	S/ 3,696.11	S/ 37,283.99	S/ 54,234.86
SEM 12	S/ 13,889.00	S/ 2,694.95	S/ 23,349.09	S/ 39,933.03
SEM 13	S/ 3,837.75	S/ 1,644.27	S/ 20,018.82	S/ 25,500.85
SEM 14	S/ 8,406.50	S/ 839.37	S/ 9,034.92	S/ 18,280.79
Total	S/257,677.50	S/58,161.66	S/575,630.53	S/891,469.69

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

Tabla 17. Costos de materiales, contrata, mano de obra y totales por anillo.

ANILLOS	MO	SC	MAT	COSTO TOTAL
Anillo 1	S/ 64,027.00	S/ 13,033.59	S/ 129,811.00	S/ 206,871.59
Anillo 2	S/ 96,975.75	S/ 21,803.64	S/ 213,890.25	S/ 332,669.64
Anillo 3	S/ 96,674.75	S/ 23,324.43	S/ 231,929.29	S/ 351,928.46
Total	S/ 257,677.50	S/ 58,161.66	S/ 575,630.53	S/ 891,469.69

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Comparación de líneas balance de proyectos

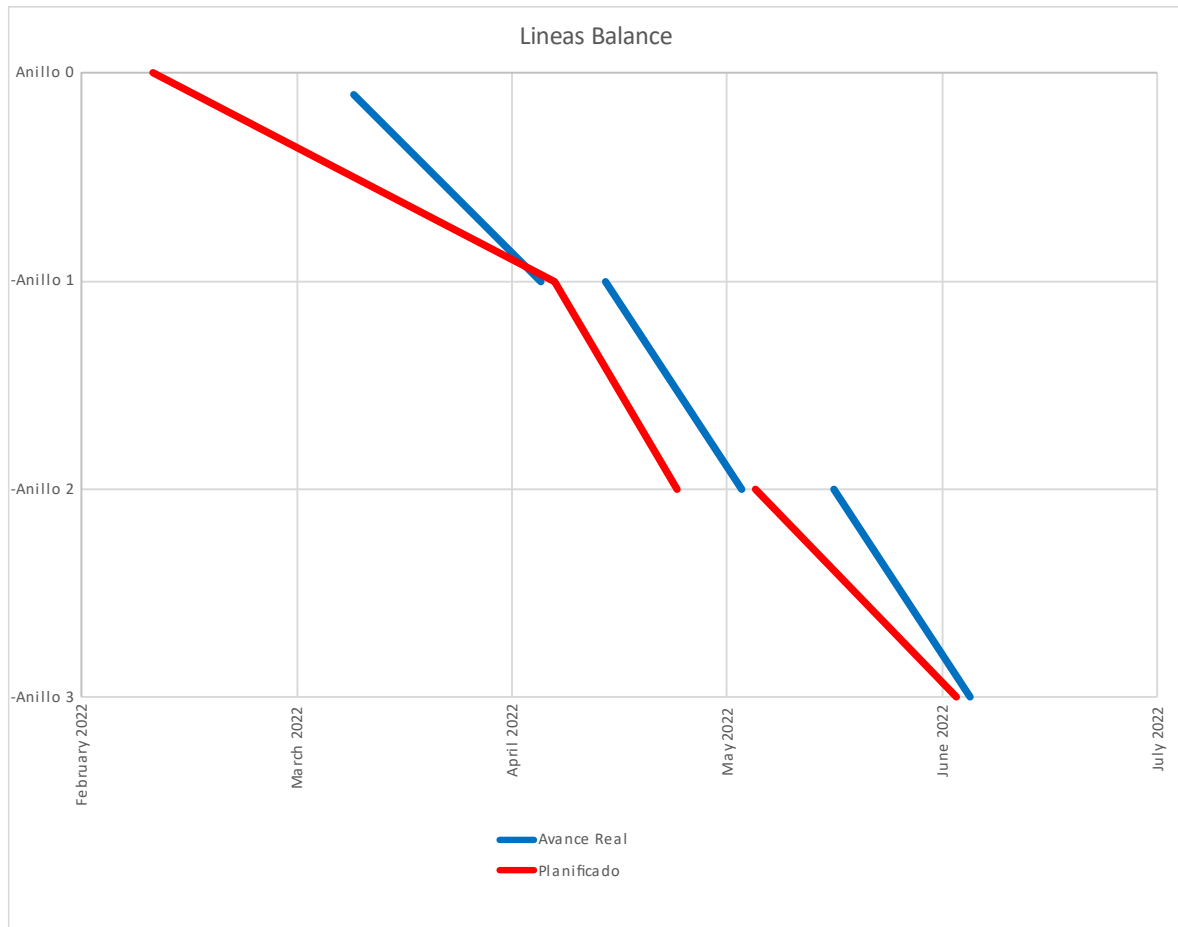


Gráfico 1. Líneas balance de proyecto 1 muro proyectado

Nota. Tomado de Inmobiliaria 1.

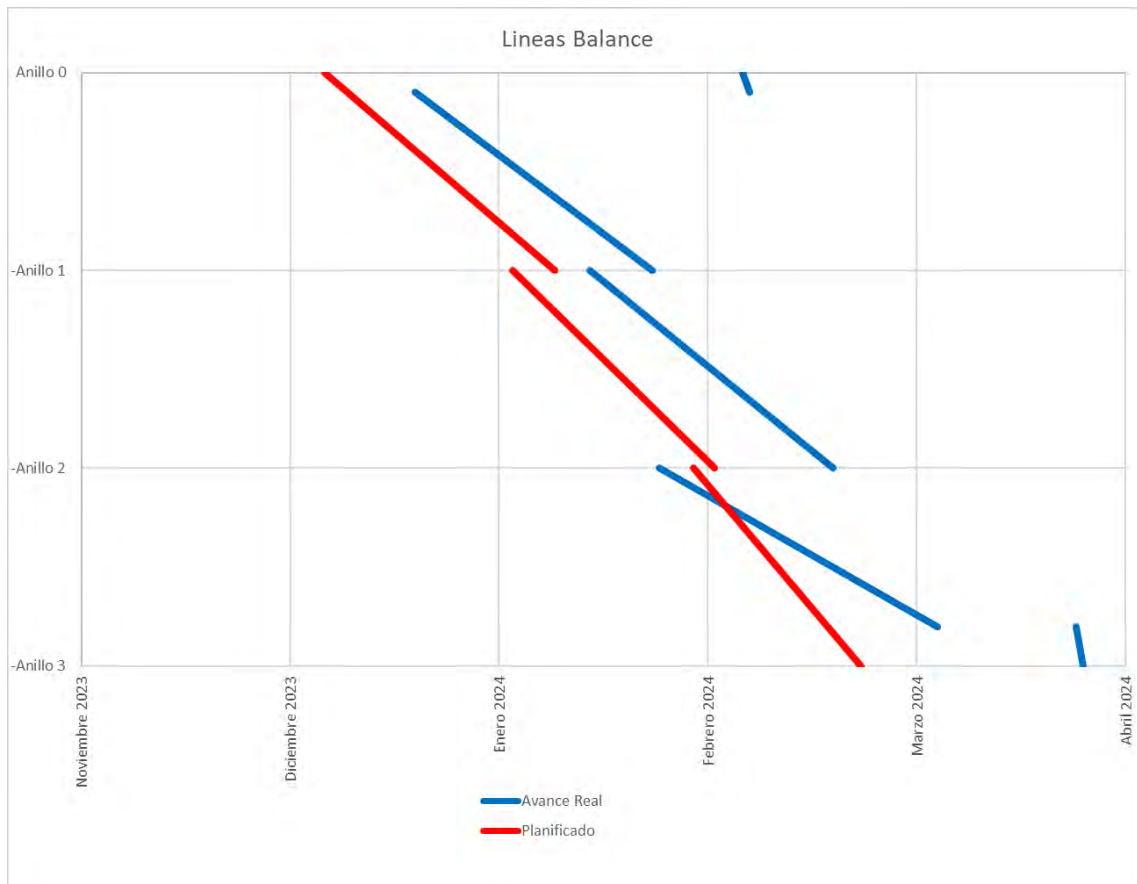


Gráfico 2. Líneas balance de proyecto 2 muro anclado.

Nota. Tomado de Inmobiliaria 2.

El gráfico de líneas balance permite visualizar y comparar los avances reales con los hitos planificados previamente. En este caso en ambos proyectos cada línea representa el inicio y culminación de un anillo. Para el caso del proyecto 1 muro proyectado (Gráfico 1), se observa que en los tres anillos las líneas balance del avance real son paralelas, esto se debe a que durante la ejecución de la partida se tuvo un control de restricciones donde las principales fueron la eliminación de material y el tensado de los muros. En cuanto a la eliminación del material ya no era necesario quedarse con material para colocarlo como apoyo para el encofrado del muro, por lo que cada banqueta que se retiraba pasaba directamente a ser eliminada, Por otro lado, el tipo de mezcla utilizada en este procedimiento permitió acelerar el tensado de los muros a dos días de su vaciado, en consecuencia, se podía acelerar con la apertura de paños colindantes con los ya vaciados previamente. Con respecto al último anillo hubo un retraso en la culminación

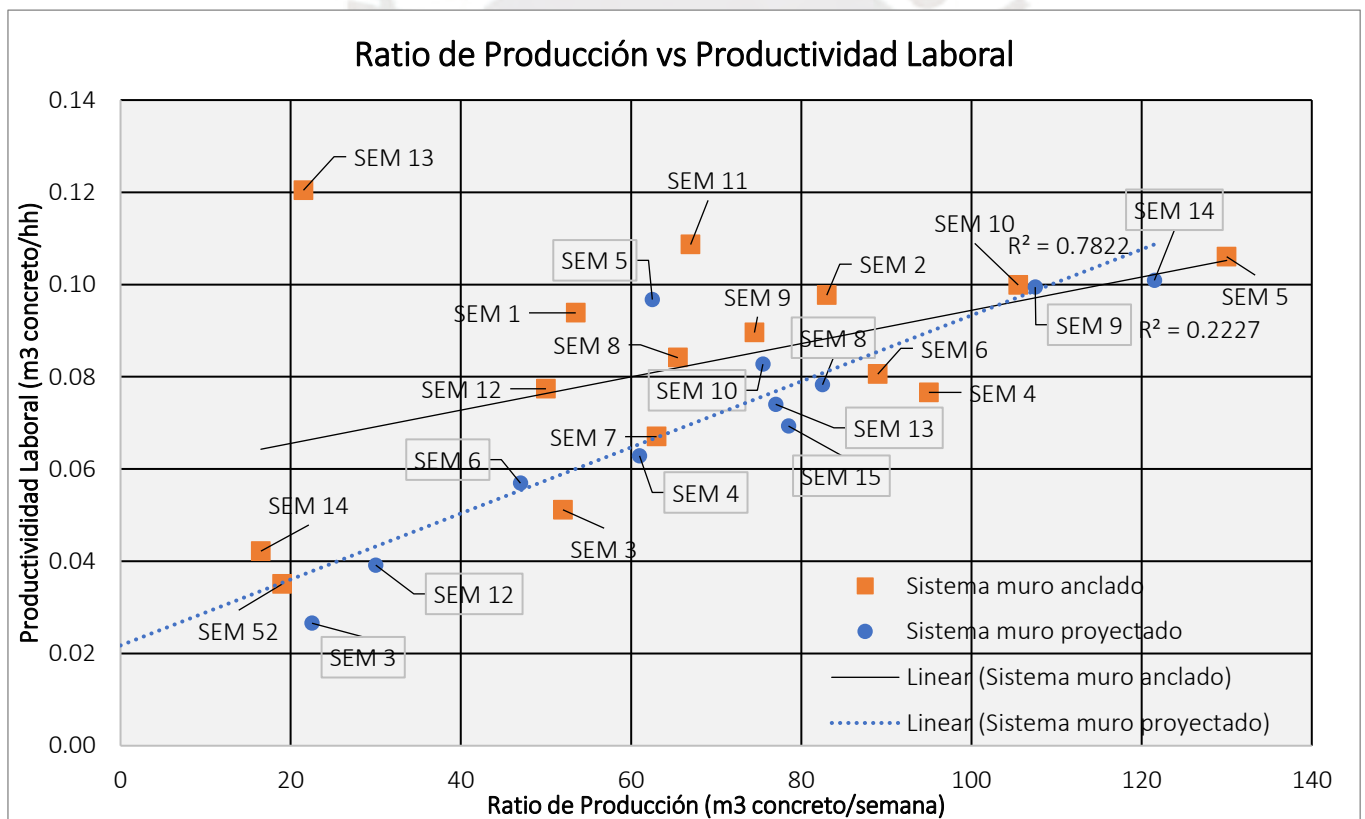
del mismo debido a que se dividió el proyecto en dos torres, Torre Black y Torre Gold-Platinum, en donde se tomó la decisión de dar prioridad a la Torre Black avanzando con las cimentaciones y acelerar el inicio del casco de esta zona. En consecuencia, el lado de la Torre Gold-Platinum se avanzó de manera más paulatina y los muros restantes de esta zona se ejecutaron tiempo después, es por ello que la línea balance del 4to anillo no es paralela a la planificada.

Con respecto al proyecto 2 muro anclado (Gráfico 2), para los dos primeros anillos y el 4to se tuvieron las líneas balance casi paralelas, lo que indica que después del inicio de cada anillo se siguió un avance casi similar al planificado. Por otro lado, en el anillo 3 existe un cruce entre las líneas, esto debido a que terminando enero no fue una restricción terminar el anillo 2 para dar inicio con el siguiente, por lo que se ejecutó el inicio antes de lo planificado, sin embargo, no significo que haya terminado antes porque durante la ejecución de ambos anillos en paralelo hubo restricciones entre los mismos, por lo que se finalizaron esos anillos un tiempo después del planificado. Asimismo, existen dos líneas separadas del tren que fueron el inicio del primero anillo y el final del tercer anillo, esto se debió a que era paños que, si bien estuvieron dentro de la ruta crítica de lo planificado, al momento de ver el terreno y la ejecución, no generaban ninguna restricción por lo que se ejecutaron en los tiempos holgados de la partida.

De ambas graficas se puede observar que para ambos proyectos hubo un atraso del inicio de la ejecución de los muros de lo planificado con lo real. Esto se debió a diversos factores, como la disposición de las contratatas de eliminación y maquinaria durante las etapas de excavación, en algunos casos los camiones tenían imprevistos y no se presentaban o las excavadoras sufrían averías. Además, como la partida es básicamente el inicio de la obra, siempre están coordinaciones iniciales entre el equipo y las contratatas, las cuales tomaron más tiempo de lo coordinado, e incluso existieron cambios al inicio lo cual afectaban al inicio de la ejecución de los muros.

Comparando ambas graficas, se observa que en promedio el avance entre lo real y lo planificado difiere menos en el proyecto 1 muro proyectado. Esto se debe a que no se tenían las restricciones de la eliminación del material de banquetas, encofrado y del tensado de los muros. Además, de que el acabado de los muros se daba en el mismo vaciado y no es necesario un posterior tarrajeo o solaqueo, que se da en el proceso de muro anclado convencional. Finalmente, la diferencia de pendientes entre ambas graficas indican que el avance de muros anclados por anillo se da en menor plazo que el proceso convencional.

4.2. Comparación del desempeño semanal: ratio de producción y productividad laboral semanal del volumen y área



Nota. Elaboración propia

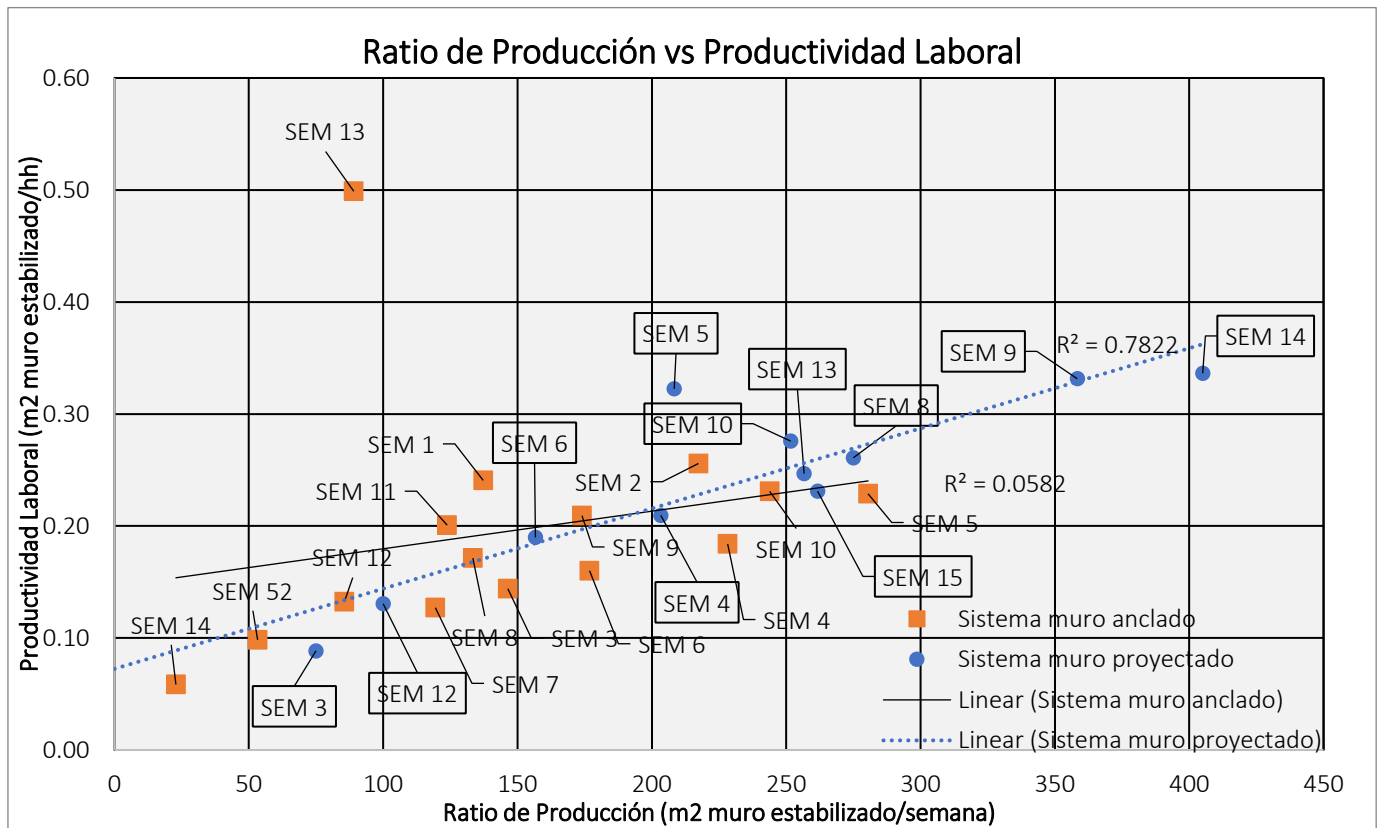


Gráfico 4. Ratio de producción vs productividad laboral en base a m2 de muro estabilizado de ambos proyectos
Nota. Elaboración propia.

En este apartado se analizan el ratio de producción y la productividad laboral semanales considerando tanto el volumen vaciado (m^3) como el área superficial (m^2) de muros en cada proyecto. Se presentan gráficos con la data agrupada que reflejan cómo varía la productividad en función de la producción alcanzada, lo que permite evaluar el desempeño de cada procedimiento constructivo. Estos datos son importantes para identificar patrones en la ejecución de los muros anclados y poder ver cual sistema obtuvo una mejor eficiencia semanal en términos de volumen y área estabilizada.

En cuanto al sistema de muro proyectado, los gráficos 3 y 4 presentan el desarrollo de la producción de muros anclados en base a los metros cúbicos y metros cuadrados ejecutados y las horas hombre utilizadas. El $R^2 = 0.7822$ nos indica que el 78% de la variabilidad de la productividad laboral puede explicarse por el ratio de producción para ambas graficas ya que el R^2 es el mismo debido a que los muros proyectados eran de un mismo espesor. Asimismo,

la tendencia lineal es creciente por lo que a mayor ratio de producción mayor productividad laboral. No obstante, la tendencia lineal si bien es cercana no termina de ser completa en su totalidad y es debido a factores externos que retrasan el avance planificado como, por ejemplo: la falla de contratistas de tensado, fallas en los equipos de vaciado de concreto, fallas de la máquina excavadora, entre otros.

Cabe mencionar que en los gráficos 3 y 4 existen puntos atípicos fuera de la tendencia lineal. En este caso se encuentra en la semana 5 con un ratio de producción igual a 62.5 m³/sem y con una productividad laboral de 0.0967 m³/hh. La razón principal es debido a los feriados por semana santa por lo cual solo se trabajó 3 días de esta semana teniendo una menor cantidad de horas hombre llegando a 646 hh, pero vaciando los muros anclados que ya venían siendo trabajados desde la semana anterior hasta un total de 62.5 m³. Finalmente, es importante recalcar que los puntos de mayor ratio de producción se dieron a partir del tercer anillo en donde se pudo realizar el vaciado de paños más largos abarcando dos anclajes cuando normalmente se abarca uno, esto dio la facilidad de poder tener un mayor volumen de vaciado diario durante la semana.

Con respecto al sistema de muro anclado tradicional, en el gráfico 3, que muestra la relación entre el ratio de producción en volumen (m³/semana) y la productividad laboral (m³/hh), se observa una dispersión moderada de los datos, con un coeficiente de $R^2 = 0.2227$. Esto indica que, aunque existe una tendencia creciente, la línea tendencia no representa adecuadamente la variabilidad de la información. Igualmente, en el gráfico 4, donde se analiza la misma relación, pero en términos de área, se evidencia una correlación aún más baja, con un $R^2 = 0.0582$. Este resultado sugiere que el aumento en la producción semanal en términos de área no implica necesariamente una mejora proporcional en la productividad laboral. La dispersión de los datos refleja una mayor variabilidad en la eficiencia con la que se ejecutaron los trabajos.

Cabe destacar la presencia de puntos atípicos en ambas gráficas, los cuales se alejan significativamente del resto de los datos. En las dos gráficas, observa un punto con una productividad laboral mucho más alta en comparación con el resto de los valores registrados. Este dato es en la misma semana 13 para ambas gráficas, en dicha semana se vaciaron 21.5 m^3 y se tuvieron 178.5 hh, y esto se dio porque los días jueves, viernes y sábado fueron feriados de esa semana en cuestión. Además, el único vaciado de la semana fue el día lunes, ya que estaba proyectado para el día sábado de la semana anterior, pero por temas de material y excavación no se logró concretar. Es decir, que en la semana 13 no se llegó a tener un vaciado de concreto de las hh de habilitado de acero y encofrado de la misma semana, sino que se consideró para la siguiente. Asimismo, la dispersión de los datos se debe a distintos factores como el hecho de que los planos no estaban bien definidos y esperaban continuas actualizaciones del alcance, fallas por parte de las contratistas de excavación, el tiempo de espera para que el concreto alcance su resistencia a 3 días y el tiempo de la contratista para ejecutar la perforación.

Al comparar las gráficas de ambos sistemas, se observan diferencias significativas en su comportamiento y eficiencia. En el gráfico 3 y 4, la relación lineal mejor representada es la del sistema proyectado debido a su coeficiente de determinación (R^2) de 0.7822, lo que indica que el ratio de producción explica en gran medida la variabilidad en la productividad laboral. En contraste, el sistema anclado presenta un coeficiente R^2 mucho menor (0.2227), lo que sugiere una mayor dispersión de los datos y una menor correlación entre las variables. Esto nos indica que el sistema proyectado presenta de mejor manera el comportamiento del aumento o disminución de la producción semanal en relación con la productividad.

La dispersión de los puntos es otro aspecto importante que analizar. Por un lado, el sistema proyectado tiene valores están más alineados con la tendencia, mientras que el sistema anclado se observa mayor variabilidad, lo que podría evidenciar ineficiencias en la ejecución del

proceso constructivo. Además, en ambos gráficos se identifica un punto que se encuentra alejado del resto, lo que representa una semana atípica en términos de producción por la presencia de feriados largos.

Por otro lado, en el gráfico 4, se analiza la relación entre el ratio de producción ($m^2/semana$) y la productividad laboral (m^2/hh) con respecto a área estabilizada. En el caso del sistema proyectado nos muestra la misma tendencia lineal con el mismo valor de R^2 . En contraste, el sistema anclado, muestra un R^2 mucho menor (0.0582), lo que refleja una correlación débil y una gran dispersión de los datos.

En términos de eficiencia, el proyecto 1 muestra un control más estable de la productividad laboral en función del ratio de producción, lo que sugiere que la planificación y ejecución de los trabajos ha sido más efectiva. Por el contrario, el proyecto 2 presenta mayor variabilidad, lo que podría deberse a deficiencias en el proceso constructivo, tanto en la logística de recursos como en la planificación del trabajo.

Finalmente, la presencia de puntos atípicos en el gráfico 4 del proyecto 2 sugiere que en algunas semanas se alcanzaron niveles de producción significativamente mayores o menores en comparación con el comportamiento general. Esto puede deberse a factores como cambios en las condiciones de obra, variaciones en la cantidad de personal disponible o retrasos en la cadena de suministros.

En conclusión, el análisis comparativo indica que el sistema proyectado ha logrado una relación más eficiente entre producción y productividad laboral, mientras que en el sistema anclado se observan mayores fluctuaciones y menor correlación, lo que podría ser indicativo de oportunidades de mejora en la planificación y ejecución del proceso constructivo.

4.3. Comparación del desempeño: ratio de producción, productividad laboral y rentabilidad semanal del volumen y área

En este apartado se amplía el análisis del desempeño de los procedimientos constructivos evaluados, incorporando la rentabilidad como una variable clave en la comparación. Si bien en el apartado anterior se estudiaron la relación entre el ratio de producción y la productividad laboral, ahora se añade el costo que permite evaluar el rendimiento económico semanal de cada método.

Para ello, se han desarrollado gráficos 2D con escala de colores y tamaño de los puntos que representan la rentabilidad además de la interacción entre el ratio de producción (expresado en función del volumen y el área construida) y la productividad laboral. Estos gráficos permiten visualizar de manera más clara la correlación entre estos indicadores y determinar qué procedimiento muestra un mejor desempeño no solo en términos de producción y eficiencia laboral, sino también en términos de optimización de costos.

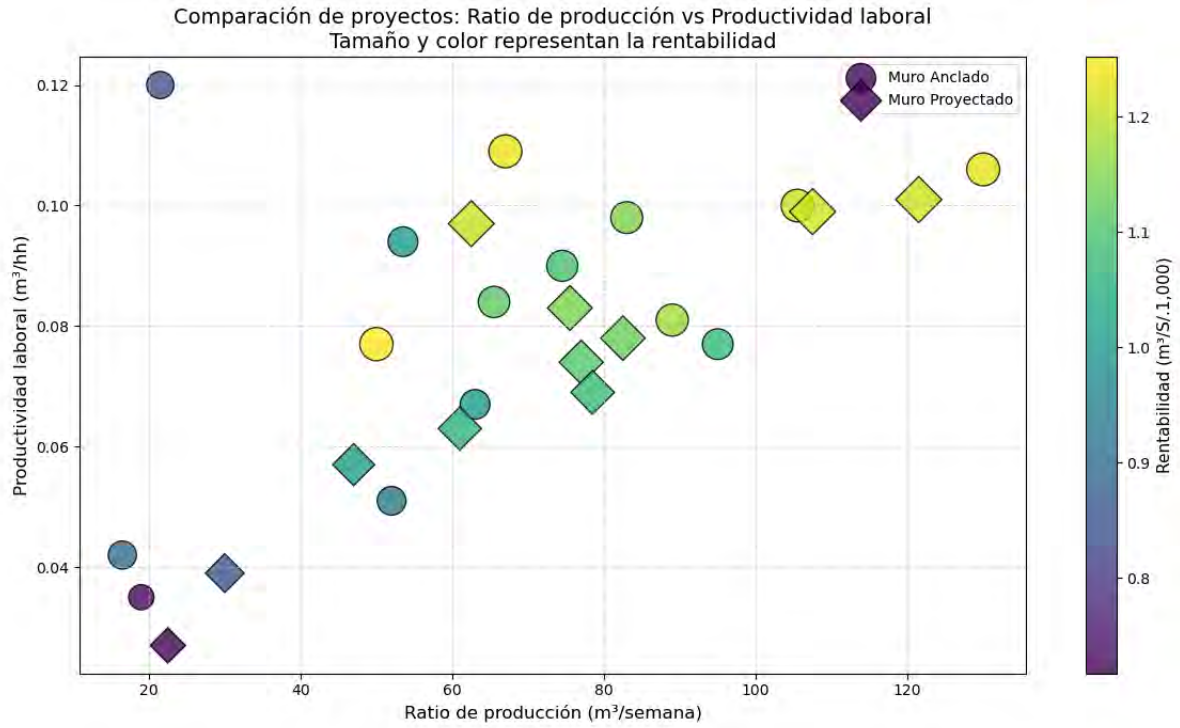


Gráfico 5. Comparación de proyectos: Ratio de producción vs productividad laboral con indicador de rentabilidad en base a m3 de concreto vaciado.

Nota: Elaboración propia.

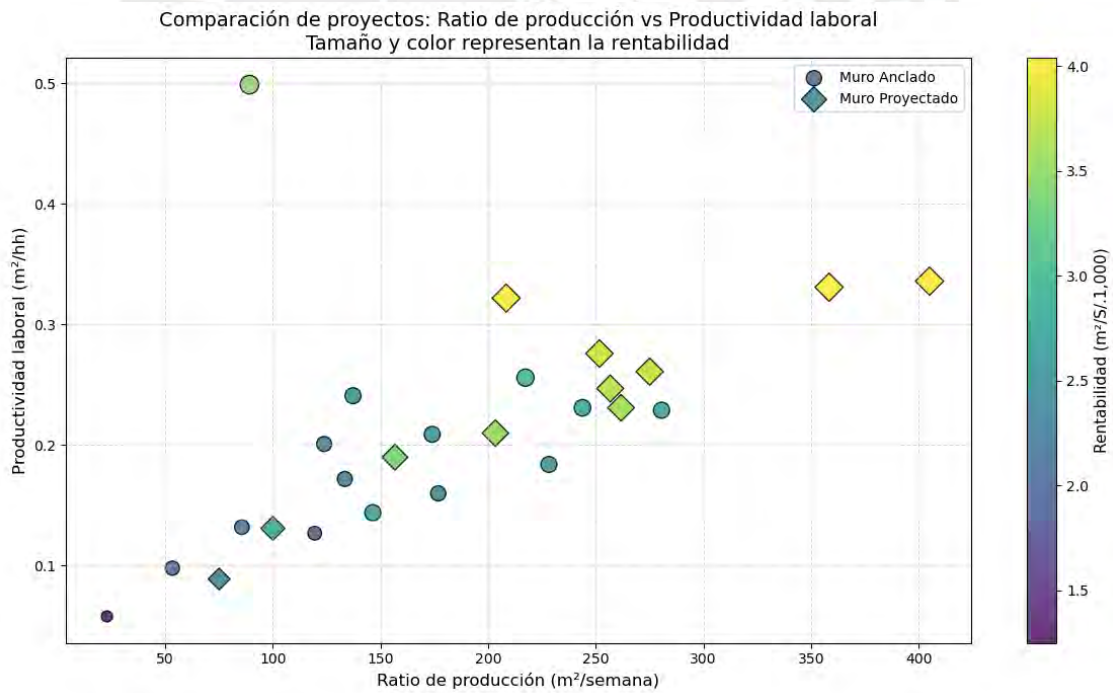


Gráfico 6. Comparación de proyectos: Ratio de producción vs productividad laboral con indicador de rentabilidad en base a m2 de muro estabilizado.

Nota: Elaboración propia.

En los gráficos 5 y 6 se analizan las mismas variables que en los gráficos de dos dimensiones con la diferencia de que se añade una variable más que es la rentabilidad expresada en m^3 o m^2 por cada 1000 soles gastados. A partir de estos gráficos se puede visualizar como fue el desempeño del concreto proyectado no solo en cuestión de productividad sino también los costos que implica el sistema. Cabe mencionar que en estos gráficos se está considerando el costo total del sistema incluido horas hombre, materiales, bombeo, entre otros.

En el gráfico 5, se está analizando el ratio de producción, la productividad laboral y la rentabilidad todos bajo la unidad de metros cúbicos ejecutados. Para el sistema proyectado, representado por rombos, se observa que los puntos con mayor rentabilidad tienden a estar en la parte superior indicando que a una mayor productividad laboral y ratio de producción, la rentabilidad se ve beneficiada llegando a tener valores máximos de $1.20 m^3/1000$ soles gastados. Esto se contrasta con los puntos de color púrpura en los cuales se tuvo una baja productividad laboral, así como un bajo ratio de producción lo que en consecuencia obtuvo una rentabilidad baja menor a $0.80 m^3/1000$ soles gastado. Por otro lado, se observa que en la zona media se encuentra la mayor cantidad de puntos con una rentabilidad promedio de $1.05 m^3/1000$ soles, este dato expresa la cantidad promedio de m^3 que se puede vaciar con 1000 soles usando este sistema. Los picos altos en las gráficas son debido a los vaciados a partir del tercer anillo donde se podían ejecutar paños continuos sin necesidad de dejar banquetas intermedias, ampliando la longitud de paños y por ende el volumen de m^3 vaciados en un mismo punto sin tener que desplazarse. En cuanto a los puntos bajos son debido a dificultades que se tuvieron en obra como falla de máquina compresora, falla de proveedor de concreto, o falla de máquina de excavadora.

En el gráfico 6 se está analizando el desempeño del sistema de acuerdo al área estabilizada. Para el sistema de muro proyectado se observa una tendencia en la cual la rentabilidad aumenta si la productividad laboral y el ratio de producción aumentan de la misma forma. Asimismo, la

rentabilidad varia aproximadamente entre 2.2 y 4.0 m²/1000 soles lo que indica que hubo bastante dispersión entre semanas donde se tuvo altas y bajas productividades. La zona media agrupa la mayor cantidad de datos teniendo un valor promedio de 3.5 m²/1000 soles gastados, este valor nos indica la cantidad de m² promedio que se pudo ejecutar con el sistema. Los picos altos y bajos son debido a situaciones puntuales que ocurrieron en obra explicadas en el grafico anterior.

En el caso del proyecto 2 que utilizo el sistema de muro anclado tradicional se aprecia en el grafico 5 que la mayoría de los puntos de datos se concentran en valores de rentabilidad entre 0.8 y 1.2 m³/S/1000. Además, hay una clara tendencia a que los valores más altos de rentabilidad se ubiquen en zonas donde tanto la productividad laboral como el ratio de producción son elevados. Sin embargo, se identifica un punto con una rentabilidad baja y una productividad laboral considerablemente menor en comparación con el resto. Este punto se tuvo porque es la información de la primera semana, es decir, como fue el inicio de la partida se tuvo una productividad baja porque estaban en las primeras coordinaciones, el personal recién estaba agarrando el ritmo y familiarizándose con los planos, materiales y ritmo.

Por otro lado, el gráfico 6, que evalúa en función del área (m²), presenta un rango de rentabilidad más amplio, con valores que llegan hasta 4.0 m²/S/1000. En este caso, también se aprecia que los valores más altos de rentabilidad están asociados a una mayor productividad y ratio de producción, aunque la dispersión de los datos sugiere variaciones más significativas en la rentabilidad de acuerdo con el rendimiento del trabajo. En particular, hay un punto que se encuentra claramente separado del resto y presenta una rentabilidad inusualmente alta. Este punto atípico es el mismo que se mostró en el apartado anterior de las gráficas 2D, corresponde a la semana 13 en donde no se llegó a tener un vaciado de concreto de las hh de habilitado de acero y encofrado de la misma semana, sino que se consideró para la siguiente, es por eso que se tiene valores altos a diferencia de los demás.

Al comparar los sistemas, el gráfico 5 muestra que la rentabilidad del sistema de muros proyectado es más estable y mantiene valores generalmente altos, lo que sugiere un mayor control de costos y una optimización en la utilización de recursos. En contraste el sistema de muro anclado tradicional presenta una mayor variabilidad, con algunos puntos en niveles significativamente más bajos. Esto indica que el método convencional enfrenta costos más altos o problemas de eficiencia en ciertos momentos del proyecto.

La rentabilidad del sistema proyectado en el gráfico 6 tiende a ser mayor y más uniforme, lo que sugiere que el método concreto proyectado tiene un mejor rendimiento económico en relación con el área construida. Por otro lado, los valores de rentabilidad del sistema de muros anclados convencional presentan una mayor dispersión, con algunos puntos significativamente más bajos. Esto refuerza la idea de que el método convencional enfrenta desafíos en términos de costos y eficiencia operativa.

Los resultados obtenidos indican que el método de muro proyectado presenta una mayor estabilidad en términos de productividad y rentabilidad, con una distribución de datos más uniforme y valores generalmente superiores tanto en volumen como en área. Por otro lado, el método convencional muestra una mayor dispersión en los resultados, lo que sugiere fluctuaciones en la eficiencia operativa y en los costos de ejecución.

El análisis de los puntos atípicos refuerza la idea de que el método convencional es más susceptible a variaciones en la productividad y rentabilidad, lo que puede deberse a factores externos como logística, disponibilidad de recursos o condiciones del sitio de construcción. En contraste, el método de muros proyectados demuestra un mejor control de estas variables, logrando un desempeño más consistente a lo largo del proyecto.

4.4.Comparación del desempeño: ratio de producción y productividad laboral diaria del volumen y área

En este apartado se presenta la comparación del desempeño de ambas metodologías constructivas en términos de ratio de producción y productividad laboral, pero esta vez con un enfoque en la evaluación diaria, en lugar de semanal. Esta perspectiva permite un análisis más detallado del comportamiento operativo y la eficiencia de ejecución en intervalos de menor duración, lo que facilita la identificación de patrones de rendimiento, fluctuaciones en la producción y posibles oportunidades de mejora en la gestión de recursos. Al igual que en los análisis previos, se comparará el desempeño en función del volumen (m^3) y el área (m^2), permitiendo evaluar el impacto de cada metodología tanto en la cantidad de concreto vaciado como en la superficie estabilizada diariamente. Mediante el uso de gráficos se visualizará la relación entre el ratio de producción y la productividad laboral, proporcionando una visión clara de cómo cada metodología responde a los desafíos operativos en el día a día.

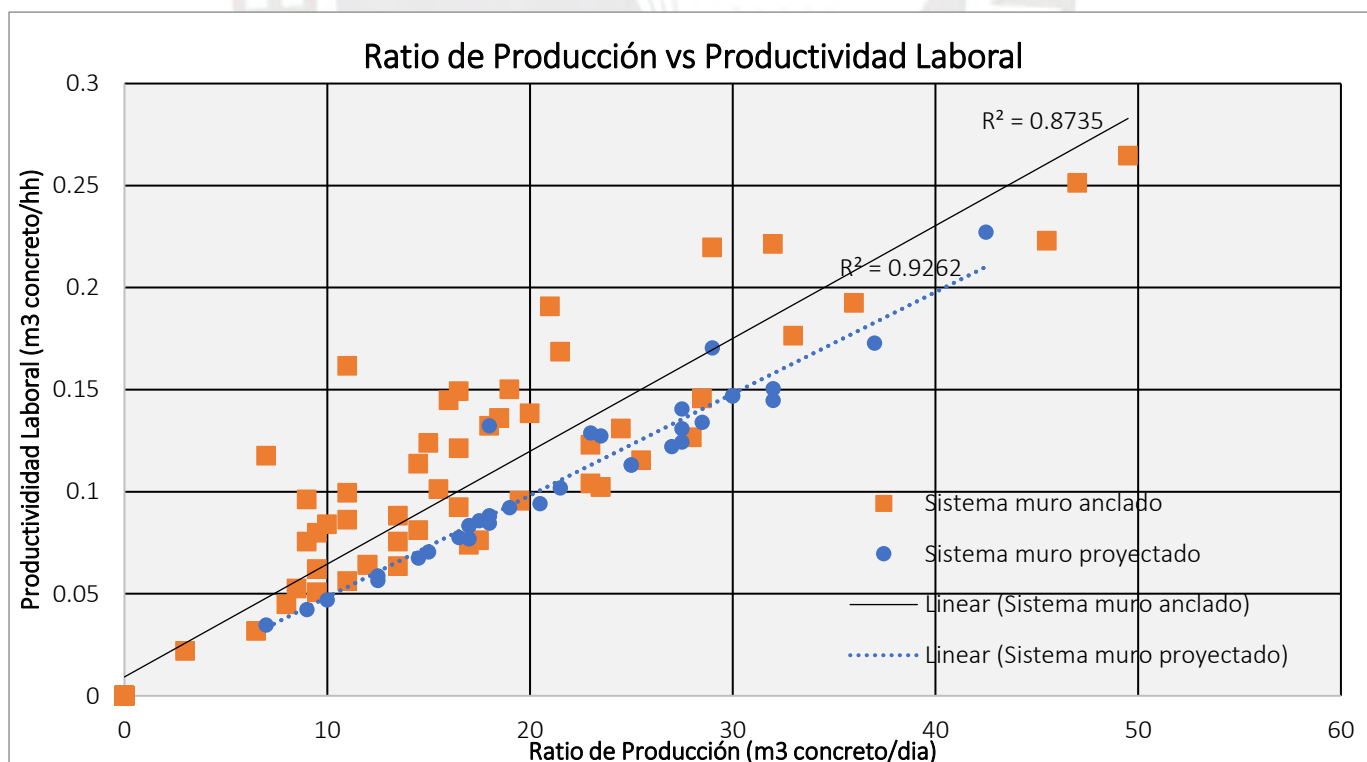


Gráfico 7. Ratio de producción vs Productividad laboral en base a m3 concreto vaciados por día de ambos proyectos.

Nota: Elaboración propia.

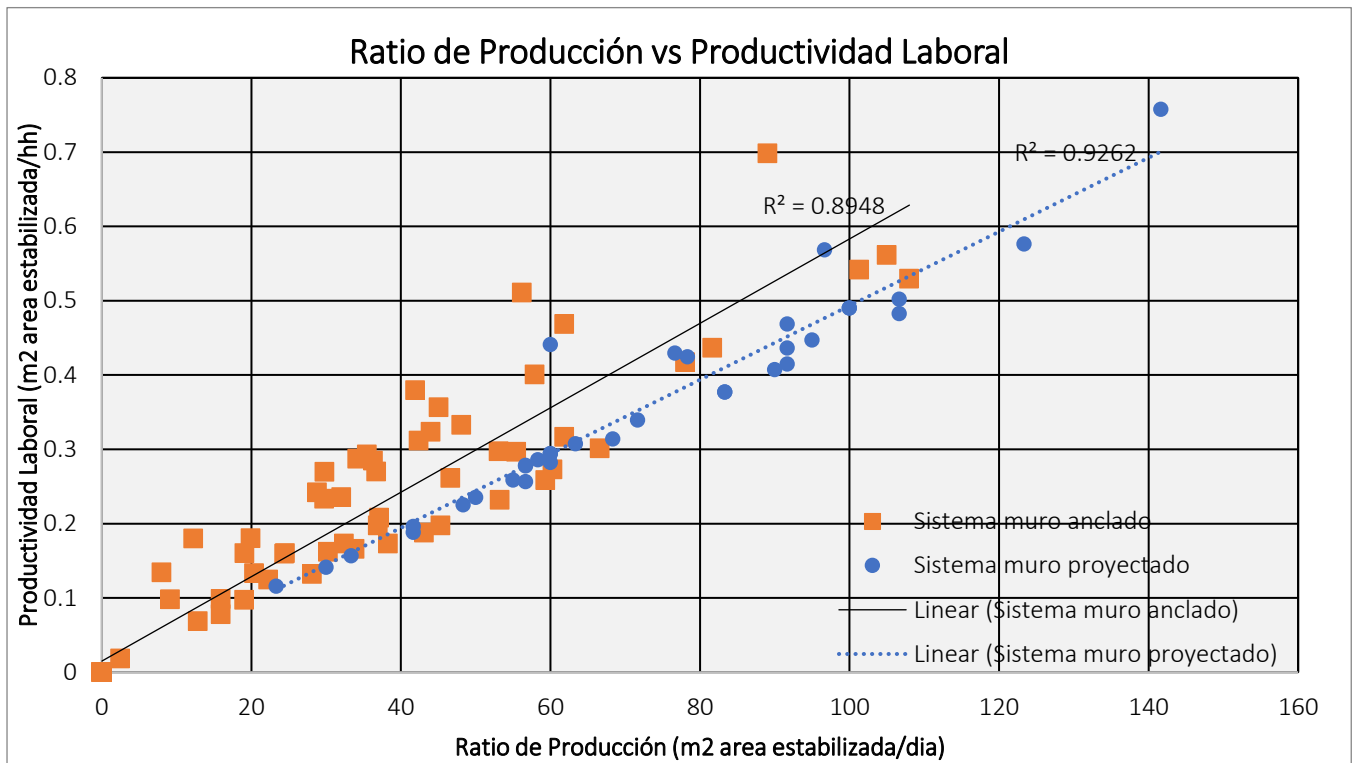


Gráfico 8. Ratio de producción vs Productividad laboral en base a m2 de muro estabilizado por día de ambos proyectos.

Nota: Elaboración propia.

A partir de los gráficos 7 y 8, el sistema proyectado evidencia una fuerte relación lineal entre la productividad laboral y el ratio de producción diario ya sea en metros cúbicos o metros cuadrados. En este caso ambas graficas nos presentan un $R^2 = 0.9262$ para este sistema, esto nos indica que más del 92% de la variabilidad de los datos se explica mediante la regresión lineal y la correlación entre ambas variables es muy fuerte. Por ello, a medida que aumenta la producción diaria, la productividad laboral aumenta proporcionalmente. Por otro lado, existen puntos que se alejan de la relación lineal, la mayor parte de ellos tienen una mayor productividad laboral, indicando que se realizó el mismo metrado, pero con menos horas hombre en el día, esto se debe principalmente a que el día anterior ya se habían avanzado con los trabajos de perfilado y acero de los muros a vaciar el día siguiente y es probable que el día posterior a ese no hubiera vaciado por lo que el personal se puso a realizar otras actividades.

Es importante recalcar que las gráficas sugieren que cuando se incrementa el volumen de producción diario, se consigue un mejor aprovechamiento de los recursos en este caso de la

mano de obra, pues se consigue mayor productividad por hora hombre. Asimismo, se evidencio que al aumentar la producción se reducían los tiempos muertos, aprovechando al máximo los recursos tanto de materiales como de mano de obra. Por otro lado, las gráficas nos indican que existe un percentil donde se agrupa la mayor cantidad de datos entre los 15m³/día y 30 m³/día con una productividad laboral entre 0.07 m³/hh y 0.15 m³/hh esto quiere decir que en promedio se tiene una producción diaria del 22.5 m³ con una productividad laboral de 0.11 m³/hh y en horas hombre un promedio de 205 hh, estos mismos datos se obtienen bajo la unidad de m² en el grafico 8.

En el caso del sistema anclado se observa también una relación lineal entre el ratio de producción y la productividad laboral. La tendencia en ambos gráficos muestra una correlación positiva con coeficientes de determinación altos ($R^2 = 0.8735$ en el Gráfico 7 y $R^2 = 0.8948$ en el Gráfico 8), lo que indica una fuerte dependencia entre estas dos variables.

En el Gráfico 7, que representa la relación entre la producción diaria en m³ y la productividad en m³/hh, se puede ver que la mayoría de los datos se ajustan a la tendencia esperada. Sin embargo, hay ciertos puntos con una mayor dispersión, especialmente en valores superiores a 30 m³/día, lo que podría indicar variaciones en el rendimiento del proceso constructivo debido a factores como disponibilidad de materiales, eficiencia del equipo o gestión de personal.

Por otro lado, el Gráfico 8, que relaciona la producción diaria en m² con la productividad en m²/hh, también presenta un alto grado de correlación. No obstante, se pueden observar algunos valores dispersos en el rango superior a 60 m²/día, lo que sugiere fluctuaciones en la productividad, posiblemente debido a condiciones de obra o factores externos que afectan la ejecución.

Al analizar los puntos atípicos en ambos gráficos, se pueden identificar dos comportamientos principales:

Puntos con alta producción y productividad representan días de alto desempeño, en los cuales se logró una ejecución eficiente. Y posibles razones incluyen mejor planificación de tareas, mayor disponibilidad de personal capacitado y optimización del uso de equipos y materiales.

Puntos con baja productividad a pesar de un alto ratio de producción: sugieren que, aunque se logró avanzar en términos de producción, la eficiencia laboral no fue la óptima y factores como retrasos en el suministro de concreto, problemas en la coordinación del equipo de trabajo o imprevistos en la obra pueden haber afectado el rendimiento.

Estos resultados permiten entender mejor las dinámicas de producción en el sistema anclado y brindan información clave para optimizar la eficiencia operativa, reduciendo posibles pérdidas de productividad en la ejecución de muros anclados con el método convencional.

Al analizar ambos sistemas, se observa que, como anteriormente se mencionó respecto al volumen de concreto vaciado, la tendencia lineal en el gráfico 7 del sistema proyectado presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9262, lo que indica una correlación muy fuerte entre la producción diaria y la productividad laboral. En el caso del sistema anclado, el coeficiente de determinación es también elevado, lo que sugiere una relación bien definida en ambos casos.

Sin embargo, se pueden notar diferencias en la dispersión de los datos. En el caso del método anclado, los puntos atípicos se encuentran más alejados de la tendencia, lo que sugiere variaciones en la eficiencia diaria de la producción. Por otro lado, en el método de concreto proyectado, los datos muestran una distribución más uniforme a lo largo de la línea de tendencia, lo que podría indicar una mayor estabilidad en el desempeño de la productividad.

En términos de productividad laboral, se observa que la línea de tendencia de muros anclados es mayor a la de sistema proyectado. Esto nos indica que el método de muros proyectado utiliza mayor cantidad de horas hombre por cada m³ producido. Esto podría deberse a la partida de

albañilería que interviene durante esta etapa para darle el acabado frotachado final a los muros, por lo que se estaría sumando las horas hombre de la partida de solaqueo de sótanos a esta fase del proyecto.

Al comparar los sistemas en base a área superficial estabilizada, se observa que el coeficiente de determinación (R^2) del sistema proyectado es de 0.9262, lo que indica una fuerte correlación entre la producción diaria y la productividad laboral, similar al gráfico 7. Sin embargo, en términos de dispersión de los datos, el método convencional muestra una mayor variabilidad, con puntos que se alejan más de la tendencia, lo que sugiere fluctuaciones en el rendimiento diario de la producción.

En contraste, el método de concreto proyectado muestra una mayor concentración de puntos alrededor de la tendencia, lo que indica un desempeño más predecible y consistente. Esto respalda la hipótesis de que este método presenta una mayor estabilidad en la producción diaria, pero se invierte una mayor cantidad de mano de obra.

Además, los valores absolutos de producción diaria del sistema proyectado en los gráficos 7 y 8 son superiores a los del sistema anclado, lo que indica que el método de concreto proyectado es más eficiente en términos de rendimiento por día ya sea en m^3 vaciados o en m^2 de área estabilizada. Este resultado sugiere que este sistema permite una mayor ejecución de frentes, pero incrementando recursos, logrando una mayor producción diaria en comparación con el método convencional.

En ambas comparaciones, tanto en volumen (m^3) como en área (m^2), el sistema de muros proyectado muestra una mayor estabilidad en la relación entre la producción diaria y la productividad laboral. La menor dispersión de los datos indica un desempeño más uniforme, lo que se traduce en una planificación más predecible y en una mejor utilización de la mano de

obra. Además, los valores de productividad laboral alcanzados en este método son superiores a los del método convencional, lo que refuerza su eficiencia.

Estos hallazgos sugieren que la implementación del concreto proyectado no solo optimiza los tiempos de ejecución, sino que también mejora el rendimiento del personal, lo que podría generar ahorros significativos en costos laborales y aumentar la rentabilidad del proyecto.

4.5.Comparación del costo y productividad: m²/día, m²/hh y m²/1000 soles de muro estabilizado

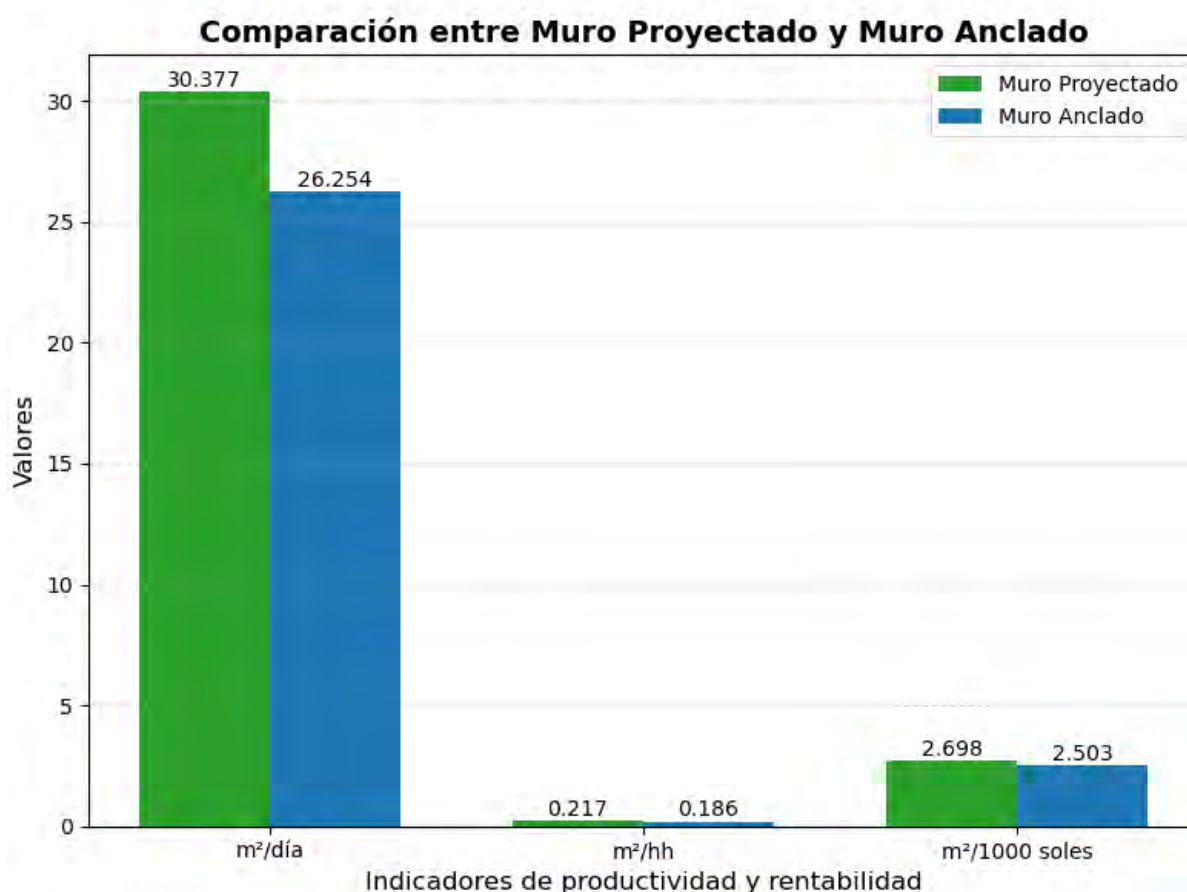


Gráfico 9. Indicadores de productividad y rentabilidad en m² estabilizados de ambos proyectos.

Nota. Elaboración propia.

En esta sección se analizará y comparará los indicadores de productividad y rentabilidad totales de cada sistema considerando los m² estabilizados de los 3 anillos en cada proyecto. Estos indicadores representan data útil a considerar para futuros proyectos al momento de estimar

plazos, costos y la mano de obra necesaria teniendo como antecedente estos dos tipos de sistemas y eligiendo el más adecuado según el plazo y presupuesto destinado a la partida.

En cuanto a la producción por día ($m^2/día$), el muro proyectado tiene una producción mayor al sistema de muro anclado. El sistema proyectado llegando a producir entre un 15-16% más área por día reflejando una mayor velocidad de ejecución. Esto se debe principalmente a que los muros proyectados tienen una partida menos que es el encofrado y apuntalamiento de los muros anclados. Por lo tanto, se ejecuta una mayor cantidad de m^2 utilizando el sistema proyectado a comparación del sistema anclado.

En cuanto a la productividad (m^2/hh), el muro proyectado muestra una mayor eficiencia de las horas hombre utilizadas. En comparación con los muros anclados, se produce un 17% más de m^2 de área estabilizada por hora hombre. Esto se relaciona con el indicador de producción ya que evidencia que, a pesar de tener una mayor exigencia diaria, las horas hombre utilizadas se han aprovechado de la mejor manera, sin necesidad de retrabajos que sumen a la bolsa de horas hombre utilizadas durante la partida.

Finalmente, en cuanto a la rentabilidad el muro proyectado se muestra como el de mayor rendimiento por cada mil soles invertidos. En este caso, la diferencia porcentual es menor, donde el sistema proyectado llega a tener un rendimiento de 7.8% mayor al sistema anclado. Esto se puede ver reflejada en el aprovechamiento de las horas hombre y la disminución de retrabajos, así como las facilidades que brinda el proceso proyectado para el aumento de la producción diaria.

4.6. Resumen de comparación de métricas de ambos sistemas de muros anclados.

Finalmente se prepararon unas tablas resumen para obtener una mejor síntesis y presentación de comparación de los resultados. Las Tablas 18 (base semanal) y 19 (base diaria) consolidan, para cada sistema constructivo, las métricas de producción (m^3 y m^2), productividad laboral

(m³/hh y m²/hh) y rentabilidad (m³ o m² por S/1,000). Para cada variable se reportan mínimo, Q1, mediana, Q3 y máximo, lo que permite evaluar no solo el nivel medio de desempeño, sino también su variabilidad y la presencia de picos.

METRICAS	MURO PROYECTADO			MURO ANCLADO			MURO PROYECTADO			MURO ANCLADO		
	m3/sem	m3/hh	m3/1000 soles	m3/sem	m3/hh	m3/1000 soles	m2/sem	m2/hh	m2/1000 soles	m2/sem	m2/hh	m2/1000 soles
MIN	22.50	0.027	0.717	16.50	0.042	0.903	75.00	0.089	2.388	22.90	0.058	1.250
Q1	47.00	0.057	1.011	50.00	0.077	1.252	156.67	0.190	3.369	89.10	0.499	3.492
Mediana	75.50	0.083	1.145	65.50	0.084	1.117	251.67	0.276	3.818	137.20	0.241	2.583
Q3	82.50	0.078	1.132	89.00	0.081	1.175	275.00	0.261	3.775	217.30	0.256	3.013
MAX	121.50	0.101	1.211	130.00	0.106	1.230	405.00	0.336	4.038	280.50	0.229	2.653

Tabla 18. Resumen comparativo semanal de métricas analizadas de ambos proyectos.

Nota. Elaboración propia.

METRICAS	MURO PROYECTADO			MURO ANCLADO			MURO PROYECTADO			MURO ANCLADO		
	m3/dia	m3/hh	m3/1000 soles	m3/dia	m3/hh	m3/1000 soles	m2/dia	m2/hh	m2/1000 soles	m2/dia	m2/hh	m2/1000 soles
MIN	7.00	0.035	0.864	3.00	0.022	0.729	23.33	0.116	2.881	2.49	0.018	0.605
Q1	17.00	0.077	1.133	11.00	0.100	0.991	56.67	0.256	3.778	24.42	0.160	1.973
Mediana	21.50	0.102	1.229	16.50	0.149	1.126	68.33	0.314	4.011	36.93	0.197	2.268
Q3	27.50	0.141	1.302	23.00	0.104	1.388	91.67	0.469	4.341	55.43	0.296	2.282
MAX	42.50	0.227	1.395	49.50	0.265	1.303	141.67	0.758	4.651	108.01	0.529	3.147

Tabla 19. Resumen comparativo diario de métricas analizadas de ambos proyectos.

Nota. Elaboración propia.

En cuanto al análisis semanal (m³/sem y m²/sem), el muro proyectado evidencia una mayor estabilidad y producción. La mediana del sistema proyectado alcanza a 75.50 m³/sem frente a los 65.50 m³/sem del muro anclado, esto representa un incremento del orden del 15%. De igual forma, la productividad laboral (m³/hh) y la eficiencia económica (m³/1000 soles) son ligeramente superiores en el sistema proyectado, lo que evidencia un mejor aprovechamiento de recursos tanto en horas hombre como en materiales. La diferencia se debe a la continuidad del proceso constructivo, en el cual se permite tener mayor cantidad de frentes activos durante la semana sin depender de etapas previas como excavación de banquetas o tensado de anclajes. Por otro lado, en el análisis diario nos muestra que los muros proyectados tienen valores mayores en cuanto a mínimo, Q1, mediana y Q3, lo que indica que la producción diaria de muros proyectados alcanza rendimientos consistentemente más altos que la producción de

muros anclados. En términos de porcentaje, utilizando la mediana de cada sistema, el sistema proyectado es 30% mejor que el sistema anclado en cuanto a producción diaria ($m^3/día$). No obstante, en cuanto a productividad laboral se observa que el sistema anclado es 32% mejor que el sistema proyectado. Esto se debe a que hay una mayor cantidad de horas hombre invertidas durante esta fase del proyecto a comparación del sistema anclado, como se había mencionado previamente, el sistema proyectado requiere de personal albañil para poder dejar el acabado final ya que no existe una cara de encofrado que retenga o le de la forma de muro al momento de vaciado, sino que es el mismo personal que le da la forma y acabado final, adelantando la partida de solaqueo de muros en sótanos.

Analizando las métricas en base a m^2 de área estabilizada se observa que el sistema proyectado tiene valores superiores al sistema anclado tanto en un análisis diario como semanal. La mediana de los muros proyectados en cuanto a producción diaria es mayor en un 85%, en cuanto a productividad laboral es mayor en un 15% para análisis semanal y 60% mayor en un análisis diario y en cuanto a la eficiencia de costo el sistema proyectado llega a ser mayor en un 50% en un análisis semanal y un 75% mayor en un análisis diario. Esta data nos muestra que el sistema proyectado tiene mayor capacidad de estabilizar áreas, ya sea por día o por semana, esto se relaciona con el espesor del muro ya que a medida que el espesor disminuya la cuadrilla de concreto lanzado avanza con mayor rapidez aumentando la cantidad de área que se pueda abarcar durante un periodo de tiempo.

Finalmente, en conjunto, la evidencia respalda que el muro proyectado ofrece un desempeño promedio superior con mayor previsibilidad, mientras que el muro anclado concentra picos más altos a costa de mayor incertidumbre.

METRICAS	MURO PROYECTADO			MURO ANCLADO			MURO PROYECTADO			MURO ANCLADO		
	m3/hh	m3/dia	m3/1000 soles	m3/hh	m3/dia	m3/1000 soles	m2/hh	m2/dia	m2/1000 soles	m2/hh	m2/dia	m2/1000 soles
MIN	0.035	7.00	0.864	0.022	3.00	0.729	0.116	23.33	2.881	0.018	2.49	0.605
Q1	0.078	16.50	1.138	0.076	17.50	0.827	0.259	55.00	3.794	0.160	24.42	1.973
Mediana	0.102	21.50	1.229	0.104	23.00	1.388	0.340	71.67	4.098	0.242	28.80	3.437
Q3	0.134	28.50	1.289	0.136	18.50	1.480	0.447	95.00	4.295	0.317	61.88	2.855
MAX	0.227	42.50	1.395	0.265	49.50	1.303	0.758	141.68	4.651	0.698	89.05	3.649

Tabla 21: Resumen comparativo diario en base a m3/hh y m2/hh

Nota. Elaboración propia

METRICAS	MURO PROYECTADO			MURO ANCLADO			MURO PROYECTADO			MURO ANCLADO		
	m3/hh	m3/sem	m3/1000 soles	m3/hh	m3/sem	m3/1000 soles	m2/hh	m2/sem	m2/1000 soles	m2/hh	m2/sem	m2/1000 soles
MIN	0.027	22.50	0.717	0.035	19.00	0.727	0.089	75.00	2.388	0.058	22.90	1.250
Q1	0.057	47.00	1.011	0.067	63.00	1.004	0.190	156.67	3.369	0.132	85.60	2.143
Mediana	0.074	77.00	1.106	0.084	65.50	1.117	0.247	256.67	3.687	0.184	228.20	2.581
Q3	0.097	62.50	1.204	0.100	105.50	1.206	0.322	208.33	4.012	0.231	243.80	2.788
MAX	0.101	121.50	1.211	0.120	21.50	0.843	0.336	405.00	4.038	0.499	89.10	3.492

Tabla 20: Resumen comparativo semanal en base a m3/hh y m2/hh

Nota. Elaboración propia

Las tablas 20 y 21, a diferencia de las 18 y 19, se trabajaron en base a la productividad laboral con el fin de determinar que sistema fue mas optimo en el uso de sus horas hombre. En términos de producción (m3/sem y m3/dia) se observa que el muro proyectado sigue siendo superior tanto en un análisis semanal como diario, en el caso semanal la mediana del proyectado produce 18% mas volumen en una semana que el sistema anclado mientras que en el diario el anclado puede superar ligeramente al proyectado, pero tiene una mayor dispersión como se observo en las graficas 7 y 8. En cuanto a la productividad laboral en m3/hh se observa que el muro anclado tiene 13.5% mejor productividad laboral en un análisis semanal mientras que en el análisis diario hay una ventaja mínima por parte del anclado. Esto se debe a que el muro proyectado al tener una mayor capacidad de producción habilita puede llegar a habilitar una mayor cantidad de frentes de trabajo por lo que se requiere mas mano de obra simultanea reduciendo su valor de m3/hh. Por otro lado, la productividad laboral en m2/hh evidencia que el sistema proyectado es superior al anclado y esto se debe principalmente a que existe una mayor continuidad del frente que se esta trabajando, a la ausencia de fases de encofrado y desencofrado y se tiene un ritmo constante de avance. Finalmente, la tabla nos muestra que el sistema anclado es un 12.9%

mas rentable que el sistema proyectado cuando analizamos en las unidades de m³/1000 soles, y esto se debe a los costos del concreto asi como del bombeo de la empresa que lo suministra.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Ambos sistemas tienen una mejor productividad laboral a medida que aumenta la producción y esto se evidencia en todos los gráficos ya que la relación entre la producción y productividad laboral es positiva, sin embargo, la variabilidad es distinta. El sistema de muro proyectado muestra menor dispersión y coeficientes de ajustes (R^2) más altos que se ajustan mejor a una tendencia lineal. En contraste, el muro anclado tradicional evidencia una mayor variabilidad, ejemplo de ello es que se tiene días con productividades elevadas y otros con bajo rendimientos en rangos de producción similares.
- Al escalar la producción diaria a semanal se muestra que en el sistema proyectado la productividad y la rentabilidad crecen de forma proporcional y homogénea, evidenciado por los puntos de mayor tamaño y con un color más cálido. Por otro lado, el sistema anclado evidencia una rentabilidad más heterogénea y a pesar de tener picos muy buenos no siguen una tendencia por lo cual no se evidencia confianza en el control de proceso constructivo. Por lo tanto, el sistema proyectado resulta más predecible permitiendo tener una planificación más acertada y un mayor del control de gasto para esta partida.
- En cuanto al cumplimiento del plazo, las líneas balance evidencian que el muro proyectado tiene un flujo más continuo y cumple con lo planificado. Las pendientes del sistema proyectado son más homogéneas y las transiciones entre anillos son suaves a diferencia del muro anclado muestra segmentos fragmentados, cambios bruscos de

pendiente y vacíos en algunos tramos lo que sugieren paradas o falta de levantamiento de restricciones. Por lo tanto, se evidencia que para cumplimiento de cronograma el sistema proyectado permite tener una mayor confiabilidad y control.

- En términos de eficiencia y considerando simultáneamente el ratio de producción, productividad laboral y rentabilidad, el sistema proyectado evidencia un mejor desempeño promedio y baja variabilidad. No obstante, se evidencio que el sistema proyectado puede requerir de mayor cantidad de horas hombre al momento de habilitar mayor cantidad de frentes de trabajo debido a su capacidad de avance diario, por lo que podría indicar que su productividad laboral es menor a la del sistema anclado. Esto resulta de gran importancia para obras cuyo plazo es ajustado y donde se busca tener mayor confiabilidad en el proceso constructivo para cumplir con los hitos del proyecto. Por otro lado, si bien el muro anclado puede alcanzar picos de productividad y rentabilidad iguales o mayores existe una menor confiabilidad de mantener esos valores.
- La metodología utilizada resulta de gran aporte para poder hacer la comparación de ambos sistemas. Las métricas utilizadas ($m^3/día$, m^3/hh y $m^3/1000$ soles, $m^2/día$, m^2/hh y $m^2/1000$ soles) y la lectura conjunta de los outputs se alinean con el enfoque de medición de productividad a diferentes niveles, permitiendo hacer la comparación de sistemas a diferencia de hacer comparación de actividades. Cabe resaltar que, las métricas en unidades de m^2 resaltan diferencias importantes permitiendo concluir que son mejores para evaluar el desempeño de esta fase de trabajo en la subestructura.
- En cuanto a la experiencia por parte de las personas que utilizaron el sistema proyectado se puede concluir que en proyectos en donde el área es muy amplia, el procedimiento de concreto lanzado no tendría mucha relevancia e impacto. Esto debido a que, en proyectos de gran envergadura, en donde el área del terreno es considerablemente

grande (aproximadamente mayor a 2000 m²), la restricción más importante que manda el ritmo de llegar a la profundidad de cimentación es el movimiento de tierras. Por ello, al tener mayor área de terreno, la partida de muro anclado puede hacerse en paralelo con la eliminación de material sin alterar el tren de trabajo, en cambio, para proyectos pequeños, el concreto lanzado tiene mucha mayor relevancia porque al tener menor área, permite aprovechar el espacio reducido que se tiene y al mismo tiempo no tiene restricciones de guardar material para banquetas post vaciado como se realiza en el procedimiento tradicional. Por lo tanto, el sistema proyectado permite avanzar con el volumen de los muros anclados de manera más rápida sin retardar el inicio del siguiente anillo.

5.2.Recomendaciones

- De acuerdo a lo observado en el proyecto 1 que utilizo el sistema de muros proyectado, se evidencia una mejora en cuanto a calidad y productividad. Sin embargo, es importante recalcar la importancia de verificar la cantidad de acero que los muros anclados pueden llegar a tener si presentan columnas o placas dentro de los mismas. Este factor es importante tenerlo en cuenta al momento de realizar el vaciado debido a que es muy probable que al tener una mayor cantidad de acero el concreto no logre ingresar en su totalidad al elemento. Asimismo, para este tipo de situaciones la empresa proveedora sugiere encofrar estos elementos y utilizar concreto autocompactante, lo cual evidentemente afecta en el costo y la planificación del trabajo. Por ello, si bien el sistema de muro proyectado tiene bastantes facilidades al no encofrar el muro es importante revisar la cantidad de acero que tienen los elementos para poder replantear el diseño con el estructural de ser posible y no requerir el uso del concreto autocompactante que repercutirá en el costo y plazo.

- La ejecución e inclusión de procedimientos más eficientes y modernos requiere que el personal esté adecuadamente capacitado. Por ello, se recomienda que las empresas inviertan en programas de formación continua, tanto para los ingenieros como para las cuadrillas de campo, con el objetivo de facilitar la transición hacia métodos constructivos más actualizados.
- La toma de decisiones técnicas debe ir más allá del análisis de costos directos. Es fundamental incorporar indicadores de productividad, rentabilidad, tiempos de ejecución y control de calidad, para poder evaluar de una forma precisa y real la mejor alternativa de ejecución de partida, para así optar por soluciones más sostenibles y eficientes en el tiempo. Asimismo, para lograr una ejecución eficiente y controlar desviaciones durante el proceso constructivo, es recomendable incorporar herramientas de seguimiento digital y análisis de datos en tiempo real. Estas herramientas permiten detectar problemas con anticipación y tomar decisiones correctivas de manera oportuna.
- Dado que la estandarización del proceso mostró ser un factor clave en el rendimiento del concreto lanzado, se recomienda diseñar secuencias constructivas que reduzcan al mínimo la dependencia de factores impredecibles, como en el proceso de muros anclados tradicional, dependen de la máquina de excavación, de mayor personal de obra y más material. Las secuencias que pueden reducir esta variabilidad incluyen el uso de prefabricados, tecnologías de automatización, y un enfoque más riguroso en la planificación.
- La presente investigación se ha centrado en aspectos de productividad, costos y rentabilidad. Para fortalecer las conclusiones y generar lineamientos de aplicación más generalizados, se sugiere continuar con investigaciones similares en diferentes contextos, con otros tipos de suelos, condiciones geotécnicas y escalas de proyecto. Además, futuras investigaciones podrían incorporar variables relaciones a

sostenibilidad ambiental y condiciones de seguridad en obra, para así poder evaluar con más criterios y de una forma más integral el procedimiento constructivo.



CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFIA

- Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing Lean Construction: Stabilizing work flow. In Proceedings of the 2nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. (pp. 101–112).
- Ballard, G. (1999, July). Improving work flow reliability. In Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (pp. 275–286).
- Ballard, G. (2000). The Last Planner System of Production Control (Tesis doctoral). Universidad de Birmingham.
- Gavidia, G. A. C. (2012). *Análisis comparativo de la estabilización de taludes mediante el uso de muros anclados y calzaduras en la construcción de edificaciones* (Tesis Doctoral, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Mención: Ingeniería Civil).
- Carbajal Galarza, G., & Bermúdez Palomino, D. L. (2017). First run study y optimización de procesos en la construcción de muros anclados. Tesis Doctoral Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Coll, J. (1996). Muros anclados de concreto armado: solución alternativa para excavaciones profundas en la ciudad de Lima. Investigación Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Dave, B., Koskela, L., Kiviniemi, A., Tzortzopoulos, P., & Owen, R. (2013). Implementing lean in construction: Lean construction and BIM [CIRIA Guide C725].
- Delgado Contreras, G. (2011). Proceso constructivo de una edificación con sótano. Utilizando muros pantalla. Fondo Editorial EDICIVILS. RL, Novena Edición, Lima-Perú.

- Eastman, Charles M. *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*. CRC Press, 1999. *K10plus ISBN*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación de Hernández Sampieri. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).
- Forbes, Lincoln H., et al. *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. Industrial Innovation Series. *K10plus ISBN*.
- Formoso, C. T., Isatto, E. L., & Hirota, E. H. (1999, July). Method for waste control in the building industry. In *Proceedings IGLC* (Vol. 7, p. 325).
- Pekuri, A., Haapasalo, H., & Herrala, M. (2011). Productivity and performance management—managerial practices in the construction industry. *International Journal of Performance Measurement*, 1(1), 39-58. Jarkas, Abdulaziz M., y Camille G. Bitar. «Factors Affecting Construction Labor Productivity in Kuwait». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 138, n.º 7, julio de 2012, pp. 811-20. *DOI.org (Crossref)*, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000501](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000501).
- Kymmell, Willem. *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. McGraw-Hill, 2008. McGraw-Hill Construction Series. *Open WorldCat*.
- Letelier Osés, J. A. (2014). Análisis en el tiempo de indicadores de control de avance utilizados en software computacional "Impera" para pronosticar efectos futuros en proyectos de construcción. *Universidad de Chile, Santiago de Chile*
- Universidad Nacional de Colombia, et al. «Lean construction – LC bajo pensamiento Lean». *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 16, n.º 30, 2017, pp. 115-28. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.22395/rium.v16n30a6>.

- McKinney, K., Kunz, J., & Fischer, M. (1998, January). Visualization of construction planning information. In *Proceedings of the 3rd international conference on Intelligent user interfaces* (pp. 135-138).
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). Resolución Directoral 0002-2021-EF: Plan de implementación y Hoja de Ruta del Plan *BIM* Perú.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). Guía Nacional *BIM*: Gestión de la información para inversiones desarrolladas con *BIM*.
- Murguía, D. (2017). Primer Estudio de Adopción *BIM* en Proyectos de Edificación en Lima y Callao 2017. Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/4a09d7a5-0ebc-4aa6-871b-070290b70fd9>
- Murguía, D. (2021). Segundo Estudio de Adopción *BIM* en Proyectos de Edificación en Lima y Callao. Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/176216/SEGUNDO%20ESTUDIO%20DE%20ADOPCION%20BIM%20EN%20PROYECTOS%20DE%20EDIFICACION%20EN%20LIMA%20Y%20CALLAO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Murguía, Danny, et al. «Measuring Construction Productivity across Projects: Multilevel Three-Dimensional Framework». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 150, n.º 11, noviembre de 2024, p. 04024151. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-14850>.
- Pita Fernández, S., & Pértegas Díaz, S. (2002). Investigación cuantitativa y cualitativa. *Paper, Cad Aten Primaria*, 9, 76–78.

- Ramos Ríos, A. G. J. (2015). *Propuesta y análisis de alternativas constructivas para la mejora en el acabado de los muros anclados. Caso de proyecto de edificaciones en la ciudad de Lima* (Tesis Doctoral, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Mención: Ingeniería Civil).
- Sacks, Rafael, et al. «Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 136, n.º 9, septiembre de 2010, pp. 968-80. *DOI.org (Crossref)*, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203).
- Palomino Silva, Julio, et al. «ANÁLISIS MACROECONÓMICO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ». *Quipukamayoc*, vol. 25, n.º 47, septiembre de 2017, p. 95. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.15381/quipu.v25i47.13807>.
- Strafaci, A. (2008). *What does BIM mean for civil engineers? Paper in CE News*, 20(9).
- Succar, B. (2010, May). *The five components of BIM performance measurement*. Paper in University of Newcastle, NSW Australia. In *CIB World Congress* (Vol. 14). DOI:10.13140/2.1.3357.1521
- Thomas, H. Randolph, et al. «Improving Labor Flow Reliability for Better Productivity as Lean Construction Principle». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 129, n.º 3, junio de 2003, pp. 251-61. *DOI.org (Crossref)*, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2003\)129:3\(251\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:3(251)).
- Thomas, H. Randolph, et al. «Reducing Variability to Improve Performance as a Lean Construction Principle». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 128, n.º 2, abril de 2002, pp. 144-54. *DOI.org (Crossref)*, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:2\(144\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:2(144)).