

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Análisis de costo, tiempo y calidad de la construcción de
muros anclados con shotcrete y el comparativo con el
muro anclado convencional en edificaciones
multifamiliares en Lima**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Soyher Saul Saromo Salazar

ASESOR:

Jaime Francisco Zapata Carreño


Lima, octubre, 2025

Informe de Similitud

Yo, **Jaime Francisco Zapata Carreño**, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis de investigación titulada “**Análisis de costo, tiempo y calidad de la construcción de muros anclados con shotcrete y el comparativo con el muro anclado convencional en edificaciones multifamiliares en Lima**”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil del autor **Soyher Saul Saromo Salazar**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 10%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 29/10/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lima, 29 de octubre de 2025

Apellidos y nombres del asesor: <u>Zapata Carreño, Jaime Francisco</u>	
DNI: 08271914	
ORCID: 0000-0001-7662-8329	
	Firma:

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y fuente inagotable de sabiduría y esperanza en cada paso de este camino.

A mis padres, Carpio y Perfecta, cuyo amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido la base de todos mis logros.

A mis hermanos, Florentino y María, quienes con su compañerismo y aliento han sido un pilar esencial en mi vida.

A la memoria de mi querido hermano Luis Saromo, quien partió mientras hacia la tesis, cuya ausencia ha sido una fuente de profundo dolor, pero también de motivación para seguir adelante con más fuerza. Este logro está dedicado a su recuerdo y al amor que siempre vivirá en mi corazón.

A Allison, mi enamorada y compañera, cuya paciencia, ánimo y motivación han sido una inspiración en los momentos más desafiantes.

A los profesionales Marco Acuña y Jorge Reátegui, quienes con su orientación, experiencia y ejemplo contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

La presente investigación analiza la eficiencia del shotcrete como alternativa al encofrado convencional en la construcción de muros anclados en edificaciones multifamiliares en Lima Metropolitana. La justificación del estudio radica en la necesidad de optimizar los tiempos de ejecución y reducir los costos en proyectos de edificación, frente a las limitaciones que presentan los métodos tradicionales en términos de rapidez y rentabilidad. El objetivo principal es determinar si la aplicación de shotcrete en muros anclados representa un ahorro significativo en tiempo y costos respecto al procedimiento convencional. La investigación se sustenta en los principios de la ingeniería geotécnica y en experiencias previas de proyectos similares, bajo un enfoque comparativo entre ambos métodos constructivos. La metodología empleada consiste en el análisis de un caso de estudio, en el cual se recopila información técnica de obra, se cuantifica la duración de actividades críticas y se comparan rendimientos, recursos y costos directos asociados a cada sistema. Los resultados muestran que el shotcrete permite reducir en aproximadamente un 25 % el tiempo de ejecución de los muros anclados, manteniendo los estándares de calidad exigidos y generando además una disminución de costos indirectos. Asimismo, se evidencia una mayor versatilidad en el proceso constructivo, lo cual contribuye a mejorar la planificación y el control de obra. El uso de shotcrete en muros anclados constituye una alternativa eficiente y rentable frente al encofrado convencional, ya que optimiza el tiempo de ejecución, reduce costos y asegura un adecuado desempeño estructural, representando así una solución innovadora y viable para proyectos de edificaciones multifamiliares en Lima.

INDICE

Capítulo 1: Introducción	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. Objetivo General.....	1
1.1.2. Objetivo Específico.....	2
1.2. Pregunta de Investigación	2
1.2.1. Pregunta general.....	2
1.2.2. Preguntas específicas.	2
1.3 Alcance	3
1.4. Hipótesis	3
1.5 Justificación	4
1.6. Metodología	4
Capítulo 2: Estado del Arte.....	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Marco teórico.....	11
2.2.1. Estabilización de taludes: Concepto e importancia	11
2.2.2. Muros anclados: Definición e importancia	12
2.2.3. Shotcrete.	13
2.2.4. <i>Shotcrete</i> vía seca.....	18
2.2.5. <i>Shotcrete</i> vía húmeda.....	20
CAPÍTULO 3.....	24
3.1. Sistemas y tipos de instalación de muros	24
3.2. Muros anclados con <i>shotcrete</i> (Sistema Unianclado®)	27
3.2.1. Sistema Unianclado®.....	27
3.2.2. Proceso constructivo de muros anclados con <i>shotcrete</i>	28
3.2.6. Plantas concreteras que ofrecen el servicio.	37
3.2.7. Especificaciones técnicas	37
3.3. Muros anclados con vaciado tradicional	38
3.3.1. Proceso constructivo.....	39
3.3.6. Especificaciones técnicas	43
3.3.6. Plantas concreteras que ofrecen el servicio.	43
CAPÍTULO 4.....	44
4.1. Descripción de datos	44

4.1.1. Fuente de Datos	44
4.1.2. Características de los datos recolectados	44
4.1.3. Variables de estudio.....	45
4.1.4. Instrumentos y herramientas de recolección	47
4.2. Preparación y tratamiento de datos.....	48
4.2.1. Definición de los indicadores y métricas.....	48
4.2.2. Filtrado y consolidación de datos	51
4.3. Indicadores de comparación.....	52
4.3.1. Indicadores de costo	53
4.3.2. Indicadores de tiempo.....	53
4.3.3. Indicadores de calidad	54
4.3.4. Comparación entre métodos de diferentes proyectos (Convencional vs Proyectado)	56
CAPÍTULO 5.....	59
5.1. Interpretación de Resultados	59
5.1.1. Comparación de Indicadores Clave.....	60
5.1.2. Interpretación de las Diferencias y Similitudes Encontradas	66
5.1.3. Análisis Crítico sobre los Resultados Obtenidos.....	66
5.1.4. Validación de las Hipótesis Planteadas	67
5.1.5. Discusión sobre las Implicaciones Prácticas de los Resultados	67
5.2. Conclusiones preliminares del análisis.....	68
5.2.1. Resumen de hallazgos principales.....	68
5.2.2. Limitaciones del análisis	69
5.2.3. Propuestas para investigaciones futuras o mejoras en el proceso	70
Conclusiones y Recomendaciones.....	71
Conclusiones.....	71
Recomendaciones	72
Referencias bibliográficas.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Metodología de la tesis. Fuente: Adaptación personal.....	6
Figura 2: Estabilización de talud con muros anclados.....	13
Figura 3: Aplicación del shotcrete en estabilización de taludes.	16
Figura 4: Inyección de concreto por vía seca.....	19
Figura 5: Equipo manual para el shotcrete por vía seca.	20
Figura 6: Aplicación del shotcrete por vía húmeda por UNICON	21
Figura 7: Equipo robotizado para shotcrete para vía húmeda (a).	22
Figura 8: Control del equipo en campo a base de un control remoto (b).....	23
Figura 9: Equipo manual para el shotcrete por vía húmeda.....	24
Figura 10: Diagrama de fuerzas que interactúan en un muro de contención por gravedad.	25
Figura 11. Diagrama de fuerzas que interactúan en un muro de contención en voladizo.	25
Figura 12. Diagrama de fuerzas que interactúan en un muro de contención con tablestacas. .	26
Figura 13. Diagrama de fuerzas que interactúan en un muro de contención con muros anclados.....	27
Figura 14. Excavación localizada del paño. Fuente: Propia.	29
Figura 15. Perfilado y lanzado manual de lechada en muro. Fuente: Propia.....	30
Figura 16. Habilidad de acero y apuntalamiento. Fuente: Propia.....	31
Figura 17. Instalación de andamios multidireccional Fuente: Propia.....	32
Figura 18. Protección adicional. Fuente: Propia.	33
Figura 19. Instalación de la línea de bombeo	34
Figura 20. Proyección del concreto en el paño correspondiente. Fuente: Propia.	35
Figura 21. Enlucido del paño lanzado. Fuente: Propia.	36
Figura 22. Tensado de cables del paño terminado. Fuente: Propia.	37
Figura 23. Diagrama de un muro anclado con las partes principales del anclaje.	38
Figura 24. Secuencia de paños del muro anclado.	39
Figura 25. Perforación y preparación para el anclaje.	40
Figura 26. Colocación y habilitación del acero.	41
Figura 27. Encofrado del paño del muro anclado.	41
Figura 28. Colocación del terreno para asegurar el encofrado (Pachamanca).....	41
Figura 29. Vaciado del concreto en paño del muro anclado.....	42
Figura 30. Desencofrado y tensado de cables.	43
Figura 31. Desprendimiento del concreto por inestabilidad del concreto en el primer anillo.	61
Figura 32. Cantidad de meses por anillos del proyecto milano (Shotcrete) y Armonie (Convencional).....	62
Figura 33. Reducción de tiempo por anillo con shotcrete con respecto al convencional	62
Figura 34. Precio unitario del concreto lanzado. Fuente: Unicon y Binda - Milano	63
Figura 35. Precio unitario del concreto convencional. Fuente: Unicon y Binda - Armonie....	63
Figura 36. Acabo en estado fresco del concreto lanzado. Proyecto Milano.	64
Figura 37. Detalle de unión entre paños con concreto lanzado.	65
Figura 38. Detalle de unión entre paños con concreto lanzado.	65
Figura 39. Reducción de tiempo real con concreto lanzado.	68

Figura 40. Costo por m2 de concreto en diferentes proyectos.....	69
--	----

TABLAS

Tabla 1. Costos directos e indirectos de los dos métodos de muros anclados.	53
<i>Tabla 2.</i> Costos por metro cuadrado de los dos métodos de muro anclados	53
Tabla 3. Cantidad de horas de cada partida de los dos métodos.....	54
<i>Tabla 4.</i> Tiempo total por anillo en meses.....	54
Tabla 5. Puntuación de expertos y responsables de ambos métodos.	55
Tabla 6. Indicadores de calidad	55
Tabla 7. Costos de diferentes proyectos del muro anclado convencional.	56
<i>Tabla 8.</i> Costos por metro cuadrado de diferentes proyectos en Lima con muro anclado convencional.	57
Tabla 9. Costos de diferentes proyectos del muro anclado con shotcrete.	57
<i>Tabla 10.</i> Costos por metro cuadrado de diferentes proyectos en Lima de muro anclado con shotcrete.....	58
Tabla 11. Tiempos totales por anillo de muros anclados con el método convencional.	58
<i>Tabla 12.</i> Tiempos totales por anillo de muros anclados con concreto lanzado.....	59

Capítulo 1: Introducción

El shotcrete, conocido como hormigón proyectado, ha revolucionado la construcción de muros anclados en edificaciones multifamiliares en Lima, introduciendo una técnica innovadora que redefine la forma de crear estructuras sólidas y duraderas (ACI 2008). Esta técnica, que consiste en la proyección de hormigón a alta presión sobre una superficie, crea una capa resistente y adherente que se adapta perfectamente a la base, brindando un soporte adecuado a la estructura principal.

Los muros anclados, elementos esenciales en la construcción de edificios, cumplen la crucial función de transmitir las cargas del edificio al suelo, previniendo deformaciones y garantizando la seguridad de la edificación (Paez, J. M., Ruiz, M. A. y Vargas, E 2018). A lo largo del tiempo, el shotcrete ha emergido como una alternativa superior a las técnicas tradicionales de construcción de muros anclados, destacando por su versatilidad y capacidad de adaptación a diversos terrenos y condiciones climáticas.

La combinación de shotcrete por vía húmeda en edificaciones multifamiliares garantiza estabilidad, calidad en el acabado y menor tiempo de instalación en el cronograma de construcción.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Evaluar el Shotcrete como un método rentable para la construcción de muros anclados en edificaciones multifamiliares en Lima, analizando costo, tiempo, calidad y su comparativa con el muro anclado convencional.

1.1.2. Objetivo Específico

1. Analizar los costos relacionados a muros anclados con shotcrete.
2. Evaluar el tiempo de ejecución de muros anclados con shotcrete.
3. Analizar la calidad de acabado de muros anclados con shotcrete.
4. Realizar el comparativo de costo, tiempo y calidad de acabado en muros anclados con shotcrete y el anclado convencional.

1.2. Pregunta de Investigación

1.2.1. Pregunta general.

¿Es el Shotcrete una alternativa rentable para la construcción de muros anclados en edificaciones multifamiliares en Lima, en comparación con muros anclados convencionales, en términos de tiempo, costo y calidad hasta lo comprendido en el año 2024?

1.2.2. Preguntas específicas.

- ¿Cuál es el tiempo promedio de construcción de un muro anclado con Shotcrete en comparación con muros anclados convencionales?
- ¿Cuáles son los tipos de shotcrete y maquinarias que se usan en este sistema constructivo?
- ¿Cómo impacta el costo total del shotcrete en relación a un muro anclado, desglosado por mano de obra, materiales, equipos y trabajos predecesores?
- ¿Cómo se adapta el Shotcrete a las diferentes características del terreno en Lima?
- ¿Qué necesidades específicas de un proyecto de edificación multifamiliar en Lima pueden ser mejor atendidas con el uso de Shotcrete para muros anclados?
- ¿Qué experiencias y recomendaciones se puede obtener del caso de estudio?
- ¿Cuáles son las mejores prácticas para la preparación del terreno, la mezcla y aplicación del Shotcrete en muros anclados para edificaciones multifamiliares en Lima?

- ¿Cómo afecta la calidad del Shotcrete a su rendimiento y durabilidad en muros anclados para edificaciones multifamiliares?

1.3 Alcance

El presente estudio se enfoca en evaluar la rentabilidad del shotcrete como método para la construcción de muros anclados en edificaciones multifamiliares en Lima. Se analizará el tiempo, costo y calidad de acabado en comparación con el método tradicional de instalación de estos muros, específicamente los muros anclados convencionales. La investigación abarcará el análisis del shotcrete en términos de tiempo de construcción, mano de obra, costos y calidad de acabado. Asimismo, se evaluará la rentabilidad económica del shotcrete frente al anclado convencional, considerando las características específicas del terreno y los requerimientos del proyecto. La finalidad es desarrollar una investigación sobre el shotcrete en muros anclados y su comparativa con el anclado convencional para la estabilización de taludes, y que también contemple normas técnicas y la experiencia local para la aplicación del shotcrete en la construcción de muros anclados en edificaciones multifamiliares en Lima.

1.4. Hipótesis

La hipótesis que se plantea es que el shotcrete es una técnica rentable para construir muros anclados en edificios multifamiliares en Lima, ofreciendo ventajas significativas en términos de costo, tiempo (25% menos de tiempo requerido que los muros anclados convencionales) y calidad de acabado. La viabilidad del shotcrete depende de las características específicas del proyecto, como el tipo de terreno y los requerimientos estructurales. Se espera que el shotcrete sea más rápido en términos de tiempo de construcción, mano de obra y que pueda aplicarse a diversos tipos de edificaciones multifamiliares en Perú, adaptándose a distintas características del terreno y necesidades del proyecto. Además, la rentabilidad

económica del shotcrete frente al muro anclado convencional puede variar según las condiciones específicas del proyecto. Para aplicar el shotcrete en la construcción de muros anclados en edificaciones multifamiliares en Lima, es necesario contar con una guía práctica que considere las experiencias de expertos.

1.5 Justificación

El shotcrete ha transformado la construcción de muros anclados en edificios multifamiliares en Lima, presentando una técnica rentable que cambia la manera de crear estructuras duraderas y con alto estándar de calidad en términos de acabado y durabilidad. A diferencia de los métodos tradicionales como el muro anclado convencional (pachamanca), el shotcrete ofrece ventajas significativas: durabilidad, versatilidad, rapidez en la ejecución y, en algunos casos, costos más bajos. Con esta técnica, se logra una mayor resistencia a la compresión y flexión, lo que garantiza una estabilidad estructural superior y una mejor adherencia a la base, evitando desprendimientos y asegurando la integridad del muro (Muñoz Beltrán, AJ. 2011). Su versatilidad permite su aplicación en superficies irregulares, adaptándose a diversos terrenos y situaciones complejas, y su rápida ejecución reduce los tiempos de construcción, optimizando los recursos. En terrenos desafiantes o con condiciones climáticas adversas, el shotcrete puede resultar más económico (Toledo Garay et al., 2016). Si no se adoptan estas soluciones innovadoras, la construcción de muros anclados en Lima seguiría dependiendo de métodos convencionales, lo que conlleva mayores riesgos de fallas estructurales, incrementos en los tiempos y costos de construcción, y dificultades para adaptarse a terrenos complicados.

1.6 Metodología

La metodología se centra en tres pilares esenciales: costo, tiempo y calidad de acabado, con una comparación detallada entre el uso de shotcrete en muros anclados y método convencional

en edificaciones multifamiliares. Se iniciará con la descripción y evaluación de las actividades y recursos tanto para el shotcrete como para los muros anclados. Posteriormente a ello se evaluará lo siguiente:

Evaluación de costos: Para evaluar los costos, se analizarán todos los gastos relacionados con el shotcrete, incluyendo materiales, mano de obra, equipos y otros gastos indirectos. Estos costos se comparan con el muro anclado convencional, proporcionando una visión completa de las diferencias económicas entre ambas técnicas.

Evaluación del tiempo: Se estudiará la duración de los proyectos que emplean shotcrete, abarcando desde la preparación del terreno hasta el curado y el tiempo total de construcción. Estos datos se comparan con los tiempos de ejecución del muro anclado convencional, permitiendo identificar las ventajas o desventajas en términos de plazos de construcción.

Evaluación de calidad de acabado: Se analizará el impacto que tienen en la calidad de acabado final ambos métodos de instalación tanto el shotcrete como el método convencional del concreto de muros anclados, para ver qué método traerá reprocesos y el costo adicional del mejoramiento del muro.

Recolección de datos: En esta fase, se recopiló información de al menos cinco constructoras en Lima con experiencia en shotcrete en muros anclados y muros anclados convencionales. Se contactará a estas empresas para obtener detalles sobre proyectos específicos, incluyendo valorizaciones, cronogramas y otras características clave. Además de los comentarios relevantes de su experiencia en ambos métodos de instalación del muro anclado. La información se organizará y analizará para identificar patrones en costos y tiempos de ejecución, comparando los proyectos que utilizan shotcrete con el muro anclado convencional.

Estudio de caso: Se elegirá una obra en Miraflores que utiliza shotcrete en muros anclados, como el proyecto Milano, considerando la disponibilidad de información, la complejidad del proyecto y la accesibilidad. Se realizarán visitas a la obra para observar el proceso de

construcción, documentar actividades, materiales y equipos, y entrevistar al personal sobre costos y tiempos de ejecución. Esta información se analizará y se comparará con los datos recolectados anteriormente, extrayendo conclusiones y recomendaciones específicas. La información obtenida se compara con los datos del proyecto Armonie que es muro anclado convencional (pachamanca).

Análisis y comparación de resultados: En la etapa final, se realizará un análisis detallado de todos los datos recopilados utilizando métodos estadísticos y gráficos para identificar tendencias. Los resultados se compararán con el caso de estudio, previos para extraer conclusiones sólidas sobre los costos y tiempos asociados con el uso de shotcrete en muros anclados. Se ofrecerá una visión completa sobre las ventajas y desventajas del shotcrete en comparación con el método tradicional de realizar los muros anclados, identificando las condiciones en las que es más recomendable su uso. Se considerarán aspectos como el tipo de suelo y la experiencia de la constructora, ya que estos factores pueden tener un impacto significativo en los costos y tiempos de ejecución.



Figura 1: Metodología de la tesis. Fuente: Adaptación personal.

Capítulo 2: Estado del Arte

En el contexto de la construcción de sótanos y la estabilización de taludes, el siguiente estado del arte explora diversos métodos y estudios relevantes que se centran en el comportamiento estructural, costos, plazos, métodos de aplicación y equipos utilizados en diferentes condiciones específicas. Se analizan las ventajas y desafíos de los muros anclados y el shotcrete, destacando su aplicación en suelos diversos y en la optimización de costos y tiempos de construcción. Además, se aborda la evolución tecnológica y la importancia de estos métodos en la ingeniería civil, proporcionando un marco teórico integral para la estabilización de taludes y la construcción de estructuras en sótanos.

2.1. Antecedentes

Borja Ccanto, M. (2020), en su tesis “Comportamiento estructural y proceso constructivo con presencia de napa freática en estructuras de sostenimiento de los sótanos de las edificaciones en tiempos de Covid-19”, se enfoca en evaluar el comportamiento estructural y el proceso constructivo de las estructuras de sostenimiento, como muros pantalla y muros anclados, teniendo como objetivo identificar y analizar las características y propiedades mecánicas y físicas de los suelos y la napa freática, así como las estructuras de sostenimiento en presencia de estas condiciones.

Este estudio comprende sótanos en edificaciones con presencia de napa freática en la ciudad de Huancayo, Junín en temporada de COVID-19. Este análisis es descriptivo, explicativo y aplicado, abarcando edificaciones con sótanos en dicha ciudad.

El autor resalta que el proceso constructivo de estructuras de sostenimiento flexibles (muros anclados) son económicamente viables, despreciando la presencia de la napa freática.

Esta tesis es relevante, ya que aborda el estudio de los procesos constructivos, proponiendo alternativas que optimicen el rendimiento y la seguridad en la construcción de sótanos

utilizando muros anclados, aportando así a la presente investigación desde un punto de vista que afianza la ocupación de muros flexibles en sostenimiento de taludes en edificaciones.

Ugaz Sánchez, J. H. (2018), en su tesis “Análisis técnico del uso de muros anclados y empotrados para excavaciones profundas en suelos gravosos y rellenos - Lima, Perú”, plantea realizar un análisis comparativo entre los sistemas de muros anclados y muros empotrados para estabilizar excavaciones profundas en suelos gravosos y rellenos. Es un estudio que incluye proyectos de excavaciones profundas realizadas en distritos como San Isidro, San Borja, Lince, Magdalena, Miraflores, entre otros. Es una investigación descriptiva, observacional, no experimental y transversal.

El autor resalta que el método de muros anclados es utilizado en el 90% de los proyectos de Geo fundaciones del Perú S.A.C. en Lima, pero se observa que este método podría verse afectado en el futuro debido a la descentralización y la expansión a distritos con suelos más deformables, como San Juan de Lurigancho, San Miguel, El Callao, y Rímac. Por ello, se desarrollaron dos casos prácticos aplicando diseños con software especializado para ambos tipos de muros, concluyendo que ambos métodos tienen ventajas y desventajas específicas que deben ser consideradas según las características del suelo de cada proyecto.

Esta tesis es relevante, ya que demuestra la existencia mayoritaria de los muros anclados en Lima y su posible expansión en suelos más deformables, lo que lo convertiría en costoso su instalación, por tanto, ayuda a la presente investigación en la búsqueda de métodos actualizados que reduzcan tiempo y costos de instalación como viene siendo el shotcrete en muros anclados en edificaciones.

Muñoz Beltrán, A.J. (2011), en su tesis “Manual para el proceso de diseño y construcción de muros anclados de concreto lanzado”, Quito, Ecuador, presenta un manual que tiene como objetivo proporcionar un procedimiento detallado para el diseño y construcción de

muros anclados de concreto lanzado (shotcrete). El estudio se enfoca en proyectos de construcción en entornos geotécnicos desafiantes. La metodología de la investigación es descriptiva, basada en revisiones bibliográficas y aplicaciones prácticas, incluyendo la caracterización geotécnica y la implementación de anclajes en taludes. Se realizaron perforaciones a rotación-percusión para obtener muestras de suelo y ensayos de penetración estándar (SPT) para definir un perfil estratigráfico uniforme.

El autor concluye que el uso de muros anclados con concreto lanzado es efectivo para la estabilización de taludes, destacando la importancia de un diseño adecuado y una implementación rigurosa. Los resultados obtenidos muestran que los anclajes pueden soportar las cargas requeridas y garantizar la estabilidad estructural a largo plazo. El estudio proporciona guías detalladas sobre la selección de materiales, métodos de construcción y consideraciones de diseño específicas para asegurar la eficacia de los muros anclados.

Esta tesis es relevante, ya que aporta información en la presente investigación, desde el uso del shotcrete hasta el diseño del mismo, la cual ayuda a comprender el beneficio que presenta este método en zonas de difícil acceso y así podremos determinar la influencia en costo y plazo en un proyecto de edificación.

Talavera Gazga, S.O. (2023), en su tesis "Optimización de lanzado de shotcrete para reducir costos operativos, CJ NETCOM SAC – Cía. Minera Raura S.A. 2020, Ayacucho, Perú", tiene como objetivo reducir los costos operativos mediante la optimización de la mezcla utilizada en el proceso de lanzado de shotcrete con un equipo PUTZMEISTER SPM 4210 que opera en la galería 651 Nv 100. Este estudio incluye entrevistas a los trabajadores que forman parte del proceso de lanzado de shotcrete. Es una investigación descriptiva, observacional y no experimental.

La autora concluye que la mezcla actual tiene costos altos que pueden ser optimizados con la modificación del diseño considerando la fibra metálica, lo cual reduce los costos y mejora la calidad del shotcrete mediante menor proyección y mejor absorción de energía, durabilidad y seguridad del sostenimiento en las labores.

Esta tesis es relevante, ya que demuestra la optimización en el uso del shotcrete para la reducción de costos operativos en la minería, lo cual puede ser extrapolado a otros contextos como la construcción de edificaciones multifamiliares. La implementación del shotcrete en estos proyectos puede resultar en una disminución significativa del tiempo y los costos de instalación, en comparación con métodos tradicionales. Esto es especialmente útil en suelos más deformables, donde la instalación de muros anclados podría ser costosa.

Viljoen, B.C. (2015), en su reporte "Sprayed concrete for underground excavations — a status report", Durban, Sudáfrica. El objetivo es hacer consciente al lector de los problemas relacionados con el concreto proyectado que enfrentan los ingenieros durante el diseño y construcción de túneles y otras obras subterráneas. Los participantes son las obras subterráneas del Proyecto de Agua de las Tierras Altas de Lesoto, que incluye aproximadamente 50 km de túneles. Es una investigación técnica descriptiva basada en la experiencia práctica y la revisión de especificaciones técnicas, métodos de aplicación y control de calidad.

El autor resalta que el concreto proyectado será una parte integral de los sistemas de soporte temporal y permanente de roca que se instalarán, y que la durabilidad del concreto proyectado es importante para el revestimiento final de los túneles. Las especificaciones se desarrollan para garantizar la calidad y durabilidad del concreto proyectado en las condiciones de servicio agresivas previstas en estos proyectos subterráneos.

Este artículo es relevante ya que demuestra la importancia del concreto proyectado (shotcrete) en la construcción de túneles y otras obras subterráneas, resaltando su durabilidad y la

necesidad de control de calidad en su aplicación. Esto es de sumo valor para edificaciones multifamiliares donde la eficiencia y la durabilidad son esenciales para garantizar la seguridad y reducir costos a largo plazo. La conclusión del autor, que subraya la integración del concreto proyectado como una solución viable y duradera en el soporte de túneles, ayuda a mi investigación al proporcionar un marco de referencia sobre las ventajas del shotcrete. Esto incluye la posibilidad de mejorar la eficiencia y la calidad en la construcción de muros anclados en edificaciones multifamiliares, reduciendo así el tiempo y los costos de instalación.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Estabilización de taludes: Concepto e importancia

La estabilización de taludes es una práctica que comprende diversas técnicas y procedimientos diseñados para asegurar la estabilidad de pendientes naturales o artificiales del terreno, siendo una alternativa en ámbitos donde los taludes presentan riesgos significativos para la seguridad de personas, infraestructuras y el medio ambiente. En geotecnia, la estabilidad de un talud se refiere a su capacidad de mantener su forma y funcionalidad sin deformaciones o movimientos incontrolados, influenciada por factores como las características del suelo, las condiciones hidrológicas, la geometría del talud, la presencia de vegetación y las acciones antrópicas. Perez (2023), afirma que la inestabilidad de los taludes puede resultar en deslizamientos, erosión e inundaciones, ocasionando daños materiales y poniendo en riesgo la vida de las personas. Por ello, se implementan medidas preventivas de estabilización según las especificidades de cada talud, tales como la siembra de vegetación, técnicas de bioingeniería, sistemas de drenaje, muros de contención, refuerzos internos y modificaciones geométricas. La estabilización de taludes en proyectos de construcción en la ingeniería civil es necesario, ya que asegura la estabilidad y seguridad de las estructuras situadas en terrenos inclinados o próximos a pendientes. Se emplean diversas técnicas para reforzar estos taludes y evitar su

colapso, protegiendo de este modo tanto las edificaciones como a sus ocupantes. Puede ser necesario utilizar muros de contención de concreto armado, gaviones o tierra armada para estabilizar el material del talud y prevenir su desprendimiento. El diseño y la construcción de estos muros deben tener en cuenta las características del talud, las cargas que deben soportar y las condiciones geotécnicas del terreno (Ingeniería real, 2023).

En cuanto a las edificaciones multifamiliares, la importancia de la estabilidad de un talud radica en que la edificación que se va construir no afecte los sectores aledaños y que la construcción sea lo más seguro posible. Es por eso que, se emplea diferentes metodologías para la estabilización de taludes, desde calzaduras para excavaciones pequeñas hasta muros anclados para excavaciones profundas.

2.2.2. Muros anclados: Definición e importancia

Los muros anclados son trascendentales en la ingeniería civil para estabilizar taludes y excavaciones profundas. Estos sistemas combinan un muro de sostenimiento con anclajes pretensados, creando una estructura que retiene el material del terreno y previene su desprendimiento. El muro de sostenimiento puede ser de hormigón armado, gaviones, prefabricados u otros materiales resistentes, y su función principal es contener el material del talud o la excavación. Los anclajes, que son barras metálicas o cables de acero tensados, se fijan en el suelo por debajo del talud, transfiriendo las cargas del muro al terreno para evitar deslizamientos. Además, elementos de conexión unen el muro a los anclajes, permitiendo una distribución uniforme de las cargas (Rodríguez, sf).

Los muros anclados se utilizan en diversas aplicaciones, como la estabilización de taludes naturales en zonas montañosas o con pendientes pronunciadas, y en excavaciones profundas, permitiendo alcanzar mayores profundidades sin comprometer la estabilidad del terreno circundante. También son efectivos en obras en suelos blandos, como arcillas o arenas sueltas,

donde estabilizan terrenos con baja capacidad portante. Asimismo, se emplean en la construcción de infraestructuras en áreas con desniveles, facilitando la construcción de puentes, carreteras, túneles y otras estructuras en terrenos inclinados o montañosos (Ramírez, 2024).

En cuanto a edificaciones en Lima, este método es el más utilizado por el tipo de suelo y por la ventaja que posee para llegar a profundidades altas y esto es un beneficio en una ciudad donde los estacionamientos son necesarios.



Figura 2: Estabilización de talud con muros anclados

Tomado de “Concepto y clasificación de los anclajes” de Victor Yepes por la Universidad politécnica de valencia, 2020.

2.2.3. Shotcrete.

2.2.3.1. Historia.

A principios del siglo XX, el desarrollo del cemento Portland en Lehigh Valley, Pensilvania, y la fundación del American Concrete Institute (ACI) y la Portland Cement Association sentaron las bases para la evolución del shotcrete. La introducción de la primera máquina de cemento por Carl E. Akeley en 1910 y el término "gunite", que se refiere a la

técnica constructiva de lanzar concreto a alta presión, en 1912 revolucionaron la aplicación de mortero a alta velocidad. En la década de 1920, el uso del “gunite” se expandió en Norteamérica, impulsando proyectos de construcción y reparación de estructuras. Los años 50 vieron la introducción del "Rotary Gun", permitiendo mezclas de gran volumen y agregados grandes. Durante los años 70, el shotcrete, ahora conocido también como "concreto proyectado", vio avances significativos con innovaciones en equipos y materiales, incluyendo el uso de refuerzos de fibra, sílice y aditivos de alto rendimiento. La adopción de bombas de concreto y el desarrollo de equipos móviles y robóticos hicieron el proceso más eficiente, especialmente en la construcción subterránea. La definición formal de "shotcrete" por el ACI, incluyendo métodos de mezcla seca y húmeda, marcó una nueva era para la industria, consolidando el shotcrete como un método viable y avanzado para aplicaciones estructurales y cosméticas (Yoggy, 2020).

El período posterior a la Segunda Guerra Mundial vio un aumento significativo en el uso del hormigón proyectado y la introducción de nuevos tipos de equipos de entrega y métodos mejorados de aplicación del hormigón proyectado (Pye, 2006).

De acuerdo a lo dicho por Pye e Yoggy, el *shotcrete* se convirtió en un método de aceptación rápida en el mercado de la construcción y la minería. Su adopción generalizada se debe a las múltiples ventajas que ofrece en términos de resistencia, durabilidad, rapidez de ejecución y capacidad de adaptación a diversas condiciones. Estos avances han permitido que el shotcrete sea utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, desde la estabilización de taludes y la construcción de túneles hasta la creación de muros anclados en edificaciones.

2.2.3.2. Definición.

El término "hormigón proyectado" fue acuñado por la American Railway Engineering Association (AREA) alrededor de 1930 para proporcionar un término genérico que abarcara

los muchos procesos patentados de mezcla seca, como Gunita, Blastcrete, Blocrete, Jetcrete, Guncrete, Spraycrete, Nucrete, etc. Inicialmente, el ACI utilizó el término "mortero colocado neumáticamente" para describir el proceso de mezcla seca en su práctica recomendada para la Aplicación de Mortero por Presión Neumática (ACI 805-51). Sin embargo, para mayor claridad y consistencia, el término "hormigón proyectado" se utilizó en el texto de esta primera práctica recomendada por el ACI. Esto estandarizó el uso del término en Estados Unidos, Canadá y todos los países que basan su tecnología de hormigón proyectado en los documentos del ACI. En contraste, en Europa y otros lugares, se utiliza más comúnmente el término "hormigón rociado" (Pye, 2006).

Como afirma Pye J.H en su libro "Concrete and Concrete-Making Materials", El proceso de hormigón proyectado es un método de construcción único que utiliza aire comprimido para proyectar neumáticamente mortero o concreto contra una superficie a alta velocidad. Actualmente, el hormigón proyectado, se sustenta, en la terminología relacionada con el concreto y los Agregados de Concreto de ASTM (C 125) como "un mortero o concreto que se proyecta neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie". Se define, de manera similar en la Guía de Hormigón Proyectado (ACI 506-95). El término abarca dos procesos distintos: hormigón proyectado de mezcla seca y de mezcla húmeda. ASTM C 125 define estos procesos de la siguiente manera: "hormigón proyectado de mezcla seca, en el cual la mayor parte del agua de mezcla se añade en la boquilla"; y "hormigón proyectado de mezcla húmeda, en el cual la mayoría de los ingredientes, incluyendo el agua, se mezclan antes de ser introducidos en la manguera de entrega". Una descripción más completa de cada proceso, las propiedades físicas plásticas y endurecidas del hormigón proyectado in situ, el rango y la variedad de aplicaciones, y los atributos asociados se pueden encontrar en la Guía de Hormigón Proyectado y otros documentos del comité ACI 506 (Pye, 2006).



Figura 3: Aplicación del shotcrete en estabilización de taludes.

Tomado de “Conservation Wiki, Part of Designing Buildings” (2023) del artículo “Shotcrete technology”.

2.2.3.3. Avances tecnológicos del shotcrete.

El shotcrete, una mezcla de cemento proyectada neumáticamente a alta velocidad, ha mostrado significativos avances tecnológicos. Esta técnica ofrece ventajas frente al concreto tradicional, como mejor compactación sin vibración y reducción en el uso y tiempo de encofrado, lo cual disminuye costos y mejora la seguridad y condiciones ambientales. El shotcrete se aplica en situaciones donde el encofrado es impráctico, en áreas de difícil acceso, y para capas delgadas o de espesor variable. Existen dos técnicas de aplicación: el proceso de mezcla seca y el de mezcla húmeda, cada una con sus ventajas y desventajas. Los avances incluyen la incorporación de aditivos químicos, materiales cementicos suplementarios y fibras de refuerzo, mejorando la durabilidad y resistencia del material. El shotcrete es usado en la rehabilitación de edificaciones históricas, demostrando su eficacia y adaptabilidad en diversas aplicaciones estructurales (Bernardo et al., 2015).

2.2.3.4. Durabilidad en el soporte subterráneo.

La durabilidad del shotcrete en soporte subterráneo se logra mediante la combinación de técnicas de aplicación avanzadas, como los procesos de mezcla húmeda y seca, y el uso de aceleradores de fraguado que permiten un rápido desarrollo de resistencia. La mezcla húmeda, preferida en túneles por su mayor rendimiento y menor producción de polvo, garantiza una mejor adhesión y compactación. Factores como la composición del hormigón, la experiencia del operador, y las condiciones de curado en ambientes subterráneos húmedos también influyen en su durabilidad. Además, se deben considerar los ataques químicos (lixiviación, carbonatación) y físicos (ciclos de congelación y descongelación), así como la corrosión del acero incrustado. La continua mejora en tecnologías de aplicación y una comprensión profunda de los mecanismos de deterioro son cruciales para optimizar la vida útil del shotcrete en estas aplicaciones (Galán et al., 2019).

La durabilidad proporcionada por el método de inyección de concreto en muros anclados para edificaciones multifamiliares es alta, lo que lo convierte en una opción práctica. En este tipo de estructuras, es considerable contar con un alto índice de durabilidad debido a la exposición química a la que podrían estar sometidas.

2.2.3.5. Permeabilidad del shotcrete

La permeabilidad del shotcrete, o concreto proyectado, es un factor crítico que influye significativamente en su durabilidad y desempeño estructural. El shotcrete es conocido por su aplicación en ambientes adversos, como túneles, taludes y otras estructuras subterráneas, debido a su capacidad de endurecerse rápidamente y su alta resistencia mecánica en edades tempranas. La permeabilidad del shotcrete se refiere a la capacidad del material para permitir el paso de líquidos y gases a través de su estructura, lo cual es crucial en la evaluación de su resistencia a diversos tipos de deterioro ambiental.

Wang J. (2015), comprueba que el shotcrete con contenido de fibras de acero y cenizas volantes presenta una microestructura más densa, lo que resulta en una permeabilidad significativamente menor en comparación con el concreto ordinario. Esta reducción en permeabilidad mejora la resistencia del shotcrete a factores de corrosión, como el ataque de sulfatos, la difusión de iones de cloruro y la carbonatación. Por ejemplo, se ha encontrado que el shotcrete reforzado con fibras de acero no solo mejora la resistencia a la compresión y la tracción por división en edades tempranas, sino que también ofrece una mejor impermeabilidad y durabilidad bajo condiciones de corrosión ambiental.

La impermeabilidad en edificaciones multifamiliares en la ciudad de Lima es vital para el buen desempeño de los muros anclados. La ciudad presenta un nivel freático variable que puede afectar las excavaciones. Al garantizar la impermeabilidad, se favorece la instalación de estos muros, brindando mayor seguridad y estabilidad a las estructuras.

2.2.4. Shotcrete vía seca

León Condor (2018), afirma que el shotcrete por vía seca implica la mezcla y transporte de materiales secos a través de mangueras con aire comprimido, añadiendo el agua en la boquilla. Este método puede incluir un acelerante, ya sea en la boquilla o previamente mezclado con los materiales secos. Aunque es artesanal y dependiente de la habilidad del operador, presenta ventajas como la adaptabilidad a espacios reducidos y una rápida aplicación en áreas con flujo de agua. Sin embargo, genera polvo que representa riesgos de salud y la proyección manual puede afectar la calidad del acabado. La técnica es exigente físicamente y la calidad de la mezcla puede variar, además de presentar problemas de compatibilidad entre el cemento y los acelerantes.

Según lo descrito por el autor, la proyección de concreto mediante este método no sería adecuada para la instalación en muros anclados en ciudades metropolitanas, donde se debe

mantener un estricto control del polvo y el ruido. Además, este método conlleva costos más elevados, lo cual dificulta su aplicación en proyectos de menor escala. En cambio, se utiliza más frecuentemente en proyectos mineros, especialmente en áreas con alta napa freática, debido a sus ventajas específicas en dichos entornos.



Figura 4: Inyección de concreto por vía seca

Tomado de la revista “Putzmeister” 2024 con la portada “¿Cuál es el equipo de proyección de hormigón más rentable para su proyecto?”

2.2.4.1. Maquinarias que se utilizan en este sistema

El shotcrete por vía seca con equipo manual implica la mezcla de cemento y agregados sin agua, los cuales se transportan neumáticamente a través de mangueras o tuberías hasta una boquilla. En la boquilla, se añade agua a la mezcla seca antes de proyectarla sobre la superficie. Este método permite un mayor control de la relación agua/cemento y es particularmente útil en trabajos donde el acceso al agua es limitado o en proyectos que requieren una rápida puesta en marcha. Además, esta técnica permite la adición de aditivos y fibras para mejorar las propiedades del hormigón proyectado (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), 2015).



Figura 5: Equipo manual para el shotcrete por vía seca.

Tomado de la guía Chilena del Hormigón Proyectado, segunda edición del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2015)

2.2.5. Shotcrete vía húmeda

El método por vía húmeda del shotcrete consiste en preparar una mezcla de cemento y agregados dosificados por peso, a la cual se le añade agua y, opcionalmente, aditivos que no sean acelerantes o que aceleren el proceso de fraguado, dependiendo el caso. Esta mezcla es bombeada a través de mangueras hacia una boquilla donde se inyecta aire comprimido y un acelerante (si es necesario), antes de ser proyectada de forma continua sobre la superficie a tratar (Camarena, 2016).

Franklin Camarena (2016), dice que este método se utiliza en edificaciones como túneles y minas subterráneas. En el caso específico de la técnica NATM (Nuevo Método Austriaco de Túneles), se emplea el método por vía húmeda para asegurar que el shotcrete actúe como

soporte inicial, controlando eficazmente el rebote de fibras y garantizando un contacto completo con el macizo rocoso.

En el caso de muros anclados, el *shotcrete* se aplica para proporcionar un revestimiento resistente que distribuye las cargas de manera uniforme y evita deslizamientos o desprendimientos del material del talud. Este método es especialmente útil en terrenos inestables donde la rápida aplicación y el fraguado del *shotcrete* contribuyen a mejorar la seguridad de la estructura de soporte. Además, el uso de aditivos en el *shotcrete* por vía húmeda puede mejorar sus propiedades mecánicas, aumentando su durabilidad y capacidad de carga. La aplicación de *shotcrete* en muros anclados y taludes se realiza generalmente con mallas de refuerzo que se colocan antes de la proyección del concreto (ICH, 2015). Esta combinación de técnicas proporciona un sistema de sostenimiento que soporta las cargas laterales y mejora la cohesión del terreno. Esta información se puede corroborar con el análisis realizado por Camarena Cosme, quien destaca la importancia de la resistencia compresiva del *shotcrete* por vía húmeda y su capacidad para trabajar como pared autoestable en diferentes alturas.



Figura 6: Aplicación del shotcrete por vía húmeda por UNICON

Tomado de la presentación “Shotcrete Vía Húmeda Su Importancia como elemento de Sostenimiento en Minería” del Ingeniero Diaz Lazarovich, del Instituto de ingenieros de minas del Perú.

2.2.5.1. Maquinarias que se utilizan en este sistema

Equipo robotizado: El uso de equipos robotizados para la proyección de shotcrete por vía húmeda es altamente eficiente, especialmente en proyectos subterráneos, mejorando la seguridad del operador. El proceso incluye la bomba de hormigón de doble pistón, que asegura un flujo continuo y uniforme, el brazo de proyección que alcanza hasta 17 metros sin necesidad de andamios, y el compresor de aire que proporciona la energía cinética necesaria para la compactación adecuada del hormigón. El sistema de control gestiona la dosificación del acelerante y el funcionamiento de la bomba, mientras que el control remoto permite operar el equipo desde una zona segura. Todo el equipo está montado sobre un chasis motorizado, facilitando el acceso a terrenos difíciles (Putzmeister, 2024)

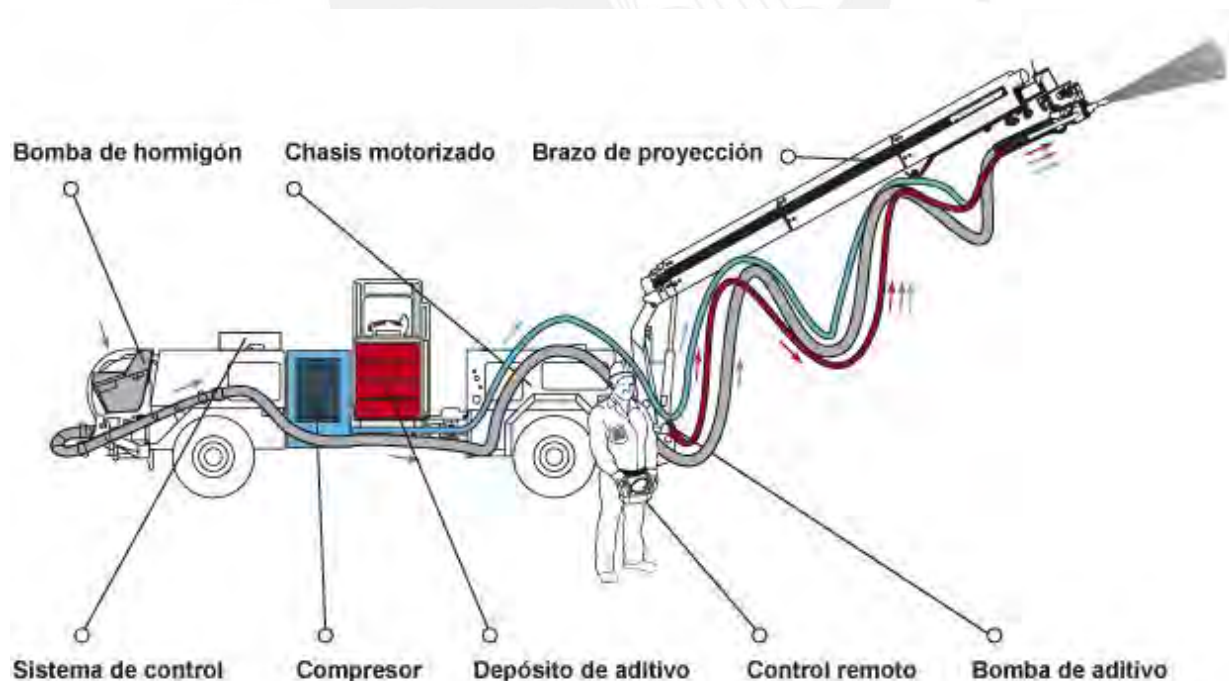


Figura 7: Equipo robotizado para shotcrete para vía húmeda (a).



Figura 8: Control del equipo en campo a base de un control remoto (b).

Tomado, (a) y (b), de la revista: Best Support Underground, Putzmeister. Del artículo “Del artículo “¿Cuáles son los principales componentes de un equipo robotizado para shotcrete por vía húmeda?

Equipo Manual: El shotcrete por vía húmeda con equipo manual se refiere al proceso de aplicación de hormigón proyectado mediante el uso de una boquilla, donde la mezcla de hormigón ya contiene agua antes de ser impulsada por el equipo hacia la superficie a tratar. Este método se usa para trabajos en la construcción civil, la reparación de estructuras de hormigón y construcción de muros anclados, ofreciendo un mejor control del producto y una mayor eficiencia en la aplicación. La mezcla se transporta usualmente mediante un camión mixer y se bombea hasta la boquilla desde donde se proyecta, logrando una cobertura uniforme y minimizando el rebote del material (ICH, 2015).



Figura 9: Equipo manual para el shotcrete por vía húmeda.

Tomado de la guía Chilena del Hormigón Proyectado, segunda edición del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2015).

CAPÍTULO 3

3.1. Sistemas y tipos de instalación de muros

Según Skyciv Engineering (2022), Los muros de contención son estructuras diseñadas para resistir la presión lateral del suelo y otras fuerzas. Existen varios tipos de muros de contención, cada uno con características y aplicaciones específicas:

- a. Muro de contención por gravedad: Este tipo de muro depende de su propio peso para resistir la presión del suelo. Está construido generalmente de piedra, hormigón o mampostería. Su diseño suele incluir una base más ancha que la parte superior para aumentar la estabilidad.

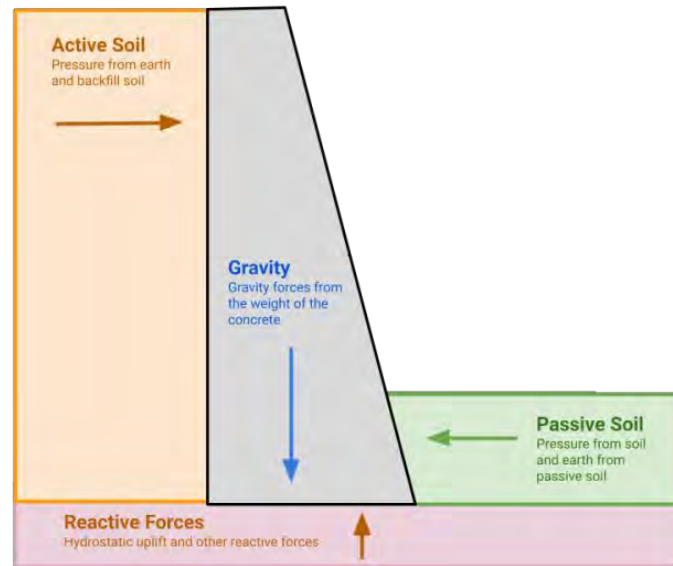


Figura 10. Diagrama de fuerzas que interactúan en un muro de contención por gravedad.

Tomado de la web Sky Civ, tipos de muros de contención, muros de gravedad (2022).

- b. Muro de contención en voladizo: Similar al muro de gravedad, pero con una base extendida que ayuda a resistir el vuelco y el deslizamiento. Este diseño permite usar menos material, ya que la base proporciona resistencia adicional.

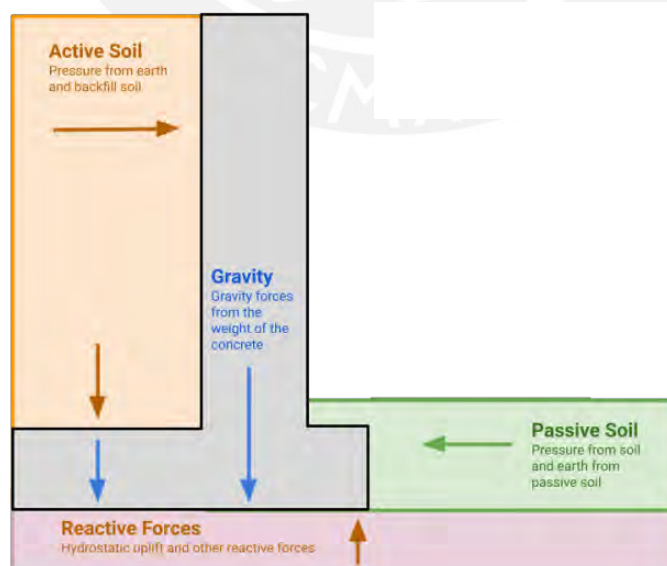


Figura 11. Diagrama de fuerzas que interactúan en un muro de contención en voladizo.

Tomado de la web Sky Civ, tipos de muros de contención, muros de contención (2022).

- c. Muro de contención de tablestacas: Hecho de láminas de acero, concreto, madera o vinilo que se clavan en el suelo. Este tipo es común en situaciones donde el espacio es reducido y se requiere una solución rápida y eficaz.

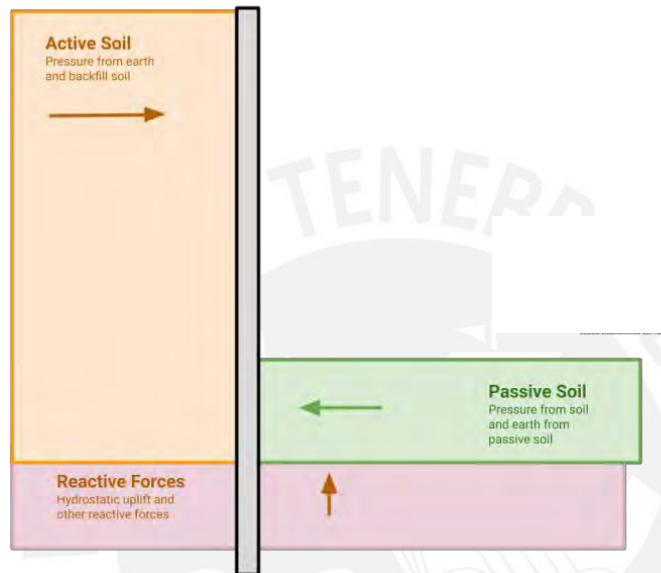


Figura 12. Diagrama de fuerzas que interactúan en un muro de contención con tablestacas.

Tomado de la web Sky Civ, tipos de muros de contención, muros de contención con tablestacas (2022).

- d. Muro de contención anclado: Utiliza anclajes que se insertan en el suelo o en la roca para proporcionar estabilidad adicional. Es ideal para situaciones donde se requieren muros delgados, pero con alta resistencia, como en áreas urbanas con espacio limitado.

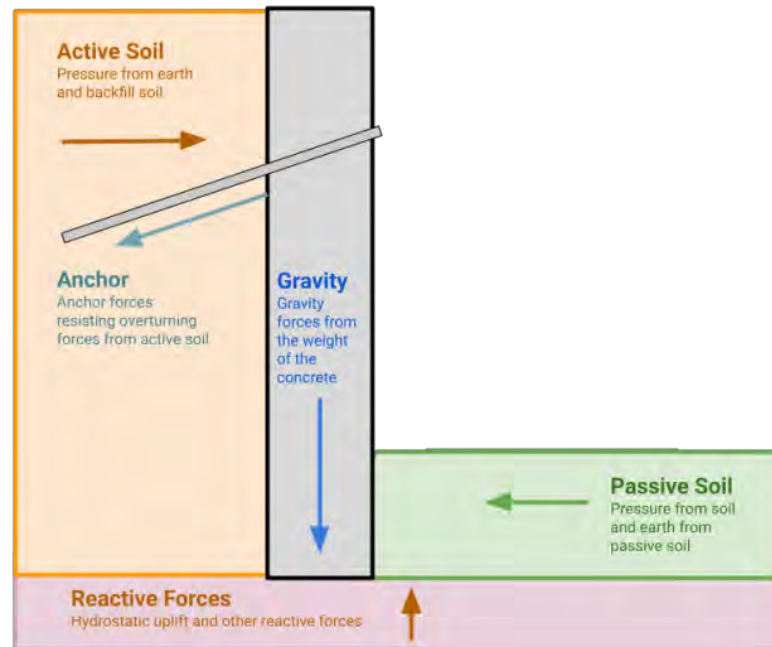


Figura 13. Diagrama de fuerzas que interactúan en un muro de contención con muros anclados.

Tomado de la web Sky Civ, tipos de muros de contención, muros de contención con muros anclados (2022).

- e. Muro anclado con *shotcrete*: Este tipo de muro combina los principios del muro anclado con la técnica del *shotcrete* (concreto proyectado). En este sistema, el *shotcrete* se aplica directamente sobre el suelo excavado para crear una superficie de contención, y los anclajes se insertan para aumentar la estabilidad. El *shotcrete* permite cubrir superficies irregulares y proporciona una solución duradera y resistente.

3.2. Muros anclados con *shotcrete* (Sistema Unianclado®)

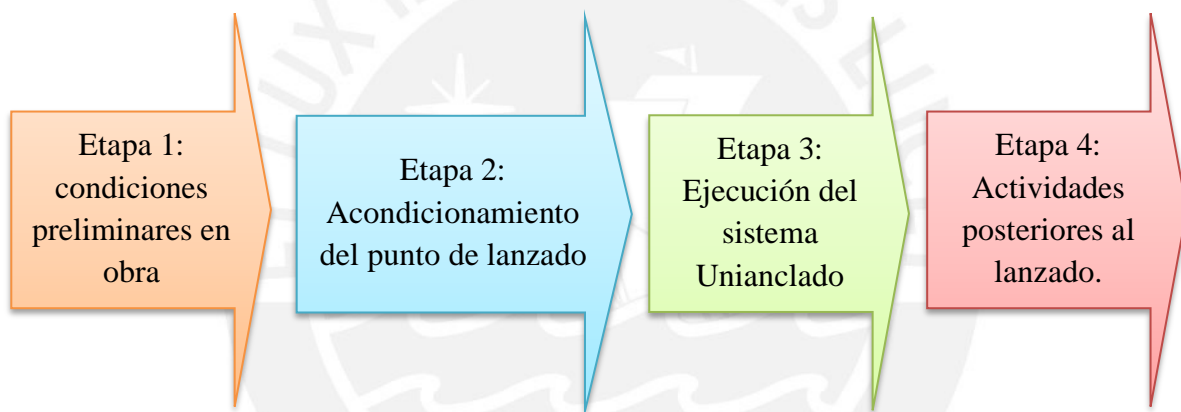
3.2.1. Sistema Unianclado®.

Los muros anclados y contra terreno se utilizan en edificaciones residenciales, comerciales, industriales, entre otros. El concreto se proyecta directamente sobre la armadura de acero, lo que elimina la necesidad de encofrados. Este método optimiza la eficiencia en la construcción de estos muros, logrando un ahorro promedio del 25% en los tiempos de ejecución en

comparación con los sistemas constructivos tradicionales, lo que aumenta la productividad en la obra (UNICON, 2024).

El sistema Unianclado, desarrollado por la empresa Unión de concreteras S.A. UNICON, una de las principales concreteras en Perú, fue lanzado a finales de 2019. Este sistema combina el uso de concreto proyectado con técnicas de anclaje, lo que permite agilizar la construcción de muros anclados y mejorar los tiempos de ejecución en obra. Con este sistema, Unicon se ha consolidado en el mercado de la construcción civil como uno de los principales proveedores y líder en su sector.

Este sistema, según Unicon, presenta 4 etapas en su proceso constructivo:



3.2.2. Proceso constructivo de muros anclados con *shotcrete*.

3.2.2.1. Etapa 1: Perforación y colocación de cables de anclaje.

Se realiza una perforación en el terreno con la profundidad establecida según el estudio de suelos, a través de la cual se introducirán los cables de anclaje. Después de su colocación, se continúa con la inyección de *grout*.

3.2.2.2. Etapa 1: Excavación localizada del terreno.

Se lleva a cabo utilizando maquinaria pesada hasta llegar al nivel subterráneo deseado. Es importante evitar excavar de más, ya que esto incrementaría el espesor del muro en contacto con el terreno, lo que resultaría en un mayor consumo de material, aumento del peso de la estructura y mayores demandas en el sistema de apuntalamiento.



Figura 14. Excavación localizada del paño. Fuente: Propia.

3.2.2.3. Etapa 1: Perfilado del paño.

Según las condiciones del terreno, la excavación se realiza con una excavadora y se ajusta manualmente para garantizar la verticalidad y evitar variaciones en el grosor del muro. Luego, se aplica una fina capa de estabilizador (cemento y agua) sobre el terreno, que debe hacerse el día anterior o hasta 4 horas antes. Un perfilado adecuado reduce el desperdicio de concreto, mientras que cualquier socavación aumentaría el volumen de concreto y el peso de la estructura, lo que requiere refuerzos en el apuntalamiento. Posterior a esto se realiza el lanzado manual de la lechada (cemento y agua) para evitar pequeños desprendimientos a la hora del lanzado del concreto.



Figura 15. Perfilado y lanzado manual de lechada en muro. Fuente: Propia.

3.2.2.5. Etapa 1: Colocación de la armadura de acero y su respectivo apuntalamiento.

La malla de acero de refuerzo se instala de acuerdo con la configuración especificada en los planos estructurales. Los puntales se apoyan contra el terreno y sobre la cara externa del acero para darle rigidez a la malla. Estos puntales deben descansar sobre un elemento bien anclado al suelo, recomendándose el uso de "muertos" para asegurar su fijación. Las dimensiones del muro, las condiciones del terreno y las cargas de sujeción en cada lado determinan las necesidades de apuntalamiento.



Figura 16. Habilitación de acero y apuntalamiento. Fuente: Propia.

3.2.2.6. Etapa 1: Colocación de compuertas.

3.2.2.7. Etapa 1: Colocación de guías.

3.2.2.8. Etapa 2: Nivelación de terreno.

3.2.2.9. Etapa 2: Instalación de andamios.

Para optimizar la productividad y asegurar la seguridad, es necesario proporcionar e instalar un andamio normado multidireccional, correctamente arriostrado. La longitud del andamio debe coincidir con la del muro, y su ancho debe ser como mínimo de 90 cm.



Figura 17. Instalación de andamios multidireccional Fuente: Propia.

3.2.2.10. Etapa 2: Protección Adicional.

Se cubren con plástico los cables de tensado, el andamio instalado y la base de la estructura, con el propósito de protegerlos.



Figura 18. Protección adicional. Fuente: Propia.

3.2.2.11. Etapa 3: Colocación de la compresora de aire.

Se coloca estratégicamente una compresora de aire para la proyección del concreto. La ubicación de este equipo facilita la apertura de paños adyacentes a esta.

3.2.2.12. Etapa 3: Instalación de línea de bombeo.

La línea de bombeo va desde el punto de descarga de concreto hasta la zona de proyección, utilizando tuberías metálicas de 4" conectadas a mangueras flexibles de 2 1/2" mediante un reductor. A partir del segundo anillo, se necesita un montante. Se recomienda que la línea sea lo más corta posible y cubra todos los muros programados, para evitar interrupciones y cambios de posición que generen demoras y desperdicio de concreto.



Figura 19. Instalación de la línea de bombeo

3.2.2.13. Etapa 3: Proyección del concreto.

Una cuadrilla de lanzado completa el muro proyectando el concreto de forma perpendicular, comenzando por la primera mitad y cubriendo toda la longitud hasta la malla exterior de acero. Luego, suben al andamio para finalizar la segunda mitad. Durante la proyección, la manguera y el difusor deben estar asegurados en el andamio. Finalmente, se proyecta el recubrimiento del muro a bajo caudal, avanzando hasta las guías y manteniendo coordinación continua con el topógrafo.



Figura 20. Proyección del concreto en el paño correspondiente. Fuente: Propia.

3.2.2.14. Etapa 4: Enlucido.

El enlucido se realiza de forma similar al frotachado. Tras finalizar el proyectado del muro, se evalúa la trabajabilidad del concreto antes de empezar el enlucido. La cuadrilla utiliza una regla de aluminio para nivelar la superficie, guiándose por las guías instaladas, y aprovecha el exceso de concreto en la base del muro para completar el acabado.



Figura 21. Enlucido del paño lanzado. Fuente: Propia.

3.2.2.15. Etapa 4: Curado de estructura.

El curado se realiza después de finalizar el enlucido, comenzando cuando el muro pierde su brillo y adquiere un tono mate. Se recomienda hidratar el muro con agua y luego aplicar curadores químicos de manera uniforme con pulverizadores. El periodo de curado recomendado es de 7 días, según la norma RNE E.060.

3.2.2.16. Tensado de cables.

Al día siguiente del lanzado, se realiza el tensado de cables del anclaje en un 60% y al día siguiente del primer tensado se completa al 100%, esta recomendación se hace debido a la presencia de concreto mayores a $f'c$ 350 kg/cm².



Figura 22. Tensado de cables del paño terminado. Fuente: Propia.

3.2.6. Plantas concreteras que ofrecen el servicio.

En Perú, Unicon ofrece el proceso de lanzado para obras de viviendas multifamiliares como parte de su servicio denominado Unianclado.

3.2.7. Especificaciones técnicas

El concreto UNIANCLADO ha sido formulado específicamente para su aplicación mediante un sistema de bombeo con presión de aire. Su composición especial facilita una mejor adherencia a las superficies y una colocación rápida.

- Resistencia $f'c$: 280, 350 y 420 kg/cm²

- Edad: 3 y 28 días
- Cemento: Tipo 1 ASTM C150 / NTP 334.009, procedente de UNACEM.
HS ASTM C1157 / NTP 334.082, procedente de UNACEM.
- Agregados: Tamaño de piedra: Huso 8 y 89 (Confitillo). Procedentes de canteras propias, que garantizan la calidad de los productos según estándares vigentes (ASTM C33 / NTP 400.037).
- Aditivos: De última generación, que aseguran un óptimo desempeño (ASTM C494 / NTP 334.088).
- Consistencia: Concreto bombeable.
- Vida útil en estado fresco: 2.5 horas desde que sale de la planta concretera.
- Tiempo de fraguado: Similar al del concreto convencional.

3.3. Muros anclados con vaciado tradicional

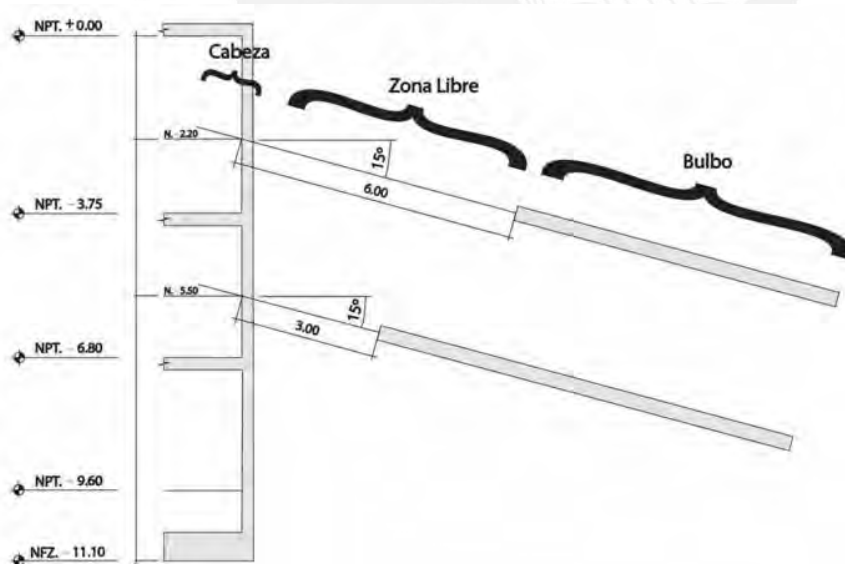


Figura 23. Diagrama de un muro anclado con las partes principales del anclaje.

Tomado de la presentación de clase, movimiento de tierras y estabilización (2023), muro anclado, del curso de Evaluación económica de proyectos de edificación del profesor Fuentes.

3.3.1. Proceso constructivo

3.3.1.1. Excavación masiva.

Los muros anclados se levantan utilizando un método de construcción por etapas, donde se forman secciones o anillos que se construyen progresivamente desde la parte superior hacia la parte inferior. Cada anillo se completa antes de continuar con el siguiente, asegurando que el proceso siga una secuencia estructurada y controlada para garantizar la estabilidad del muro durante todo el proceso de construcción.

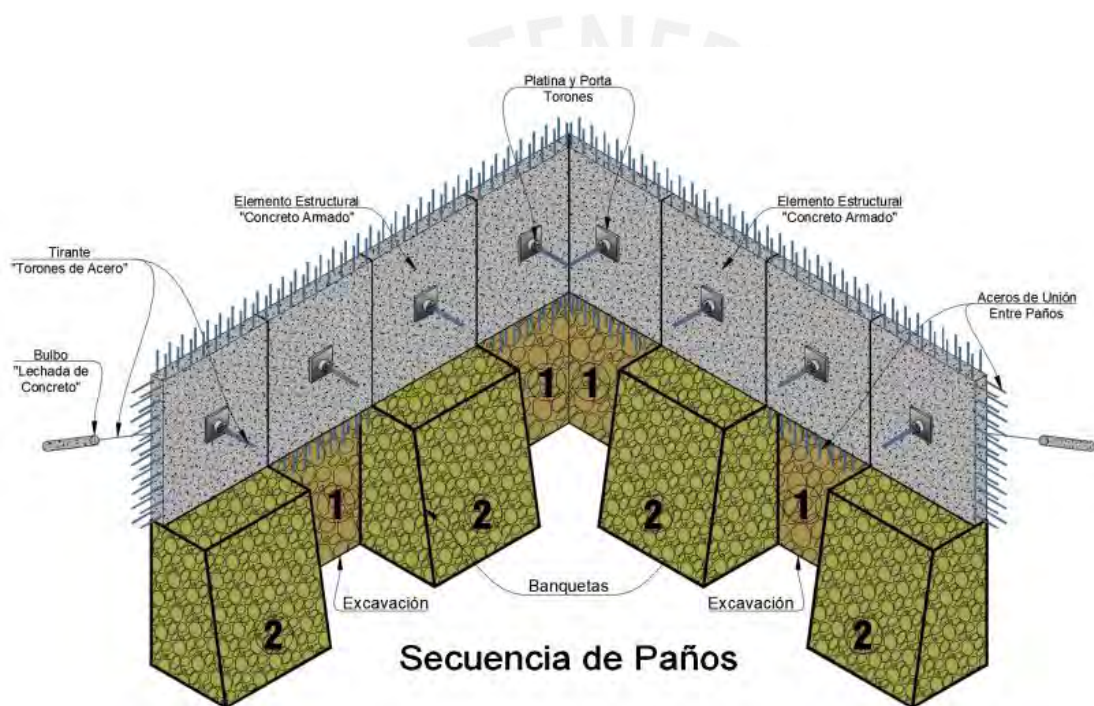


Figura 24. Secuencia de paños del muro anclado.

Tomado de la presentación de clase, movimiento de tierras y estabilización (2023), secuencia de paños, del curso de Evaluación económica de proyectos de edificación del profesor Fuentes.

3.3.1.2. Perforación, colocación de cables de anclaje e inyección de grout.

El proceso comienza con la definición del trazo, donde se determina el punto de anclaje según lo indicado en el plano de detalle. Luego, se arma el taladro y el casing (tubo continuo), posicionando la punta del taladro. Se procede a la colocación de lubricantes y espuma líquida de limpieza, seguida de la medición del ángulo, posteriormente, se inicia la perforación,

añadiendo extensiones de casing y taladro hasta alcanzar la profundidad requerida. Una vez lograda la perforación, se retira el taladro y se inserta el cable dentro del casing. Con el cable en posición, se procede al retiro del casing, dejando el orificio libre para iniciar la inyección de la lechada del grout.



Figura 25. Perforación y preparación para el anclaje.

Tomado de la presentación de clase, movimiento de tierras y estabilización (2023), perforación de talud, del curso de Evaluación económica de proyectos de edificación del profesor Fuentes.

3.3.1.3. Perfilado de paños.

Se realiza el perfilado de los paños de la secuencia seleccionada para la colocación del acero y el encofrado.

3.3.1.4. Colocación del acero.

Se realiza la habilitación e instalación de la armadura de acero.



Figura 26. Colocación y habilitación del acero.

3.3.1.5. Colocación del encofrado.

Se realiza el encofrado y luego se le entierra con el excedente de terreno para estabilizar el muro (Pachamanca).



Figura 27. Encofrado del paño del muro anclado.



Figura 28. Colocación del terreno para asegurar el encofrado (Pachamanca).

Tomado del canal de youtube de Rocio Espinoza Taype, “enterrado de encofrado tipo pachamanca” (2021).

3.3.1.6. Vaciado de concreto.



Figura 29. Vaciado del concreto en paño del muro anclado.

Tomado del sitio web de la constructora Corptecons S.A.C., vaciado de muro de contención (2024).

3.3.1.7. Desencofrado y tensado de cables.

El desencofrado generalmente se realiza al día siguiente del vaciado. Una vez que el concreto ha alcanzado su resistencia, se procede a tensar los cables aplicando la fuerza especificada en el diseño.



Figura 30. Desencofrado y tensado de cables.

Tomado de la presentación de clase, movimiento de tierras y estabilización (2023), tensado de cables, del curso de Evaluación económica de proyectos de edificación del profesor Fuentes.

3.3.6. Especificaciones técnicas

- Resistencia $f'c$: 280, 350 y 420 kg/cm²
- Edad: 3 y 28 días
- Cemento: Tipo 1 ASTM C150 / NTP 334.009, procedente de UNACEM.
HS ASTM C1157 / NTP 334.082, procedente de UNACEM.
- Agregados: Tamaño de piedra: Huso 6. Procedentes de canteras propias, que garantizan la calidad de los productos según estándares vigentes (ASTM C33 / NTP 400.037).

3.3.6. Plantas concreteras que ofrecen el servicio.

En el caso de Lima Metropolitana, la venta de concreto premezclado es ofrecida por diversas concreteras importantes como Unicon, Concremax, Concremix, Mixercon, entre otras. Estas empresas se destacan por proveer una amplia gama de productos diseñados para diferentes tipos de proyectos de construcción, desde pequeñas obras residenciales hasta grandes infraestructuras comerciales e industriales.

CAPÍTULO 4

4.1. Descripción de datos

4.1.1. Fuente de Datos

La fuente de los datos proviene principalmente de valorizaciones, cronogramas y experiencias de obras que utilizaron concreto lanzado en muros anclados y muros anclados convencionales en edificaciones multifamiliares en Lima. El enfoque principal de la recopilación se centró en tres aspectos clave: tiempo, costo y calidad de acabado. A través de estas fuentes, se pudo realizar un análisis detallado de los plazos de ejecución, los costos involucrados en cada método constructivo, y la calidad del acabado final en cada caso. Esto permitió establecer una comparativa directa entre las dos técnicas.

Adicionalmente, se obtuvieron datos in situ a partir de la observación directa en obra, donde se registraron los tiempos de ejecución, rendimientos, costos y la calidad de los acabados. Este proceso de recolección de información fue realizado en proyectos que implementaron tanto concreto lanzado en muros anclados como muros anclados convencionales, brindando una visión práctica y precisa del desempeño de cada sistema constructivo bajo condiciones reales.

4.1.2. Características de los datos recolectados

Las características de los datos obtenidos se pueden describir en varios aspectos clave:

- **Cuantitativos:** Los datos recolectados, como el tiempo de ejecución y los costos, son numéricos y permiten realizar comparaciones directas entre el concreto lanzado en muros anclados y los muros anclados convencionales. Por ejemplo, los tiempos de instalación, las horas-hombre invertidas y los costos por metro cuadrado son métricas cuantificables que facilitan el análisis económico y de productividad.
- **Cualitativos:** También se obtuvieron datos cualitativos, como la evaluación de la calidad del acabado. Estos datos dependen de la observación y la percepción de expertos en obra, quienes compararon la apariencia final, la durabilidad esperada y la precisión del trabajo

en ambas técnicas. La calidad del acabado es fundamental para medir la satisfacción del cliente y el cumplimiento de los estándares constructivos.

- Comparativos: Los datos están diseñados para establecer comparaciones entre dos métodos constructivos: concreto lanzado en muros anclados y muros anclados convencionales. Esto permite identificar cuál de las dos técnicas ofrece mejores rendimientos en tiempo, costo y calidad, basándose en situaciones reales y medibles.
- Empíricos: La información fue obtenida directamente en obra, por lo que se trata de datos empíricos, basados en la experiencia práctica. Este tipo de datos refleja el comportamiento real de los métodos constructivos bajo las condiciones específicas de cada proyecto, lo que aporta validez y relevancia a los resultados.
- Temporales: Los datos incluyen una dimensión temporal importante, ya que reflejan cronogramas de obra y tiempos de ejecución. Esto permite analizar la eficiencia y rapidez de cada técnica constructiva en diferentes fases del proyecto, y comparar cómo impacta el tiempo en el costo y en la productividad general.
- Geográficos: Estos datos están contextualizados geográficamente en la ciudad de Lima, por lo que toman en cuenta las particularidades de suelo, normativas y de mercado de la construcción local, lo cual es clave para entender la aplicabilidad y los desafíos de cada método en esta región.

4.1.3. Variables de estudio

En este estudio, se consideraron tres variables fundamentales para evaluar la eficiencia y desempeño de las técnicas constructivas de concreto lanzado en muros anclados y muros anclados convencionales: costo, tiempo y calidad de acabado. A continuación, se detallan cada una de estas variables:

Costo

El costo es una variable clave que mide el gasto total asociado a cada técnica constructiva, tanto en términos de insumos como de mano de obra. Esta variable incluye aspectos como el costo de los materiales (cemento, acero, aditivos, etc.), el alquiler o compra de equipos especializados, y los salarios del personal involucrado en la ejecución de los muros. El costo permite evaluar qué técnica resulta más económica bajo las mismas condiciones de obra, considerando no solo los gastos iniciales, sino también los posibles costos adicionales derivados de factores como la duración del proyecto o la necesidad de retrabajos debido a problemas en la calidad de acabado. Comparar los costos de cada sistema es fundamental para determinar su viabilidad económica y definir cuál es el que genera un mejor retorno de la inversión.

Tiempo

El tiempo se refiere a la duración que toma la ejecución de los muros anclados en ambos métodos. Esta variable es determinante, ya que impacta directamente en los costos indirectos del proyecto y en su cronograma general. La rapidez con la que se puede completar una fase de construcción puede influir en la entrega total de la obra, lo que a su vez afecta la rentabilidad y la satisfacción del cliente. En este análisis, se mide tanto el tiempo de instalación como el tiempo de preparación y finalización de cada proceso, permitiendo evaluar cuál de los dos métodos es más eficiente. Una reducción en el tiempo de ejecución sin comprometer la calidad implica un ahorro en costos de mano de obra y permite avanzar más rápidamente a las siguientes etapas del proyecto.

Calidad de acabado

La calidad de acabado es una variable que mide el resultado visual y funcional del trabajo realizado, evaluando si el producto final cumple con los estándares de uniformidad, apariencia y precisión que se exigen en la construcción de muros anclados. Esta variable se enfoca en aspectos como la uniformidad de las superficies, la ausencia de imperfecciones o defectos, y la

adherencia a las especificaciones técnicas establecidas para cada proyecto. Una mayor calidad de acabado no solo garantiza una mejor apariencia estética, sino también una mayor resistencia y durabilidad a largo plazo, lo que influye directamente en la vida útil de la estructura y en la necesidad de mantenimiento futuro. Evaluar la calidad de acabado permite comprender cuál de los dos métodos constructivos ofrece un mejor rendimiento en términos de acabado final sin la necesidad de reelaboraciones o correcciones.

4.1.4. Instrumentos y herramientas de recolección

Para la recolección de datos en este estudio, se emplearon instrumentos y herramientas, tanto digitales como manuales, que permitieron obtener información relevante para las variables de análisis: costo, tiempo y calidad de acabado.

Hojas de cálculo (Excel)

El uso de programas como Excel fue importante para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos. Excel permitió organizar la información de manera estructurada, facilitando la creación de tablas comparativas, cálculos de costos, análisis de tiempos de ejecución, y la representación gráfica de los rendimientos y costos de ambas técnicas constructivas. También se sistematizó la información cualitativa sobre la calidad de acabado, lo que permitió un análisis más claro de los resultados.

Medición de tiempo in situ

Para registrar la duración de los trabajos, se emplearon relojes digitales en el lugar de la obra. Estos dispositivos permitieron medir los tiempos de cada fase de la construcción, desde la preparación hasta la aplicación del concreto lanzado o convencional. Los datos fueron recolectados durante el desarrollo del proyecto, lo que permitió calcular rendimientos y tiempos de ejecución de manera directa.

Evaluación cualitativa in situ

La calidad del acabado se evaluó de manera cualitativa mediante observaciones directas en la obra. La inspección visual de la superficie terminada permitió identificar posibles defectos o irregularidades, como grietas o diferencias en la textura del concreto. Se utilizó una escala de criterios predefinidos para clasificar la calidad del acabado en función de su apariencia, plomada, uniformidad y ciertos detalles relevantes.

4.2. Preparación y tratamiento de datos

4.2.1. Definición de los indicadores y métricas

Para este estudio, se definieron indicadores clave para evaluar el tiempo, costo por metro cuadrado (m²) y calidad de acabado. Estos indicadores se seleccionaron porque ofrecen una visión precisa y práctica de cada aspecto relevante en la ejecución de muros anclados, tanto con concreto lanzado como en sistemas convencionales.

Indicadores de Tiempo

- a) **Preparación de terreno:** Evalúa el tiempo necesario para alistar el terreno antes de cualquier intervención, incluyendo perfilado del paño limpieza y nivelación. Este indicador es relevante porque las condiciones iniciales del terreno influyen directamente en el progreso de las siguientes etapas.
- b) **Habilitación de acero:** Mide el tiempo dedicado a la preparación y colocación del acero de refuerzo. Este indicador se seleccionó porque es una fase crítica en la resistencia estructural del muro y que se debe tener cuidado ya que un error se puede retrasar el tren de trabajo.
- c) **Encofrado/Compuertas:** Se refiere al tiempo invertido en la instalación del encofrado necesario para contener el concreto convencional y la colocación de compuertas en el método lanzado.

- d) **Armado de andamios:** Indica el tiempo empleado en montar los andamios necesarios para acceder a las zonas elevadas con el concreto lanzado. Este indicador fue elegido porque la seguridad y rapidez del trabajo en altura dependen de una adecuada instalación de andamios.
- e) **Liberaciones:** Este indicador mide el tiempo en liberar las partidas (perfilado, acero y encofrado) o elementos que ya han sido completados, lo que permite el avance de las siguientes fases. Es relevante para evitar retrasos en el cronograma.
- f) **Aplicación:** Mide el tiempo de ejecución directa, ya sea aplicando concreto lanzado o realizando los muros convencionales. Es un indicador central para comparar la eficiencia de ambos métodos.
- g) **Enlucido/Rotura de cachimbas:** Este indicador evalúa el tiempo de acabados, como el enlucido del paño lanzado o la rotura de elementos temporales como cachimbas del método convencional. Es importante porque influye en la calidad visual del proyecto.
- h) **Curado:** Se refiere al tiempo dedicado al proceso de curado del concreto, esencial para alcanzar la resistencia adecuada.
- i) **Tensado:** Mide el tiempo necesario para el tensado de los anclajes en los muros. Es relevante porque esta operación asegura la estabilidad del sistema de anclaje.

Indicadores de Costo por m²

- a) **Concreto:** Representa el costo del concreto utilizado, incluyendo materiales, transporte y colocación. Este indicador es esencial para evaluar el impacto de los materiales en el presupuesto total.
- b) **Encofrado:** Mide el costo de los sistemas de encofrado utilizados. Se incluyó debido a este proceso se quita en el concreto lanzado.
- c) **Acero:** Refleja el costo del acero de refuerzo, el cual es necesario para garantizar la estabilidad estructural de los muros.

- d) **Andamios:** Calcula el costo relacionado con el montaje y desmontaje de los andamios necesarios para el trabajo en altura.
- e) **Acabado/Solaqueo:** Este indicador mide el costo de los acabados superficiales que aseguran la estética y funcionalidad del muro. Fue elegido porque influye en la calidad final de la obra.
- f) **Perfilado/Pañeteo:** Se refiere a los costos asociados con los detalles y acabados finales de la superficie del muro.
- g) **Anclajes:** Refleja el costo de los anclajes empleados para asegurar la estabilidad del muro.
- h) **Gastos Generales:** Incluye costos indirectos como administración, transporte y otros gastos necesarios para la ejecución de la obra.

Indicadores de Calidad de acabado

- a) **Plomada:** Evalúa la verticalidad del muro, esencial para garantizar la alineación y estabilidad de la estructura.
- b) **Acabado:** Mide la calidad visual y funcional de la superficie terminada, incluyendo textura y uniformidad.
- c) **Agrietamiento:** Indica la presencia de grietas, que pueden afectar tanto la estética como la integridad estructural.
- d) **Detalle de juntas:** Evalúa la calidad de las uniones entre diferentes elementos del muro, lo que influye en su durabilidad.
- e) **Espesor uniforme:** Se refiere a la consistencia en el espesor del muro a lo largo de toda su superficie, un factor clave para asegurar su resistencia.
- f) **Densidad y compactación:** Mide la calidad del concreto en términos de densidad y nivel de compactación, indicadores para la resistencia y durabilidad del muro.

4.2.2. Filtrado y consolidación de datos

El proceso de filtrado y consolidación de los datos recolectados de diferentes proyectos siguió una metodología estructurada para asegurar que la información utilizada en el análisis comparativo fuera precisa y representativa de las condiciones reales de cada proyecto. A continuación, se describe cómo se realizó este proceso:

Recolección de datos de diversos proyectos

Primero, se obtuvieron datos detallados de varios proyectos de construcción que involucraron tanto el uso de concreto lanzado en muros anclados como muros anclados convencionales. La información recolectada incluyó las duraciones y los costos totales de cada proyecto, desglosados en costos directos e indirectos. Los costos directos incluyeron materiales, mano de obra y equipos, mientras que los indirectos abarcaban aspectos como administración, transporte y gastos generales.

Filtrado de datos irrelevantes

Para garantizar que solo se utilizaran datos pertinentes, se aplicaron filtros a la información recopilada. Este paso consistió en eliminar o descartar aquellos proyectos cuyas condiciones fueran diferentes a las del estudio, por ejemplo, proyectos en ubicaciones geográficas muy distintas o con variables externas que afectarían significativamente los resultados, como técnicas constructivas diferentes o modificaciones significativas en el alcance de la obra. El objetivo era mantener únicamente los datos comparables entre sí.

Además, se filtraron también las actividades o costos que no estuvieran directamente relacionados con la ejecución de los muros anclados o que representaran desvíos atípicos en los costos, tales como demoras extraordinarias o materiales especiales que no formarían parte del estándar de los proyectos.

Normalización de datos

Una vez filtrada la información, los datos fueron normalizados para asegurar la consistencia en las unidades y formatos. Por ejemplo, todos los costos se convirtieron a una moneda común (en este caso, soles peruanos), y los tiempos se expresaron en días laborables o semanas, dependiendo de la métrica usada en los cronogramas de obra. Esta normalización permitió realizar comparaciones precisas entre proyectos de diferentes tamaños y duraciones.

4.3. Indicadores de comparación

Para que la comparación sea aún más equilibrada se tomó dos proyectos similares, construidos por la misma constructora con áreas similares de anclaje con tipo de suelo igual y la cantidad de sótanos iguales.

Proyecto Armonie – Binda

Área de anclaje: 1334.22 m²

Tipo de suelo: S1

Cantidad de sótanos: 6

Costo total: S/. 1,224,715.61

Tiempo de ejecución: 6.1 meses

Método: Muro anclado convencional

Proyecto Milano – Binda

Área de anclaje: 1385.2 m²

Tipo de suelo: S1

Cantidad de sótanos: 6

Costo total: S/. 1,412,406.00

Tiempo de ejecución: 4.8 meses

Método: Muro anclado con concreto proyectado

4.3.1. Indicadores de costo

A continuación, se observa el precio por cada partida de dos proyectos con área casi parecidas, de la misma constructora. Por tanto, la comparación es más amigable y permite sacar mejores conclusiones. Estos datos fueron obtenidos de la inmobiliaria y constructora Binda, estos datos ayudan a entender la diferencia en costo de cada método y realizar una comparativa.

Tabla 1. Costos directos e indirectos de los dos métodos de muros anclados.

	ARMONIE	MILANO
	CONVENCIONAL	LANZADO
AREA DE ANCLAJE	1334.22	1385.2
Concreto	S/ 274,611.79	S/ 474,528.54
acero	S/ 159,632.00	S/ 164,501.81
Encofrado	S/ 68,325.25	S/ -
andamios	S/ -	S/ 34,884.00
acabado/solaqueo	S/ 10,171.50	S/ 59,122.67
desperdicio	S/ 98,860.25	S/ 170,830.27
Anclaje	S/ 258,000.00	S/ 245,770.00
Perfilado	S/ 17,344.86	S/ 10,260.00
GG	S/ 336,435.74	S/ 252,508.72
Total	S/ 1,224,715.61	S/ 1,412,406.00

Tabla 2. Costos por metro cuadrado de los dos métodos de muro anclados

PROYECTO	ARMONIE	MILANO
Costo por m ²	CONVENCIONAL	LANZADO
Concreto	S/ 205.82	S/ 342.57
Encofrado	S/ 51.21	S/ -
Acero	S/ 119.64	S/ 118.76
Andamios	S/ -	S/ 25.18
Acabado/Solaqueo	S/ 7.62	S/ 42.68
% desperdicio	S/ 74.10	S/ 123.33
Perfilado/Pañeteo	S/ 13.00	S/ 7.41
Anclajes	S/ 193.37	S/ 177.43
Gastos Generales	S/ 252.16	S/ 182.29
TOTAL	S/ 916.93	S/ 1,019.64

4.3.2. Indicadores de tiempo

Los siguientes datos son obtenidos de muestreos en obra de horas que se demoran en realizar cada actividad como promedio (Tabla 3) y el tiempo en meses de cada anillo correspondiente a cada método (Tabla 4).

Tabla 3. Cantidad de horas de cada partida de los dos métodos.

PROYECTO	MILANO	ARMONIE
Indicadores (Horas totales)	C. lanzado	C. convencional
Preparación de terreno	1.5	1.5
Habilitación de acero	1.40	1.42
Encofrado y Desencofrado/Compuertas/Entierro	0	4.5
Armado de andamios	1.6	0
Liberaciones	0.25	0.8
Aplicación	1.5	1
Enlucido/Rotura de cachimbas	2	1
Curado	0.25	0.25
Tensado	0.5	0.5
Total	9.0	10.97
Paños diarios promedio	2.8	2.1

Tabla 4. Tiempo total por anillo en meses.

PROYECTO	ARMONIE	MILANO
SOTANOS	6	6
Indicadores (Meses)	CONVENCIONAL	LANZADO
ANILLO 1	1.1	0.8
ANILLO 2	1.1	0.75
ANILLO 3	1	0.75
ANILLO 4	1	0.75
ANILLO 5	1	0.75
ANILLO 6	1.1	0.8
PAÑOS DIARIOS PROMEDIO	2.1	2.8
TOTAL	6.3	4.6

4.3.3. Indicadores de calidad

La calidad de cada partida es sumamente importante debido a la exigencia del mercado por tanto la innovación es primordial, por tanto, este método del concreto lanzado asegura una óptima calidad en cuanto a acabado y diferentes indicadores que se muestran a continuación. Para esto, se entrevistó a profesionales de los dos proyectos encargados de la calidad y avance de este.

Tabla 5. Puntuación de expertos y responsables de ambos métodos.

Indicadores de Calidad		
Proyecto	ARMONIE	MILANO
Indicador	CONVENCIONAL	LANZADO
Plomada	2	4
Acabado	2	4
Agrietamiento	4	3
Detalle de juntas	2	4
Espesor uniforme	4	4
Densidad y compactación	4	4
PROMEDIO	3.00	3.83

ENTREVISTADOS	CIP	CARGO
JHONATAN RAMIREZ	231185	ING. PRODUCCION
JOEL HEREDIA	321924	ING. CALIDAD
MIGUEL THENCERA	231647	ING. CALIDAD
JORGE REATEGUI	131237	ING. RESIDENTE
MARCO TIMOTEO	132020	ING. RESIDENTE

Tabla 6. Indicadores de calidad

Indicador	Excelente (5)	Muy Bueno (4)	Bueno (3)	Regular (2)	Malo (1)	Deficiente (0)
Plomada	Perfecta verticalidad sin desviaciones	Mínima desviación, casi imperceptible	Desviación leve, dentro de los márgenes aceptables	Desviación visible, requiere corrección	Desviación significativa que afecta la estructura	Totalmente fuera de plomada, requiere rehacer
Acabado	Superficie lisa y uniforme, sin defectos visibles	Superficie casi perfecta, con pequeños detalles mínimos	Buen acabado, pero con algunos detalles que requieren mejora	Superficie con imperfecciones visibles, afecta la estética	Acabado deficiente, con irregularidades graves	Sin acabado, presenta defectos muy graves o sin terminación
Agrietamiento	Sin grietas visibles	Pequeñas grietas no estructurales	Grietas pequeñas pero visibles	Grietas moderadas que requieren intervención	Grietas graves que afectan la integridad	Grietas profundas y extensas, estructuralmente comprometedoras

Detalle de juntas	Juntas perfectamente alineadas y sin discontinuidades	Juntas bien logradas, con ligeros detalles de corrección	Juntas aceptables, con pequeños ajustes requeridos	Juntas desalineadas o con pequeños vacíos	Juntas mal ejecutadas, con discontinuidades evidentes	Juntas completamente inadecuadas, requieren rehacer
Espesor uniforme	Espesor completamente uniforme a lo largo de toda la superficie	Espesor casi uniforme, con variaciones mínimas	Espesor con variaciones aceptables, sin impacto significativo	Variaciones de espesor que afectan la estética o funcionalidad	Variaciones graves que comprometen la funcionalidad o integridad estructural	Espesor totalmente desigual, requiere rehacer
Densidad y compactación	Densidad y compactación óptimas, sin vacíos o imperfecciones visibles	Compactación adecuada, con pequeñas áreas mejorables	Compactación aceptable, pero con zonas menos densas	Compactación deficiente en varias zonas, afectando la resistencia	Mala compactación, con huecos o vacíos considerables	Sin compactación, la estructura es inservible debido a vacíos o falta de densidad

4.3.4. Comparación entre métodos de diferentes proyectos (Convencional vs Projectado)

Costo de muros anclados convencionales:

La Tabla 7 presenta los costos directos e indirectos de diversos proyectos de muros anclados convencionales en Lima, permitiendo una comparación más precisa entre ellos. La Tabla 8 detalla los costos por metro cuadrado de muro anclado, desglosados por partidas, según los proyectos de distintas empresas.

Tabla 7. Costos de diferentes proyectos del muro anclado convencional.

	ARMONIE	BREZZO	VERONA	ECO PRADO	ARTINTO
	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL
AREA DE ANCLAJE	1334.22	1250	1652.2	1,238.96	943.94
Concreto	S/ 274,611.79	S/ 171,000.00	S/ 292,500.00	S/ 179,839.53	S/ 144,516.33
acero	S/ 159,632.00	S/ 305,639.12	S/ 313,940.15	S/ 81,307.13	S/ 106,742.12
Encofrado	S/ 68,325.25	S/ 55,305.00	S/ 74,340.00	S/ 82,998.32	S/ 51,916.48
andamios	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
acabado/solaqueo	S/ 10,171.50	S/ 7,800.00	S/ 9,453.50	S/ 19,601.69	S/ 16,046.98

desperdicio	S/ 98,860.25	S/ 54,720.00	S/ 84,825.00	S/ 55,750.25	S/ 44,800.06
Anclaje	S/ 258,000.00	S/ 307,500.00	S/ 307,500.00	S/ 207,417.99	S/ 172,608.80
Perfilado	S/ 17,344.86	S/ 15,625.00	S/ 20,652.50	S/ 27,645.84	S/ 11,286.00
GG	S/ 336,435.74	S/ 298,055.52	S/ 447,534.00	S/ 196,485.71	S/ 119,130.52
Total	S/ 1,224,715.61	S/ 1,216,894.64	S/ 1,552,397.35	S/ 852,285.42	S/ 667,991.23

Tabla 8. Costos por metro cuadrado de diferentes proyectos en Lima con muro anclado convencional.

PROYECTO	ARMONIE	BREZZO	VERONA	ECO PRADO	ARTINTO
Costo por m ²	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL
Concreto	S/ 205.82	S/ 136.80	S/ 177.04	S/ 145.15	S/ 153.10
Encofrado	S/ 51.21	S/ 44.24	S/ 44.99	S/ 66.99	S/ 55.00
Acero	S/ 119.64	S/ 244.51	S/ 190.01	S/ 65.63	S/ 113.08
Andamios	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Acabado/Solaqueo	S/ 7.62	S/ 6.24	S/ 5.72	S/ 15.82	S/ 17.00
% desperdicio	S/ 74.10	S/ 43.78	S/ 51.34	S/ 45.00	S/ 47.46
Perfilado/Pañeteo	S/ 13.00	S/ 12.50	S/ 12.50	S/ 22.31	S/ 11.96
Anclajes	S/ 193.37	S/ 246.00	S/ 186.12	S/ 167.41	S/ 182.86
Gastos Generales	S/ 252.16	S/ 238.44	S/ 270.87	S/ 158.59	S/ 126.21
TOTAL	S/ 916.93	S/ 972.52	S/ 938.59	S/ 686.90	S/ 706.67

Costo de muros anclados con concreto lanzado:

La Tabla 9 presenta los costos directos e indirectos de diversos proyectos de muros anclados con concreto lanzado en Lima, permitiendo una comparación más precisa entre ellos. La Tabla 10 detalla los costos por metro cuadrado de muro anclado, desglosados por partidas, según los proyectos de distintas empresas.

Tabla 9. Costos de diferentes proyectos del muro anclado con shotcrete.

	MILANO	INARCO TORRE	ABRIL PROY. 1	PDK PROY 2	PDK PROY 4
	LANZADO	LANZADO	LANZADO	LANZADO	LANZADO
AREA DE ANCLAJE	1385.2	943.936	1825.3	985.2	1020.5
Concreto	S/ 474,528.54	S/ 273,913.17	S/ 454,400.00	S/ 238,520.61	S/ 238,520.61
acero	S/ 164,501.81	S/ 106,742.12	S/ 250,916.90	S/ 89,187.00	S/ 89,187.00
Encofrado	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
andamios	S/ 34,884.00	S/ 32,111.10	S/ 82,138.50	S/ 18,879.25	S/ 18,879.25
acabado/solaqueo	S/ 59,122.67	S/ 26,400.00	S/ 46,727.68	S/ 28,385.79	S/ 27,043.25

desperdicio	S/ 170,830.27	S/ 104,087.00	S/ 168,128.00	S/ 83,482.21	S/ 83,482.21
Anclaje	S/ 245,770.00	S/ 188,681.68	S/ 307,500.00	S/ 163,846.00	S/ 163,846.00
Perfilado	S/ 10,260.00	S/ 16,055.55	S/ 20,443.36	S/ 4,926.00	S/ 6,633.25
GG	S/ 252,508.72	S/ 265,321.00	S/ 576,163.50	S/ 231,235.21	S/ 316,086.00
Total	S/ 1,412,406.00	S/ 1,013,311.64	S/ 1,906,417.94	S/ 858,462.08	S/ 943,677.58

Tabla 10. Costos por metro cuadrado de diferentes proyectos en Lima de muro anclado con shotcrete.

PROYECTO	MILANO	INARCO TORRE	ABRIL PROY. 1	PDK PROY 2	PDK PROY 4
Costo por m ²	LANZADO	LANZADO	LANZADO	LANZADO	LANZADO
Concreto	S/ 342.57	S/ 290.18	S/ 248.95	S/ 242.10	S/ 233.73
Encofrado	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Acero	S/ 118.76	S/ 113.08	S/ 137.47	S/ 90.53	S/ 87.40
Andamios	S/ 25.18	S/ 34.02	S/ 45.00	S/ 19.16	S/ 18.50
Acabado/Solaqueo	S/ 42.68	S/ 27.97	S/ 25.60	S/ 28.81	S/ 26.50
% desperdicio	S/ 123.33	S/ 110.27	S/ 92.11	S/ 84.74	S/ 81.81
Perfilado/Pañeteo	S/ 7.41	S/ 17.01	S/ 11.20	S/ 5.00	S/ 6.50
Anclajes	S/ 177.43	S/ 199.89	S/ 168.47	S/ 166.31	S/ 160.55
Gastos Generales	S/ 182.29	S/ 281.08	S/ 315.65	S/ 234.71	S/ 309.74
TOTAL	S/ 1,019.64	S/ 1,073.50	S/ 1,044.44	S/ 871.36	S/ 924.72

Tiempo de muros anclados Convencionales:

La Tabla 11 presenta los tiempos en meses por anillo de diversos proyectos de muros anclados convencional en Lima, permitiendo una comparación más precisa entre ellos.

Tabla 11. Tiempos totales por anillo de muros anclados con el método convencional.

PROYECTO	ARMONIE	BREZZO	VERONA	ECO PRADO	ARTINTO
SOTANOS	6	4	5	2	3
Indicadores (Meses)	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL
ANILLO 1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2
ANILLO 2	1.1	1	1	1	1

ANILLO 3	1	1	1		1
ANILLO 4	1	1.1	1		
ANILLO 5	1		1.1		
ANILLO 6	1.1				
PAÑOS DIARIOS PROMEDIO	2.1	2.4	2.2	1.95	2
TOTAL	6.3	4.2	5.2	2.1	3.2

Tiempo de muros anclados con concreto Lanzado:

La Tabla 12 presenta los tiempos en meses por anillo de diversos proyectos de muros anclados con concreto lanzado en Lima, permitiendo una comparación más precisa entre ellos.

Tabla 12. Tiempos totales por anillo de muros anclados con concreto lanzado.

PROYECTO	MILANO	INARCO TORRE	ABRIL PROJ. 1	PDK PROJ 2	PDK PROJ 4
SOTANOS	6	3	6	3	4
Indicadores (Meses)	LANZADO	LANZADO	LANZADO	LANZADO	LANZADO
ANILLO 1	0.8	0.85	0.8	0.95	0.85
ANILLO 2	0.75	0.65	0.75	0.7	0.8
ANILLO 3	0.75	0.75	0.75	0.7	0.8
ANILLO 4	0.75		0.75		0.7
ANILLO 5	0.75		0.75		
ANILLO 6	0.8		0.8		
PAÑOS DIARIOS PROMEDIO	2.8	3	2.7	2.9	2.5
TOTAL	4.6	2.25	4.6	2.35	3.15

CAPÍTULO 5

5.1. Interpretación de Resultados

Luego de mostrar a detalle el costo, tiempo y calidad de los dos métodos de instalación de muros anclados se procede a realizar la interpretación de los números de diferentes proyectos.

5.1.1. Comparación de Indicadores Clave

Tiempo

Los datos indican que el concreto lanzado reduce significativamente los tiempos de ejecución en comparación con el método convencional. Según la Tabla 11, el proyecto "Milano", que empleó concreto lanzado, se completó en 4.6 meses, mientras que el proyecto "Armonie", con método convencional, tuvo una duración de 6.3 meses (Tabla 10) la cual se reduce en un 26.98% el tiempo de ejecución de este tipo de muros. Esta reducción es atribuible a:

- Eliminación del encofrado: En el método convencional, el encofrado y desencofrado consumen 4.5 horas por paño (Tabla 3), lo cual está completamente ausente en el método lanzado por lo que es un ahorro de tiempo, ya que esto se reemplaza por el armado y desarmado de andamios.
- Mayor velocidad de aplicación: En el método lanzado, se alcanzó un promedio de 2.8 paños diarios frente a 2.1 en el convencional (Tablas 12 y 13). Esto refleja una productividad un 33% mayor en la ejecución diaria de muros.

En la figura 31 se observa cómo varía el tiempo a medida que avanza el proyecto. El inicio del trabajo con shotcrete presenta complicaciones debido al tipo de suelo predominante. En Lima, los suelos más comunes son S1 y S2, caracterizados por un primer estrato menos consolidado, lo que dificulta la proyección del material. Esta condición genera pequeños desprendimientos que obligan a reducir el caudal de proyección para evitar mayores pérdidas y garantizar la adherencia adecuada del material. Como consecuencia, se incrementan tanto el tiempo de proyección como el tiempo requerido para completar cada anillo.



Figura 31. Desprendimiento del concreto por inestabilidad del concreto en el primer anillo.

Sin embargo, conforme el avance del anillo progresaba y se alcanzaban estratos más consolidados, se lograba estabilizar el proceso, reduciendo significativamente los tiempos de ejecución. En promedio, se alcanzó una disminución del 27% (Figura 32) en el tiempo de ejecución, evidenciando una mejora en la productividad y en la eficiencia operativa del método shotcrete. Esto destaca la importancia de ajustar las condiciones de proyección según las características del suelo para optimizar el rendimiento del proyecto.

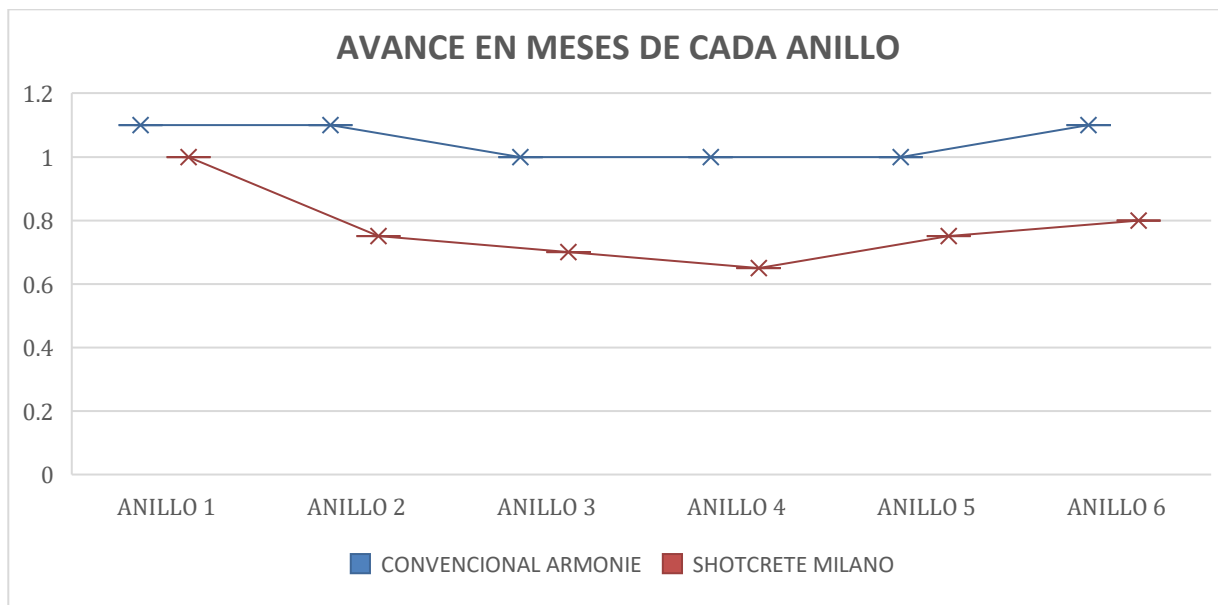


Figura 32. Cantidad de meses por anillos del proyecto milano (Shotcrete) y Armonie (Convencional)

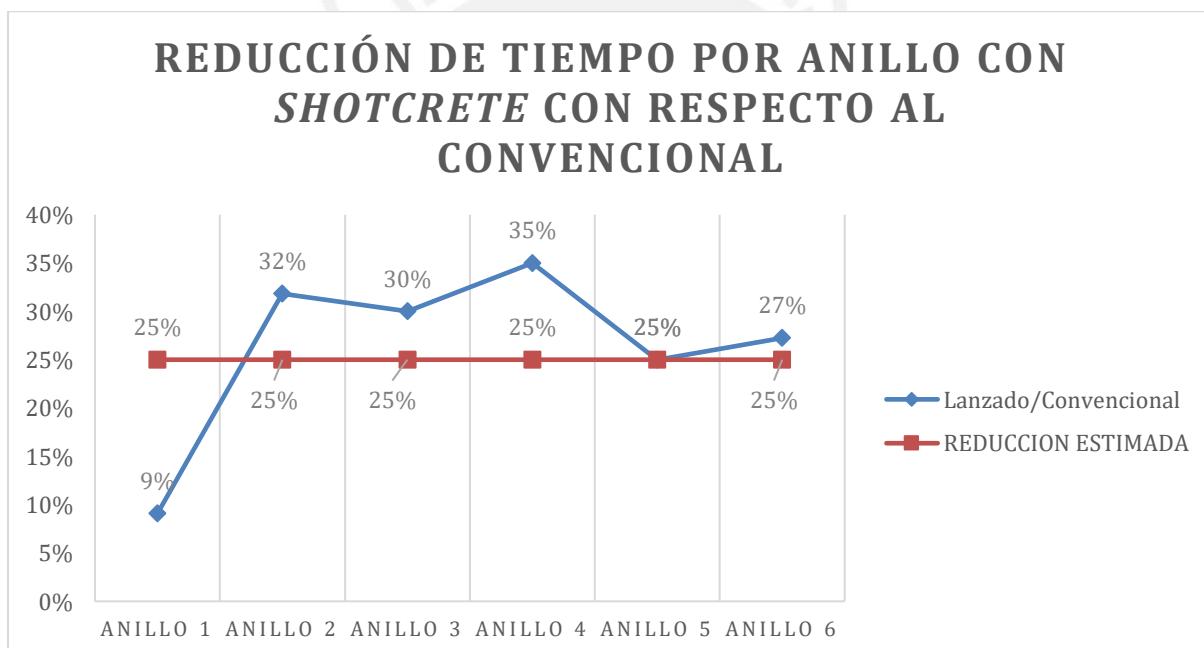


Figura 33. Reducción de tiempo por anillo con *shotcrete* con respecto al convencional

Costo

El análisis de costos revela que el concreto lanzado tiene un mayor costo inicial por metro cuadrado (S/ 1,019.64, Tabla 10) en comparación con el método convencional (S/ 916.93, Tabla 8). Esto se debe principalmente a:

- Mayor costo de concreto: El método lanzado tiene un costo promedio de S/ 342.57 por m² en concreto, significativamente superior al convencional (S/ 205.82, Tablas 8 y 10).

Esta diferencia es notoria ya que según el precio unitario el concreto lanzado supera en costo en s/. 218.02 al concreto convencional, esto es principalmente al aumento de equipos como la compresora y la mano de obra.

ELEMENTO	CUADRILLAS Y JORNAL				RENDIMIENTO m3 /día	RATIO hh/m3	P.U. M.O.	Factor	RENDIMIENTO m3 /día Con Factor	P.U. M.O. Con Factor	P.U. Herr. Manuales	P.U. Material	P.U. total S/. /und
	Capataz	Operario	Oficial	Peón									
	S/. 201.70	S/. 168.08	S/. 136.27	S/. 122.69									
Con_350 - Unianclado	0.10	2.00	1.00	4.00	45.00	1.2444	21.85	0.00%	45.00	21.85	125.00	484.60	631.45

Figura 34. Precio unitario del concreto lanzado. Fuente: Unicon y Binda - Milano

ITEM	ELEMENTO	CUADRILLAS Y JORNAL				RENDIMIENTO m3 /día Con Factor	P.U. M.O. Con Factor	P.U. Herr. Manuales	P.U. Material	Concreto fc 1350N67B S/. 310.00	Servicio bomba S/. 39.00	P.U. total S/. /und
		Capataz	Operario	Oficial	Peón							
		S/. 201.70	S/. 168.08	S/. 136.27	S/. 122.69							
CO-006	Con_350 - Muro de Contención	0.10	2.00	1.00	4.00	30.00	32.78	0.66	380.00	1.1	1	413.43

Figura 35. Precio unitario del concreto convencional. Fuente: Unicon y Binda - Armonie

Sin embargo, hay ahorros significativos en otras partidas:

- Encofrado: En el método lanzado, este costo es nulo, mientras que en el convencional representa S/ 51.21 por m² (Tabla 8).
- Tiempo de ejecución: Al reducir el tiempo total, el concreto lanzado disminuye los costos indirectos, como gastos generales, logística y administración, compensando en parte el mayor costo de los materiales. Además, si un proyecto dura menos este puede comercializarse más rápido y por tanto aumenta su rentabilidad.

A pesar de que el método de concreto lanzado es más costoso en comparación al convencional, este te reduce aproximadamente en 25% el tiempo de ejecución de la construcción de sótanos y esto acarea que el master del proyecto se reduzca y mejorando su rentabilidad en el mercado. Además, se observa que, en diferentes proyectos de muros anclados, tanto con concreto lanzado como con el método convencional, los costos son similares de ambos métodos respetivamente. Sin embargo, estos pueden variar según la experiencia de la constructora. Si una constructora inicia el uso del método de shotcrete, es probable que el porcentaje de residuos de concreto sea mayor, lo que incrementa los costos. No obstante, a medida que se optimiza la curva de

aprendizaje y se adquiere mayor experiencia en este método, los costos tienden a reducirse significativamente.

Calidad

En términos de calidad, el concreto lanzado ofrece resultados superiores, como se refleja en las puntuaciones promedio obtenidas por ambos métodos (Tabla 5). Los indicadores clave son:

- **Plomada:** El método lanzado recibió una puntuación de 4 mientras que el convencional obtuvo 2. Esta puntuación del método convencional es debido a que el proceso de la pachamanca no es un proceso completamente controlado ya que, al aumentar la tierra, no se puede calcular con certeza el empuje de esta; en cambio, con el concreto lanzado, las partículas se adhieren permitiendo controlar la verticalidad.
- **Acabado:** El acabado que se alcanza con el concreto lanzado es superior al convencional. Esto se debe a que el enlucido se hace en concreto fresco y no se solaquea como en el concreto convencional como se observa en la figura 36.



Figura 36. Acabo en estado fresco del concreto lanzado. Proyecto Milano.

- **Detalle de juntas:** Las juntas en el método lanzado son más precisas, con una puntuación de 4 frente a 2 en el método convencional ya que con el enlucido se pierde el anillo pasado con el nuevo como se observa en la figura 38. En el método convencional se

dejan las cachimbas que luego se tiene que picar para obtener el nivel requerido como se observa en la figura 39.



Figura 37. Detalle de unión entre paños con concreto lanzado.

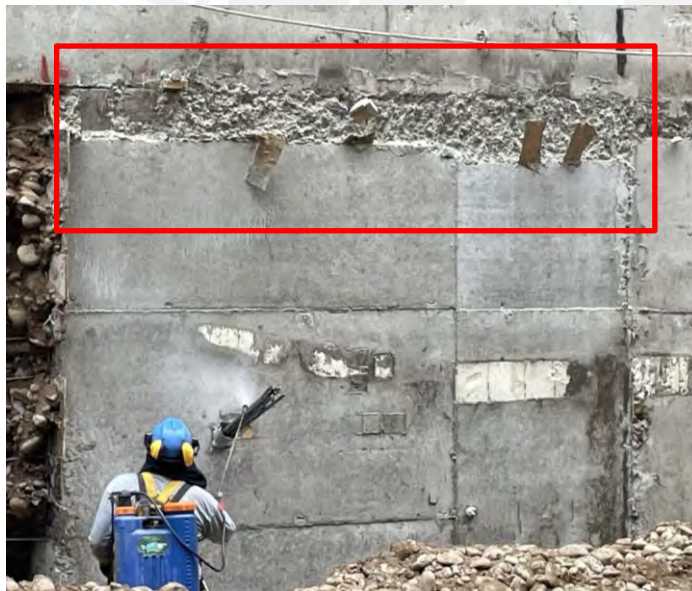


Figura 38. Detalle de unión entre paños con concreto lanzado.

- Espesor uniforme y compactación: Ambos métodos presentan un desempeño similar en estos indicadores, con puntuaciones de 4, aunque el lanzado asegura mayor uniformidad debido a la proyección directa del concreto.

5.1.2. Interpretación de las Diferencias y Similitudes Encontradas

El método lanzado destaca por su capacidad de combinar eficiencia en tiempo y calidad superior, mientras que el método convencional presenta ventajas en proyectos donde el presupuesto inicial es más ajustado. Las principales diferencias se encuentran en las partidas de encofrado y tiempos de ejecución, donde el lanzado elimina procesos y acelera el cronograma.

Ambos métodos comparten ciertos procesos con tiempos similares, como el curado, el tensado de anclajes y la instalación de acero (Tabla 3). Sin embargo, el método convencional requiere más tiempo en actividades preliminares y finales, lo que genera costos indirectos adicionales.

5.1.3. Análisis Crítico sobre los Resultados Obtenidos

El método de concreto lanzado demuestra ser más eficiente y competitivo en proyectos donde el tiempo de ejecución y la calidad son factores determinantes. Este método se adapta mejor a proyectos de gran escala o con cronogramas ajustados, donde los costos indirectos pueden compensar el mayor gasto inicial.

No obstante, la adopción del concreto lanzado implica desafíos como:

- La necesidad de equipos especializados y su mantenimiento.
- La capacitación técnica del personal para operar y supervisar correctamente el proceso.
- Una mayor logística para garantizar un suministro constante y uniforme del concreto durante la aplicación.
- Constante monitoreo al diseño de mezcla del concreto para el lanzado, ya que, si no se tiene un correcto diseño, este podría secarse y provocar atorro de tuberías y que el enlucido no sea adecuado.

El método convencional, aunque menos eficiente, sigue siendo una alternativa viable en proyectos con menor urgencia o restricciones presupuestarias, debido a sus costos iniciales más

bajos y también en suelos menos consolidados ya que para proyectarse se necesita que el estrato sea duro.

5.1.4. Validación de las Hipótesis Planteadas

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis de que el concreto lanzado es más eficiente en tiempo y calidad que el método convencional, ya que se cumple que se puede reducir el 25% en la construcción de sótanos. Las tablas comparativas (Tablas 3, 5, 8, 10, 11 y 12) respaldan que, aunque el costo directo es mayor, el método lanzado asegura una calidad superior, haciéndolo más rentable en proyectos de gran envergadura.

5.1.5. Discusión sobre las Implicaciones Prácticas de los Resultados

Los resultados obtenidos muestran que el concreto lanzado ofrece ventajas significativas en tiempo y calidad, lo que tiene importantes implicaciones prácticas para la industria de la construcción en Lima:

- **Proyectos de gran escala:** Su uso permite acelerar cronogramas, optimizando la ejecución de edificaciones multifamiliares con sótanos múltiples, como se evidencia en el proyecto "Milano" (Tabla 11).
- **Reducción de costos indirectos:** Al disminuir el tiempo de obra, los costos relacionados con la administración, logística y equipos auxiliares se ven reducidos, impactando positivamente la rentabilidad global del proyecto.
- **Mejor cumplimiento normativo:** Los acabados más uniformes y de mayor calidad del concreto lanzado aseguran que las estructuras cumplan con estándares técnicos más exigentes, reduciendo la probabilidad de retrabajos.
- **Adaptabilidad en condiciones urbanas:** La eliminación del encofrado reduce el espacio requerido en obra, lo que facilita su implementación en entornos urbanos con restricciones de espacio.

No obstante, su implementación depende de la disponibilidad de equipos especializados, del conocimiento técnico adecuado y del manejo logístico para garantizar el suministro continuo de concreto premezclado y la experiencia de la constructora.

5.2. Conclusiones preliminares del análisis

5.2.1. Resumen de hallazgos principales

Tiempo:

El método de concreto lanzado demuestra menores tiempos de ejecución que el convencional en diferentes proyectos. Como se observa en la figura 39, los proyectos que lo usaron lograron reducir su tiempo de ejecución en aproximadamente 25%.

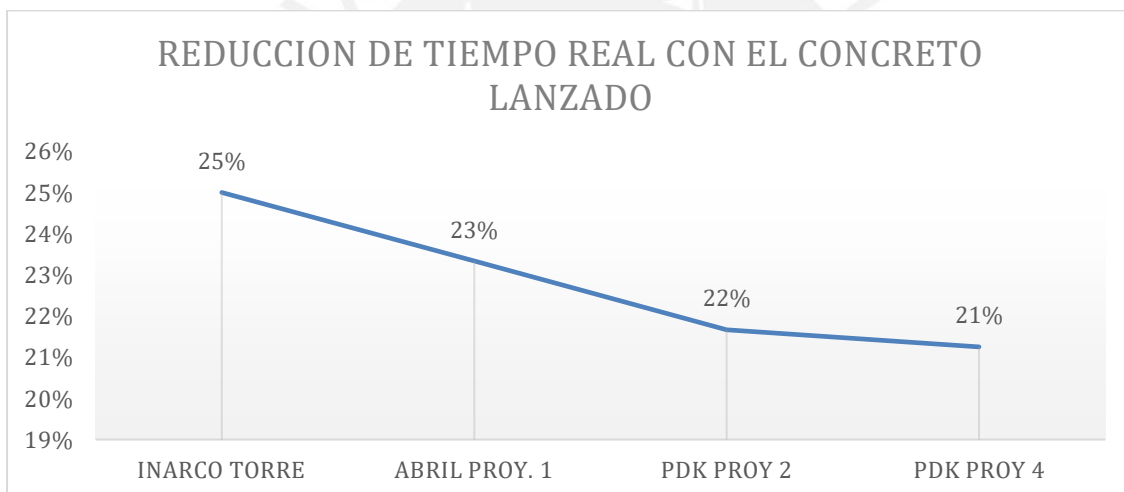


Figura 39. Reducción de tiempo real con concreto lanzado.

En todos los casos, la mayor rapidez del método lanzado se explica por la eliminación de actividades como el encofrado y desencofrado, y un mayor rendimiento en la aplicación del concreto, con un promedio de 2.8 paños diarios frente a 2.2 en el método convencional (Tablas 11 y 12).

Costo:

El costo total por metro cuadrado es ligeramente mayor en el método lanzado, como se observa en la figura 40, los costos por m² son parecidos y lo que varían es por la experiencia del constructor produciendo menos desperdicio.



Figura 40. Costo por m² de concreto en diferentes proyectos.

5.2.2. Limitaciones del análisis

Ámbito geográfico:

- Los datos se limitan a proyectos en Lima Metropolitana, por lo que las conclusiones podrían no ser representativas en otras regiones con diferentes condiciones geográficas, o normativas.

Número de proyectos:

- Aunque se utilizaron proyectos comparables, el tamaño de la muestra podría limitar la generalización de los resultados. Además, como son proyectos diferente cada experiencia es distinta por tanto varía y no se podría comparar las complicaciones que tiene cada proyecto.

Impacto ambiental no considerado:

- El análisis no incluye la evaluación de la huella de carbono o el desperdicio generado por ambos métodos.

Variabilidad de proveedores:

- Los costos y tiempos pueden variar dependiendo de la experiencia de los contratistas y la calidad de los insumos suministrados por las concreteiras.

5.2.3. Propuestas para investigaciones futuras o mejoras en el proceso

Ampliación del análisis:

- Incluir proyectos en distintas regiones y contextos para evaluar la aplicabilidad del concreto lanzado en diferentes escenarios.
- Analizar cómo las características del terreno y el tipo de obra afectan el rendimiento de ambos métodos.

Evaluación ambiental:

- Realizar estudios de sostenibilidad que incluyan la huella de carbono, el consumo energético y la gestión de desperdicios de ambos métodos.

Optimización de costos:

- Investigar tecnologías y materiales alternativos para reducir los costos del concreto lanzado, como el uso de aditivos que mejoren la fluidez y adherencia.

Capacitación técnica:

- Desarrollar programas de formación para operarios, ingenieros y supervisores en la aplicación del concreto lanzado, asegurando un uso eficiente de los equipos y minimizando errores en obra.

Mejorar la logística de entrega:

- La entrega del concreto debe ser óptima ya que si se retrasa un mixer este podría accionar que la partida de enlucido no se lleve a cabo por lo que el concreto se secaría en pésimas condiciones.

Innovación tecnológica:

- Incorporar tecnologías avanzadas como sensores en tiempo real para monitorear la calidad del concreto aplicado y mejorar la precisión de los acabados.

Mejora y monitoreo continuo del diseño de mezcla:

- Al ser un concreto trabajado en estado fresco, su desempeño depende de la calidad de fabricación. Por ello, es fundamental monitorear constantemente el diseño de mezcla, ya que un mal agregado podría provocar el secado prematuro de la mezcla, afectando la calidad del enlucido y evitando un resultado óptimo.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El shotcrete ha demostrado ser una alternativa rentable para la construcción de muros anclados en edificaciones multifamiliares en Lima, superando al método convencional en términos de tiempo y calidad. En los proyectos analizados, el tiempo total de ejecución de los muros anclados se redujo en aproximadamente 25% en comparación con el sistema convencional.

Por ejemplo, en edificaciones de 6 sótanos como los proyectos *Milano* y *Abril Proyecto 1*, el método convencional habría requerido en promedio 6.1 meses para completar todos los anillos, mientras que con shotcrete el plazo real fue de 4.6 meses. Esto representa una reducción de 1.5 meses, equivalente al 24.6% de ahorro en tiempo.

Este ahorro proviene de la eliminación del encofrado y desencofrado, menor manipuleo y traslado de materiales, rapidez en la apertura de paños y avance del siguiente anillo, posibilidad de adelantar actividades como tensado de anclajes y excavaciones.

En cuanto a costo, en proyectos evaluados, el shotcrete muestra costos competitivos al reducir los tiempos de instalación y optimizar recursos como materiales y mano de obra, sin embargo, el costo por metro cuadrado es mayor al convencional.

En cuanto a la calidad de acabado, el shotcrete genera superficies uniformes y compactas, reduce la formación de grietas y defectos, y presenta un mejor acabado. Esto garantiza una mayor durabilidad y reduce los costos asociados a retrabajos o corrección de imperfecciones.

Validación de la Hipótesis

La hipótesis planteada en esta investigación se valida, ya que el shotcrete se presenta como una técnica más eficiente en términos de tiempo (25% menos que el método tradicional) y con una calidad superior en los acabados. Además, su versatilidad permite adaptarse en proyectos de lima, ya que esta ciudad presenta un buen tipo de suelo en Lima (S1 y S2), confirmando su utilidad para proyectos multifamiliares.

Recomendaciones

- **Capacitación del personal:** Es importante capacitar a los operadores y supervisores en el manejo de equipos especializados para shotcrete, como bombas de concreto y sistemas de proyección. Esto no solo garantizará una aplicación eficiente, sino también una mayor seguridad y calidad en el trabajo.
- **Mejora en la logística de entrega del concreto,** ya si no se posee este control el retraso de la proyección se vería afectada.
- **Mejora y monitoreo continuo del diseño de mezcla** ya que si se coloca un agregado malo este puede ocasionar que el concreto fragüe lento o rápidamente afectando la productividad o el enlucido.
- **Es recomendable por especialistas que este método es más viable aplicarlo en el segundo anillo o continuación de un sótano** ya que en ese punto el terreno es más consolidado por lo que disminuye la caída de partículas del terreno.
- **Controles de calidad:** Implementar un sistema de control de calidad desde la llegada de la mezcla hasta el curado final. Esto incluye la evaluación periódica del slump para verificar su capacidad de proyección, la uniformidad de las proyecciones y la supervisión del curado para asegurar un acabado óptimo.
- **Se debe buscar el uso de aditivos que mejoren el rendimiento de la mezcla,** como fibras metálicas o polímeros.

- Planificación detallada del proceso: Diseñar cronogramas detallados que coordinen cada etapa del proceso constructivo, desde la preparación del terreno hasta el tensado de los anclajes. Esto minimizará interrupciones y asegurará la continuidad del trabajo en obra.
- Estudio de viabilidad en nuevos proyectos: Antes de adoptar el shotcrete, realizar estudios específicos que comparen su rendimiento frente al método convencional en términos de costos, tiempos y calidad según las condiciones del proyecto. Esto permitirá identificar cuándo su aplicación es más beneficiosa.
- Sostenibilidad y gestión ambiental: Promover prácticas sostenibles durante el uso del shotcrete, como la reutilización de materiales sobrantes y la minimización del polvo generado durante la proyección. Esto ayudará a cumplir con las normativas ambientales y reducir el impacto ecológico del proyecto.
- Investigación continua: Recomendar investigaciones futuras que analicen nuevas tecnologías y aditivos para el shotcrete, así como su aplicación en diferentes contextos geotécnicos. Esto permitirá maximizar su eficiencia y explorar nuevos usos dentro de la ingeniería civil.
- Difusión de resultados y buenas prácticas: Compartir los resultados y las experiencias obtenidas en este estudio con otras constructoras y profesionales del sector. Esto fomentará una mayor adopción del shotcrete como técnica rentable y eficiente en la construcción de muros anclados.

Referencias bibliográficas

ACI (American Concrete Institute). (2008). Shotcrete for Structural Applications. ACI 506.2-13(18).

Bernardo, G., Guida, A. y Meca, I. (2015). Avances en la tecnología del hormigón proyectado. Transacciones WIT sobre el entorno construido, 153, 591-602.

Camarena Cosme, F. M. (2016). *Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción de lanzado de la E.E. Robocon S.A.C. en la Mina San Cristóbal - Cía Minera Volcan S.A.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]

Ingeniería Real. (2023). TODO SOBRE TALUDES: CLASIFICACIÓN Y DISEÑO EXPLICADO.

https://books.google.com.pe/books/about/Manual_de_ingenier%C3%ADa_de_taludes.html?id=0Riz-5qZERcC

Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2015). *Guía Chilena del Hormigón Proyectado - Shotcrete* (Segunda Edición). Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile.

Galan, I., Baldermann, A., Kusterle, W., Dietzel, M., & Mittermayr, F. (2019). Durability of shotcrete for underground support—Review and update. *Construction and Building Materials*, 202, 465-493.

León Córdor, L. A. (2018). Evaluación de la aplicación del Shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el nivel 6-xc750w en la unidad cuerpo Mery-Compañía Minera Casapalca 2017.

Malmgren, L., Nordlund, E. y Rolund, S. (2005). Fuerza de adherencia y retracción del hormigón proyectado. *Túneles y tecnología espacial subterránea*, 20 (1), 33-48.

Muñoz Beltrán, AJ (2011). Manual para el proceso de diseño y construcción de muros anclados de concreto lanzado.

Paez, J. M., Ruiz, M. A., & Vargas, E. (2018). Shotcrete for Soil-Structure Interaction in Foundations. In *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development* (pp. 471-480). Springer, Cham.

Putzmeister (2014). Best Support Underground. *Equipo robotizado para shotcrete*. <https://bestsupportunderground.com/equipo-robotizado-shotcrete/>

Pye, J. H. (2006). Shotcrete. Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials.

Rodríguez, L. (s.f.). Muros Anclados. Panawebsc.

<https://www.panawebsc.com/muro-anclado>

Ramírez Sotomayor, C. A. (2024). Muros anclados: Soluciones eficaces en una excavación. Claudio Antonio Ramirez Soto.

<https://claudioantonioramirezoto.com/construccion/muros-anclados-soluciones-eficaces-en-una-excavacion/>

SkyCiv Engineering. (2022, 28 de julio). *Tipos de muro de contención*. SkyCiv.

<https://skyciv.com/es/docs/skyciv-retaining-wall/articles/types-of-retaining-wall/>

Talavera Gazga, S. O. (2023). Optimización de lanzamiento de Shotcrete para reducir costos operativos, CJ Netcom SAC-Cía Minera Raura SA 2020.

Toledo Garay, F. E., Romero Baylon, A., & León Delgado, E. F. (2016). Ingeniería del concreto lanzado reforzado para el sostenimiento de rocas deleznable en excavaciones subterráneas.

Investigaciones Geográficas. Recuperado de

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/12956/11573>

Victory Epes. (2019, February 8). Concepto y clasificación de los anclajes. [Victory Epes]. Revisado en:

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/02/08/concepto-y-clasificacion-de-los-anclajes/>

Viljoen, B. C. (2015). *Sprayed concrete for underground excavations — a status report*. Durban, Sudáfrica.

Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2023, 11 de enero). Talud - Qué es, definición, en la ingeniería y estructura. Definición.de.

<https://dle.rae.es/talud>

Wang, J., Niu, D., & Zhang, Y. (2015). Mechanical properties, permeability and durability of accelerated shotcrete. *Construction and Building Materials*, 95, 312-328.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.148>

Yoggy, G. D. (2000). The history of shotcrete. Shotcrete (American Shotcrete Association), 2(4), 28-9.