



Facultad de Ciencia y Tecnología.

Ingeniería Civil.

Análisis técnico-económico entre el método de proyección neumática de hormigón (shotcrete) y el método tradicional de colado por gravedad, aplicado a muros estructurales

Trabajo previo a la obtención del grado académico de Ingeniero Civil.

Nicolas Manuel Jaramillo Camacho.

Ing. Vladimir Carrasco

Cuenca-Ecuador

2026

## **Dedicatoria**

A mis padres, que con su gran amor y apoyo han sido esenciales para mi formación no solo profesional sino como persona. Mostrándome siempre mediante el ejemplo que la perseverancia es esencial para poder cumplir mis metas. Así que, el haber llegado aquí y el poder seguir mejorando es y será gracias a ellos.

## **Agradecimientos**

Esta investigación en gran parte fue gracias al apoyo brindado en mi lugar de trabajo, la empresa Proyecctar, no solo por facilitar el acceso a datos técnicos y el conocimiento obtenido la oportunidad de estar en obra, junto con la formación profesional y la guía constante de mis superiores, cuya experiencia es de inmensa ayuda para mi crecimiento como ingeniero

## Resumen

La investigación a continuación desarrolla el análisis técnico-económico entre el método tradicional de colado por gravedad y el método de proyección neumática (shotcrete) aplicado a muros estructurales. El estudio se llevó a cabo en el proyecto en construcción Mall del alto, esto para aprovechar una recolección de datos reales y en sitio, obteniendo resultados más cercanos, tomando un enfoque cualitativo y cuantitativo, enfocándose en rendimientos, costos y entrevistas.

La investigación dio como resultado que el método de proyección neumática (shotcrete) aumentara el rendimiento del colocado del hormigón en un 100%, con 18m<sup>3</sup>/día en comparación a los 10m<sup>3</sup>/día. Otro punto fuerte a añadir es la reducción a la mitad del uso de encofrados y por lo tanto su costo de alquiler, mejorando así costos, rendimientos y logística. Al pasar al análisis de costos, el ir por el método propuesto mostrara un ahorro del 5.04% frente al método tradicional. Así que se concluye que el método de proyección neumática es una alternativa más rápida, más barata y representa innovación para el ámbito constructivo cuencano.

*Palabras clave: Hormigón proyectado (shotcrete); Colado por gravedad; Análisis técnico-económico; Muros estructurales; Rendimiento constructivo; Construcción en Cuenca.*

## **Abstract**

The following research presents a technical-economic analysis comparing the traditional gravity-casting method and the pneumatic spraying (shotcrete) method applied to structural walls. The study was carried out at the Mall del Alto construction project to leverage real, on-site data collection and obtain more accurate results. It adopts both a qualitative and quantitative approach, focusing on productivity, costs, and interviews.

The results show that the shotcrete method increased concrete placement productivity by 100%, delivering 18 m<sup>3</sup>/day compared to 10 m<sup>3</sup>/day with the traditional method. Another major advantage is cutting formwork use in half, which directly reduces rental costs and improves overall finances, productivity, and logistics. Furthermore, the cost analysis indicates that opting for the proposed method yields a 5.04% savings over the traditional approach. Ultimately, it is concluded that the pneumatic spraying method is a faster, more economical alternative that represents a true innovation for the construction sector in Cuenca.

*Keywords: Shotcrete (sprayed concrete); Gravity casting; Techno-economic analysis; Structural walls; Construction productivity; Construction in Cuenca.*

# Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice de contenidos	vi
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	ix
1. Nuevos métodos y su aplicabilidad en el ámbito constructivo cuencano.	1
1.1 Introducción	1
1.2 Métodos constructivos tradicionales	4
1.3 Métodos constructivos propuestos.	7
1.3.1 Parámetros técnicos de evaluación.	16
1.4 Relevancia en el contexto local.	17
2. Análisis de rendimientos para el método tradicional y la metodología a estudiar.	19
2.1 Metodología.	20
2.1.1 Técnicas e instrumentos para recolección de datos.	21
2.1.2 Entrevistas a actores clave	22
2.2 Datos técnicos.	34
2.2.1 Cono de Abrams.	35
2.3 Rendimiento método de colado tradicional.	38
2.4 Rendimiento método de proyección neumática (Shotcrete).	42
3. Comparativa de costos del método tradicional y el método de proyección neumática.	45
3.1 Análisis de precios para el método de colado tradicional.	46
3.2 Análisis de precios para el método de proyección neumática (shotcrete).	48
4. Resultados Generales.	52

4.1	Conclusiones.	56
5.	Bibliografía.	59

## Índice de figuras

Figura 1-1: Área de estudio (Mall del Alto) .....	1
Figura 2-2: Encofrado y colado tradicional. ....	4
Figura 3-3: Método de proyección neumática (Shotcrete). ....	7
Figura 4-4: Aplicabilidad en geometrías complejas. ....	8
Figura 5-5: Sistema de mezcla seca. ....	11
Figura 6-6: Sistema de mezcla semihúmeda. ....	12
Figura 7-7: Sistema de mezcla húmeda. ....	13
Figura 8-8: Bomba de aire a compresión. ....	15
Figura 9-9: Armado previo a proyección. (a) vista frontal (b) vista trasera .....	16
Figura 10-1: Cono de Abrams. ....	22
Figura 11-2: Prueba in-situ de asentamiento. ....	36
Figura 12-3: Asentamiento de Hormigón por método proyectado ( shotcrete).....	37
Figura 13-1: Comparativa de rendimientos ambos métodos. ....	52
Figura 14-2: Grafica de barras de precios por rubros. ....	55

## Índice de tablas

Tabla 1-1: Encuesta Velocidades .....	24
Tabla 2-2: Encuesta Facilidad .....	26
Tabla 3-3: Encuesta Acabado .....	27
Tabla 4-4: Encuesta Precio .....	29
Tabla 5-5: Encuesta Experiencia .....	31
Tabla 6-6: Encuesta Inversión. ....	33
Tabla 7-7: Materiales comunes.....	38
Tabla 8-8: Materiales con diferencia .....	40
Tabla 9-1: Materiales utilizados método Tradicional.....	46
Tabla 10-2: Análisis de precios unitarios Método tradicional.....	47
Tabla 11-3: Materiales utilizados Hormigón proyectado( Shotcrete) .....	49
Tabla 12-4: Análisis de precios unitarios Método de proyección neumática (shotcrete). .....	50
Tabla 13-1: Comparativa de precios.....	54

# 1. Nuevos métodos y su aplicabilidad en el ámbito constructivo cuencano.

## 1.1 Introducción

Este trabajo de titulación se enfocará en una comparación técnico-económica de dos métodos de construcción usados en muros estructurales; por un lado, el método tradicional de colado por gravedad con encofrados y por otro, el método de proyección neumática de hormigón (Shotcrete). Este informe técnico se desarrollará en un contexto del proyecto en construcción Mall del Alto, ubicado en la ciudad de Cuenca, lo que permitirá la obtención de datos en tiempo real y en un ambiente controlado.

*Figura 1-1: Área de estudio (Mall del Alto)*



*Fuente: Elaboración propia*

Se enfocará en la oportunidad única de acceder a un proyecto en ejecución, analizando a dos grupos de trabajo, con frentes de trabajo separados siendo realizados en simultáneo, así logrando obtener tanto datos cuantitativos como cualitativos para así poder analizar rendimientos, costos y calidad. Brindando así un aporte al sector de construcción local, buscando promover la innovación, optimización de recursos y profesionalización.

El problema en el que se quiere aportar información es que, en la industria de la construcción en la ciudad, existe una carencia de datos comparativos basados en datos reales para poder analizar posibles métodos innovadores como el hormigón proyectado (shotcrete), lo que dificulta la evaluación técnica y económica de estos. Por otro lado, los métodos tradicionales que predominan en la industria, crean una burbuja que no permite analizar nuevas opciones, esto se junta a la carencia de datos locales, dificultando la toma de decisiones sobre una metodología u otra para seguir un proceso más eficiente.

**Objetivo general:** será analizar comparativamente, desde los puntos de vista técnico y económico, los métodos de proyección neumática (shotcrete) y de colado por gravedad aplicados a muros estructurales.

**Objetivos específicos:**

- Describir la metodología técnica del hormigón proyectado (shotcrete).
- Evaluar y comparar los rendimientos de ambos métodos.
- Cuantificar costos de materiales, mano de obra y tiempos de ejecución.
- Determinar propiedades técnicas del hormigón proyectado (shotcrete).
- Establecer criterios para la selección del método más adecuado.

El proyecto se desarrollará a lo largo de 24 semanas, centrándose en actividades clase para la obtención de los datos necesarios para el análisis, datos como;

- Recolección de datos de ambos métodos.
- Cálculo de rendimientos y materiales.
- Entrevistas con actores claves.
- Ensayo de cono de Abrams.
- Análisis de costos y preparación de recomendaciones.

Con este trabajo se espera presentar lo siguiente;

- Proveer un marco decisional para seleccionar la metodología constructiva según el tipo de proyecto.
- Generar datos locales para realizar una comparativa que llene los vacíos de información presentes en el sector local.
- Promover la implementación de técnicas nuevas para optimizar tiempo y recursos.
- Servir como referencia tanto académica, como profesional para futuros proyectos de esta región.

El sector de la construcción se caracteriza por tener que analizar factores críticos como la planificación adecuada de trabajos, capacitación, gestión del tiempo, así como la evaluación y retroalimentación. Para mantener una evolución y mejorar la eficiencia y optimización de recursos (Curo y Tintaya, 2023). En base a esta idea, se plantea la introducción de metodologías más modernas, como en este caso es la proyección neumática de hormigón (shotcrete) mediante un compresor de aire de alta potencia o también conocido como shotcrete. Representando una de las mejoras en el área de la construcción más útiles, iniciando como una técnica experimental, y se ha vuelto una metodología de gran utilidad para recubrimiento de taludes, pero más importante y el enfoque de esta investigación será su uso para muros estructurales (Berrio et al., 2025)

## 1.2 Métodos constructivos tradicionales

Figura 2-2: Encofrado y colado tradicional.



Fuente: (OMEGA, 2016)

### **Sistema tradicional: colado por gravedad con encofrados**

El método tradicional para los muros de hormigón armados se centra en el uso de encofrados, sean de madera o metálicos y un colado de hormigón mediante el método llamado de gravedad. Siendo un método que la mayoría, por no decir todos los profesionales del área conocen, por su fiabilidad y uso en construcciones típicas (Arteaga et al., 2017). Por otro lado, al analizar a profundidad este método aparecen desventajas en términos de rendimientos, tiempos de ejecución y manejo de materiales, esto se vuelve mucho más notorio si es que tenemos en cuenta proyectos que prioricen la velocidad de ejecución.

Entre las características de la metodología tradicional se tienen los siguientes factores:

- Proceso de montaje y desmontaje de los encofrados.
- Espera por el tiempo de fraguado.
- Mano de obra sin necesidad de gran especialización.

Basándose en el trabajo de “*características de muros de hormigón armado diseñados en Chile*” realizado en la universidad de Chile, obtenemos bastante información útil sobre este método, si bien los edificios de hormigón armado, predominantemente estructurados en base a muros de rigidez, han demostrado un buen comportamiento sísmico histórico, las exigencias arquitectónicas actuales (espacios libres, grandes ventanales) y el aumento en altura de las edificaciones han derivado en muros cada vez más esbeltos y con mayor densidad de armadura. Esta evolución en el diseño plantea interrogantes sobre la factibilidad constructiva de estos elementos, especialmente en lo que respecta a la correcta colocación y compactación del hormigón en condiciones de alta congestión de acero y espesores reducidos.

En base a una revisión de varias edificaciones de la región de estudio, obtenían que, el resultado más relevante desde la perspectiva del colado es la marcada tendencia al uso de espesores de 20 cm, presentes en el 59% de los muros estudiados. Le siguen los espesores de 25 cm (17,2%) y 15 cm (8,5%). Esta preponderancia del espesor de 20 cm implica que los encofrados conforman moldes angostos y de gran altura (predominan alturas de 255 y 285 cm), por donde el hormigón debe descender y distribuirse adecuadamente. En estas condiciones, la fluidez de la mezcla se convierte en un factor crítico: un hormigón con baja trabajabilidad podría no llenar completamente el molde, generando coqueas o "nidos de piedra" que comprometen la integridad estructural del muro.

La caracterización realizada permite identificar una clara tensión entre las exigencias del diseño sísmico y las necesidades del proceso constructivo. Resultante del estudio presentado en el informe mencionado previamente; 20 cm de espesor, con armadura de borde de alta cuantía (a menudo  $>3\%$ ) y doble malla en el alma – representa un escenario de alta complejidad para el colado. (DÍAZ, 2008)

Las principales características a tener en cuenta para la realización de muro de hormigón armado mediante encofrados son;

1. Zonificación de riesgo: Las zonas de borde de los muros, donde se concentra la mayor densidad de acero, deben ser identificadas como puntos críticos que requieren atención especial durante la etapa de planificación del colado.
2. Dosificación del hormigón: Para garantizar un llenado completo y una compactación adecuada en estas condiciones, se requiere un hormigón de alta trabajabilidad, probablemente con el uso de aditivos superfluidificantes, manteniendo una relación agua/cemento que no comprometa la resistencia ni la durabilidad.
3. Procedimiento de colado y vibración: La técnica de vibración debe ser meticulosamente planificada para asegurar que la energía llegue a todas las zonas, especialmente a los bordes congestionados, sin causar segregación. Puede ser necesario el uso de vibradores de mayor frecuencia o diámetros adecuados para penetrar la armadura.
4. Coordinación diseño-construcción: La importancia de que los equipos de diseño estructural y construcción trabajen de manera integrada. Un diseño que cumple sobradamente con las normas sísmicas puede resultar inviable o de baja calidad si no se considera su constructibilidad desde las etapas tempranas.

### 1.3 Métodos constructivos propuestos.

Figura 3-3: Método de proyección neumática (Shotcrete).



Fuente: Elaboración propia.

#### **Sistema de proyección neumática de hormigón (Shotcrete)**

El hormigón proyectado (shotcrete), ampliamente conocido por su término en inglés shotcrete, posee un origen que quizás sorprende a muchos, ya que no nació en el mundo de la ingeniería o la construcción pesada, sino en el ámbito artístico. Su historia se remonta a 1907, cuando el escultor neoyorquino Carl Ethan Akeley buscaba una forma práctica de crear figuras de gran tamaño. Su objetivo era dar vida a animales prehistóricos, y para ello ideó un mecanismo que proyectaba arcilla sobre una estructura metálica, permitiéndole esculpir de manera más eficiente. Este ingenioso método fue la semilla de lo que hoy conocemos como hormigón proyectado.

Con el tiempo, la mezcla de arcilla evolucionó; se le incorporó cemento y arena, transformando aquella herramienta artística en un material de construcción con un potencial enorme. Así nació formalmente el hormigón proyectado, dejando atrás los muros para adentrarse en obras de infraestructura.

Hoy en día, esta técnica se ha convertido en un aliado indispensable para la construcción moderna. Su principal atractivo radica en las ventajas que ofrece frente a los métodos tradicionales: al no requerir moldajes o encofrados, permite agilizar los tiempos de ejecución y facilita su aplicación en geometrías complejas o lugares de difícil acceso.

*Figura 4-4: Aplicabilidad en geometrías complejas.*



*Fuente: Elaboración propia.*

Esta versatilidad lo hace ideal para una amplia gama de usos. Por ejemplo, es una solución recurrente en la estabilización de taludes y la construcción de muros de contención, así como en el refuerzo estructural de muros existentes. Sin embargo, su aplicación más sistemática y extendida se da, sin duda, en la excavación de túneles, siendo un pilar fundamental tanto en la minería, los proyectos hidroeléctricos como en la construcción de metros subterráneos.

Las primeras experiencias con esta tecnología no estuvieron exentas de dificultades. En sus inicios, la falta de experiencia con la técnica trajo consigo varios desafíos, como el alto índice de rebote del material, la escasez de mano de obra especializada y la carencia de equipos adecuados para su correcta ejecución, problemas que obligaron a los profesionales de la época a aprender y perfeccionar el método sobre la marcha.

Mirando hacia el futuro, y considerando el importante número de proyectos de túneles mineros y de metro que se vislumbran a nivel internacional, estudiar a fondo el hormigón proyectado se vuelve no solo relevante, sino necesario. Esto es especialmente cierto en el ámbito normativo, dado que en muchos lugares aún no se cuenta con una regulación nacional específica que establezca los lineamientos para su producción y aplicación. Esta carencia plantea un escenario de incertidumbre técnica que es crucial abordar. Es en este contexto que surge la motivación para analizar y comparar diversos códigos y normativas internacionales sobre hormigón proyectado o shotcrete. La meta final es aportar herramientas técnicas y criterios claros que sirvan de base para regular y estandarizar su uso, asegurando así la calidad y seguridad de las futuras construcciones.

Los pilares fundamentales del hormigón proyectado son;

1. **Vías de Proyección:** Se diferenciaron claramente la vía seca (el agua se añade en la boquilla) de la vía húmeda (todos los componentes, incluida el agua, se mezclan antes de bombearse). Cada una presenta ventajas y desventajas en cuanto a control, producción, polvo y rebote.
2. **Resistencias Tempranas:** Se profundizó en este concepto, crucial para túneles, que clasifica el hormigón en clases J1, J2 y J3 según su desarrollo de resistencia en las primeras 24 horas. Una alta resistencia temprana (J3) es necesaria en terrenos difíciles o con filtraciones, pero aumenta el polvo y el rebote.

3. **Hormigón con Fibras:** Se analizó el aporte de las fibras (generalmente de acero o sintéticas) para mejorar la ductilidad, resistencia a la flexión y control de fisuras, reemplazando en muchos casos a las mallas de acero tradicionales. Su desempeño se mide mediante la capacidad de absorción de energía (clases E500, E700, E1000).

Es necesario expandir en el proceso o vía de proyección, ya que será necesario usar una u otra dependiendo de la situación.

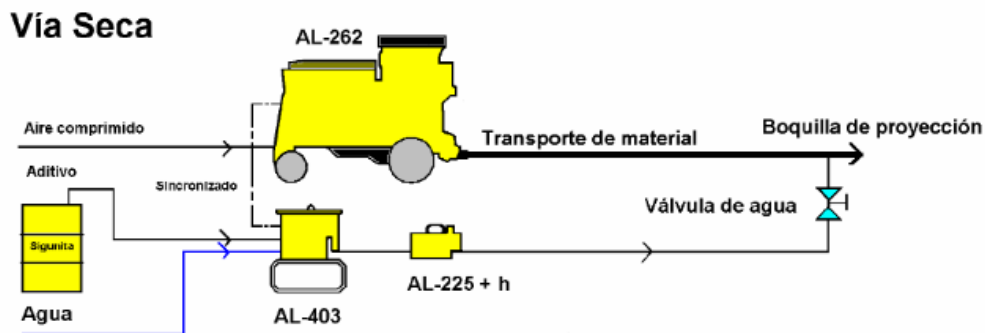
**Sistema de mezcla seca;** esta, al igual que todos los métodos, requerirá equipos y experiencia especializada. En este proceso en específico, todos los componentes del hormigón llegan ya mezclados, todos excepto el agua, esta se incluirá justo antes de la proyección mediante la boquilla, así que la mezcla se transportará en seco a través de las mangueras y gracias al compresor de aire hacia la boquilla.

1. La dosificación del agregado tendrá que ser mezclado en las proporciones correctas para conseguir una homogeneidad perfecta, de esto dependerá el correcto proyectado, lo normal es usar un cemento portland, aunque a veces se pueden usar diferentes tipos de hormigón o diferentes tipos de árido.
2. La mezcla se coloca en el alimentador (se puede incluir aditivos en polvo si es que es necesario)
3. Para que la mezcla entre hacia la manguera se usa una rueda o distribuidor, que en esencia es un rotor.
4. Aquí entra en juego el compresor de aire, ya que este es el encargado de transportar la mezcla a través de la manguera hacia la boquilla, en esta boquilla en específico, se puede ver lo que es llamado como un distribuidor múltiple perforado, en el cual se pulveriza el agua. En esta parte es que el agregado se mezcla y se formará el hormigón.

5. Al ya tener la mezcla humedecida, esta, gracias al compresor de aire será proyectada por la boquilla hacia el punto que se planea proyectar.

Dentro del método de mezcla seca, existen tres casos en los que principalmente se recomienda su uso; proyectados de alta velocidad, proyectados de baja velocidad y en casos de transporte. En el proyectado de alta velocidad se usará una boquilla pequeña y el compresor de aire tendrá que estar en una mayor potencia, resultando en una gran velocidad de impacto, llegando a velocidades de 90 a 120 metro por segundo, consiguiendo así la mejor compactación posible, pero, por otro lado, un rendimiento relativamente bajo, ya que la boquilla es de un diámetro menor.

Figura 5-5: Sistema de mezcla seca.



Fuente: (Rey, 2006)

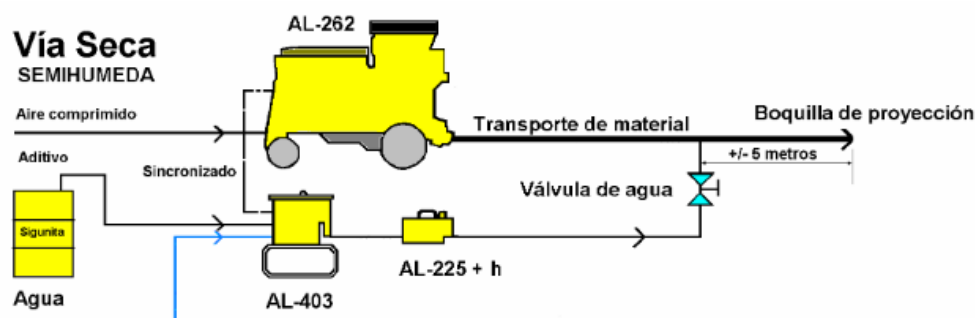
Otro procedimiento para la aplicación en vía seca es con el proyectado a baja velocidad, en el que se necesitará una bomba con alta capacidad de producción, y a diferencia del otro método, la boquilla en este caso tendrá que ser de un gran diámetro, siendo mucho más amplia, esta no resultara en una compactación tan alta como en el método de alta velocidad pero igual se conseguirá todas las características del proyectado, como, baja relación agua cemento, buena compactación y alto contenido de cemento.

La diferencia principal en estos dos casos es el transporte, dependiendo mucho de la bomba que será usada para transportar el hormigón por las mangueras hasta la distancia

requerida para el trabajo (recomendable un máximo de 100m en horizontal), entendiéndose como estaciones intermedias y para llegar a las alturas o secciones de difícil alcance. (Rey, 2006)

**Sistema de mezcla semihúmeda;** en este método el procedimiento será idéntico en su inicio, al método de mezcla seca, pero se diferencia en que antes de llegar a la boquilla (aproximadamente unos 5m) se adicionará el agua y se deberá humedecer el árido hasta un 10% así mejorando la mezcla antes de llegar a la proyección final.

Figura 6-6: Sistema de mezcla semihúmeda.

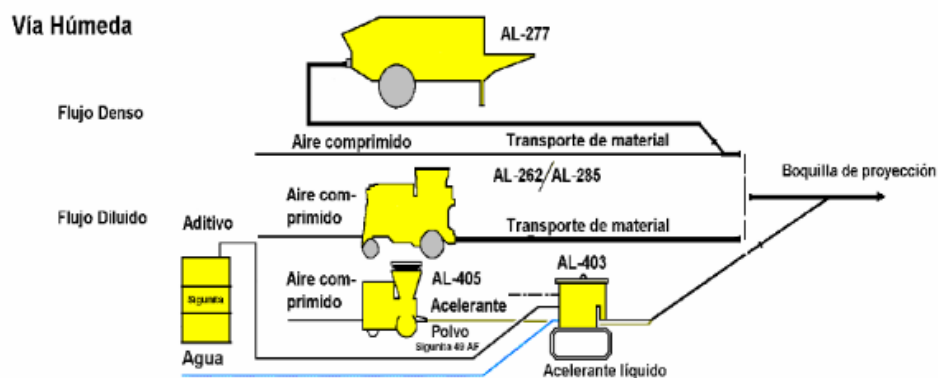


Fuente: (Rey, 2006)

Otra de las ventajas de este método es eliminar el polvo que se crea el momento del uso del agregado en seco, consiguiendo también una menor pérdida de cemento al momento de ser proyectado, resultando en una mezcla más homogénea y de tal manera también una relación agua cemento mejor. (Rey, 2006)

**Sistema de mezcla húmeda;** en este método de colocación, el proyectado consigue propiedades muy parecidas a las del método seco, pero se conseguirá una disminución alta en la dispersión, consiguiendo acabados más controlados. Este procedimiento se realiza a través de dos opciones, una de flujo diluido o por flujo denso, llegando a rendimientos mucho más altos. Llegando a aplicaciones mucho más altas que con la mezcla seca.

Figura 7-7: Sistema de mezcla húmeda.



Fuente: (Rey, 2006)

Aquí la bomba se limita una alta fuerza de bombeo consiguiendo una alta velocidad del agregado hacia la boquilla, esto gracias al chorro de aire comprimido, la compactación en este método puede resultar un poco menor en comparación a sus otros métodos pero no significa que sea mala o que deje un terminado incorrecto, ya que con la última tecnología en máquinas se logra conseguir una acabado ideal para todo tipo de trabajo, y más importante, cero generación de polvo y una perfecta relación agua/cemento. (Rey, 2006)

Mediante el análisis de varias normativas sobre este método obtenemos una basta información, pero enfocada en túneles, minería o estabilización de taludes. No está directamente enfocada en construcción de muros estructurales, pero funciona como una guía de inicio.

Iniciando con los requerimientos del hormigón, todos los códigos exigen propiedades básicas como resistencia a la compresión, adherencia al sustrato y resistencias tempranas. Sin embargo, los códigos europeos (EFNARC, ÖVBB) y el ACI son más exhaustivos al incluir requisitos como la capacidad de absorción de energía (clave para el hormigón con fibras), el módulo de elasticidad y la resistencia a la penetración de agua, lo que los hace más completos para aplicaciones estructurales exigentes. También está el tema de la

clasificación de este, en la que los criterios de clasificación varían. Mientras el código europeo UNE se basa en clases de exposición y resistencia, el austriaco ÖVBB introduce un concepto muy útil: la clasificación por funcionalidad estructural (SpC I, II, III), que se combina directamente con las clases de resistencia temprana (J1, J2, J3). Esto permite al proyectista seleccionar el tipo de hormigón en función no solo de la resistencia final, sino de la velocidad de puesta en carga necesaria. Los códigos EFNARC y ACI también clasifican por absorción de energía, fundamental para el diseño con fibras.

Pero uno de los aspectos más importantes para que el resultado final sea óptimo es el preparar el área de trabajo para la proyección, en este punto, todos los códigos coinciden en lo esencial. La preparación del sustrato (limpieza, retiro de roca suelta, humectación) y una correcta técnica de proyección (boquilla perpendicular a la superficie, distancia de 1-2 m, aplicación de abajo hacia arriba) son universalmente aceptadas como críticas para el éxito. La diferencia radica en el nivel de detalle. Por ejemplo, el código noruego NB enfatiza la evaluación geológica previa, mientras que el EFNARC detalla minuciosamente la preparación para reparaciones de hormigón dañado y también tener en cuenta ciertas restricciones en el material, como; el contenido mínimo de cemento varía desde los 300 kg/m<sup>3</sup> de los códigos europeos hasta los 440-550 kg/m<sup>3</sup> del código noruego NB, reflejando quizás condiciones de exposición más agresivas. La relación agua/cemento (A/C) es consistentemente baja en todos (generalmente por debajo de 0.45-0.50), especialmente para resistencias tempranas altas (J2, J3), subrayando la importancia de este parámetro para la calidad y durabilidad. (ORTEGA, 2012)

Figura 8-8: Bomba de aire a compresión.



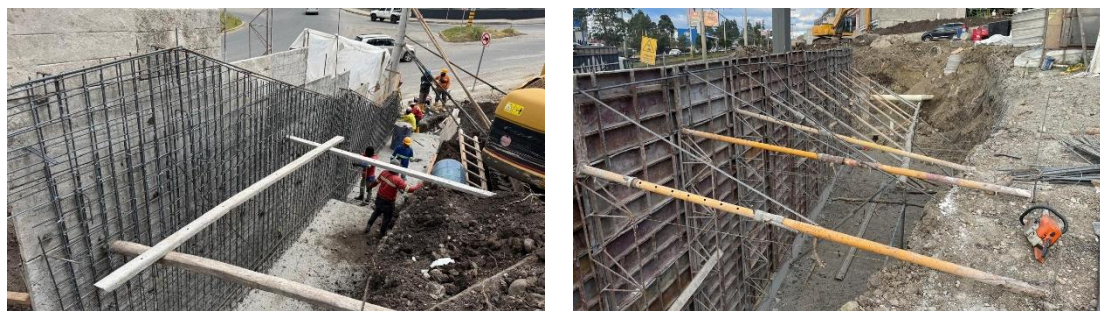
Fuente: Elaboración propia

Centrándose más específicamente en muros estructurales, este método se emplea una bomba de aire a compresión para proyectar a una alta velocidad el hormigón con su dosificación específica, a este proceso se lo puede hacer mediante dos procesos, hidratando y realizando la mezcla antes de la proyección o mediante la mezcla de todos los componentes al momento de pasar por el compresor. Gracias al método de proyectado se puede tener una adherencia y compactación mucho más alta, llegando a mejoras en el tiempo de ejecución y también acabados más homogéneos. (Mochle y Zeisler, 2019)

Unas cuantas ventajas en relación a hormigón proyectado son;

- Eliminación o reducción de encofrados.
- Alta adaptabilidad a diferentes tipos de superficies, sean irregulares o complejas.
- La aplicación se realiza de una manera mucho más veloz.
- La compactación y adherencia se realiza mucho mejor y más rápido. (Tynes y McCleese, 1974)

Figura 9-9: Armado previo a proyección. (a) vista frontal (b) vista trasera



Fuente: Elaboración propia

### 1.3.1 Parámetros técnicos de evaluación.

La metodología de evaluación debe centrarse en las características principales como su resistencia a compresión, su adhesión y su durabilidad. Las investigaciones que han abordado este tema muestran que, debido a su método de aplicación a alta velocidad, este método puede lograr una microestructura más densa, y, por ende, mejores resistencias iniciales. Por otro lado, requiere tener en cuenta muchos factores más para su correcto funcionamiento como su dosificación, sus aditivos y la técnica del operador, este también requiriendo un conocimiento previo de este método constructivo. (Tynes y McCleese, 1974)

La calidad del hormigón proyectado también se verá sujeta a un mayor grado de variabilidad en comparación al método con colado tradicional. Por ellos, es importante realizar pruebas como el asentamiento del concreto, o revisar su resistencia mecánica mediante la evaluación de probetas.

Un punto que es importante mencionar sobre el proceso de los muros por proyección es su proceso exacto para el acabado. El armado de hierros seguirá siendo el mismo, mientras que la diferencia aparecerá primero en el encofrado, ya que es necesario que este sea de un solo lado, reduciendo tanto tiempos, como mano de obra y costos. En el caso de este proyecto el costo se ve reflejado en el alquiler de encofrados, que a lo largo de

todo el proyecto representa un rubro alto, especialmente si se tuviera que duplicar la cantidad de estos para un colado por gravedad. Otra característica presente en el proceso de este tipo de muros, es la presencia de varillas maestras, esto para el acabado final del muro, en la parte trasera del muro, el mismo encofrado, con topes es el encargado de dar el recubrimiento, en este caso de 5cm, del hormigón y la varilla, pero por la parte frontal, una varilla maestra es la encargada de tender el nivel por el que se tendrá el terminado del muro, tanto para el detalle como para el recubrimiento, en la parte del detalle, al colocar una varilla maestra tanto en la parte superior como en la inferior del muro se usa un codal para igualar la superficie proyectada, esto quita cualquier exceso o deja en vista cualquier punto con poca mezcla para corregirlo con la propia mezcla que estaba en exceso y así tener un acabado uniforme en todo el largo de la pared, y dejando las varillas maestras dentro del muro al final para evitar el tiempo de quitado y resane. Por otro lado, la varilla maestra y su uso para el recubrimiento está presente de la misma manera que en un encofrado, se usan topes para tener el recubrimiento de 5cm y con alambre se asegura la varilla con el recubrimiento deseado.

#### **1.4 Relevancia en el contexto local.**

Al introducir técnicas nuevas como el hormigón proyectado (shotcrete), se enfrentará barreras técnicas, sociales y económicas. Esto debido a que en regiones como Cuenca predomina el método tradicional y la falta de datos locales comparativos creara dificultad al momento que técnicos tengan que decidir si optar o no por nuevos métodos.

Pero la mejora en un método constructivo beneficiará no solo a constructoras grandes como empresas, sino tendrá un aporte en la economía local, como;

- Reducción en costos de construcción: viviendas y servicios más accesibles.
- Aumento técnico en el sector: mayor necesidad de mano de obra especializada

- Sustentabilidad: menor desperdicio de materiales y energía. (Tynes y McCleese, 1974)

El análisis técnico-económico entre el hormigón proyectado (shotcrete) y el método tradicional de colado por gravedad representa una contribución valiosa para la industria de la construcción, especialmente en entornos donde la innovación tecnológica es casi nula. La teoría muestra lo significativo en analizar no solo la parte técnica, sino también enfocarse en la parte productiva, económica y social de ambas metodologías. En base a lo descrito se interpretarán los datos obtenidos del proyecto mall del alto y así brindar, al final de este trabajo, recomendaciones y características para el sector de la construcción.

## **2. Análisis de rendimientos para el método tradicional y la metodología a estudiar.**

La recolección de datos se realizará en 4 fases;

**Fase 1:** enfocada en la preparación, coordinando con la empresa encargada de la obra para así tener todos los datos necesarios con el permiso de los responsables. Con esto listo se validarán también los instrumentos para validación de datos, como las hojas de registro o las evidencias de entrevista.

**Fase 2:** se centrará en la recolección de los datos técnicos y las métricas de productividad, manteniendo controles permanentes del avance y la calidad de la obra a realizar, para así medir los tiempos y recursos utilizados. También se tomarán las muestras con el cono de Abrams para tener mayor cantidad de datos comparativos, en este caso en referencia a su trabajabilidad y para aumentar la precisión de los datos. Estos se analizarán en sus diferentes frentes de trabajo.

**Fase 3:** recolectará todos los datos necesarios en referencia a lo económico, como costos unitarios, dentro del que se analizará mano de obra, materiales y uso de equipo, esto a partir de los datos contables y los reportes propios de la empresa. También se tendrá en cuenta los costos de adquisición de la máquina de proyectado neumático.

**Fase 4:** ya con las partes metodológicas y económicas resueltas, se pasará al factor humano, se recolectará las opinión, sugerencias y dificultades que puedan dar los actores claves, los mismos técnicos a cargo de realizar este método. Todo esto en base a entrevistas y así contrastar y enriquecer los hallazgos preliminares.

## **2.1 Metodología.**

Este estudio se enfocará en integrar características cuantitativas y cualitativas para poder conseguir un análisis integral. Para tener una idea más completa del trabajo, se diseñará en tipo comparativo y descriptivo, ya que se realizará el análisis de los dos métodos constructivos en un entorno real, teniendo medidas y descripciones exactas de sus características técnicas.

- Enfoque principal: cuantitativo, analizar todos los datos numéricos en relación con los costos, tiempos, rendimientos y resistencias de los agregados específicos del hormigón.
- Enfoque secundario: cualitativo, para la obtención de datos en tiempo real de los procesos y también poder identificar las ventajas y desventajas del día a día de este nuevo método constructivo, en especial en el entorno de esta obra en específico.
- El proyecto en ejecución del Mall del alto permitirá tener una unidad de análisis detallada para poder tener datos de ambas metodologías dentro de un mismo contexto.

La zona y muestras serán tomadas específicamente por las actividades de la construcción de muros de hormigón ejecutados en el proyecto del mall del alto, con una muestra no probabilística por la ventaja de poder obtener datos, avances y costos exactos en el momento en el que la actividad está siendo realizada, específicamente de;

- Método de proyección neumática (shotcrete): uno o más frentes de trabajo en donde se aplique este método constructivo.
- Método tradicional de fundido con encofrados: en todos sus frentes de trabajo.

En la muestra se añadirán los frentes de trabajo más significativos para tener los datos de costos y rendimientos durante el periodo de recolección de datos.

### **2.1.1 Técnicas e instrumentos para recolección de datos.**

Se utilizarán revisiones técnicas, como el análisis de documentos del proyecto, y herramientas como fichas de registro, memorias de cálculo, especificaciones técnicas, dosificaciones de hormigón, reportes de avances y análisis de precios unitarios.

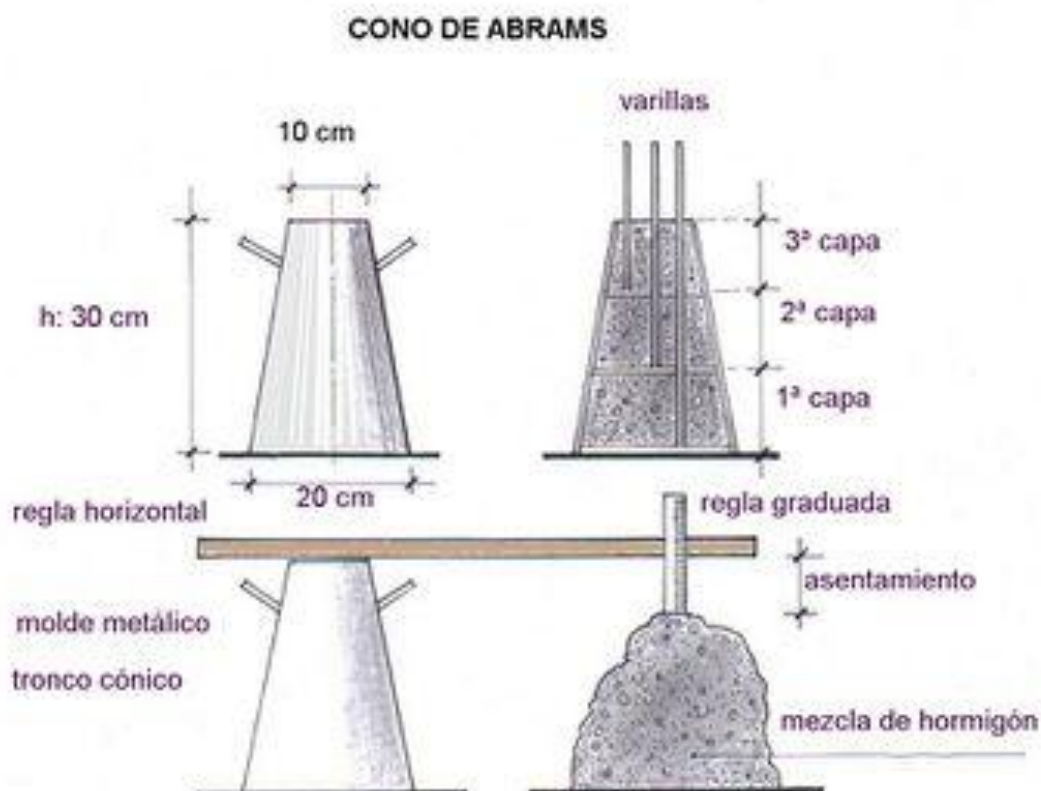
También se realizarán observaciones directas y mediciones directamente en campo, con el uso de hojas de registro de campo, para obtener exactamente los datos, tanto de avance de obra como de tiempos de preparación, colocación/encofrados y proyección. Para medir estos datos se medirá la productividad mediante varias métricas, en el caso del colado u proyección en específico se pueden usar unidades de tiempo, como; m<sup>2</sup>/hora o m<sup>2</sup>/jornada, y esto apoyado de registros fotográficos para evidencias de los avances y los acabados.

Será muy importante el agregar entrevistas de los actores claves en el desarrollo del proyecto y de estos métodos en específico. Principalmente recoger la percepción de los técnicos principales, residentes, maestros principales y operadores de la planta de hormigón para así tener ideas aún más claras de la eficiencia, complicaciones y utilidades de ambas metodologías.

Se utilizará el cono de Abrams para medir la consistencia del hormigón fresco, en específico su trabajabilidad, con las dimensiones técnicas especificadas por la norma. Que son; 100mm de diámetro superior, 200 mm de diámetro inferior y 300 mm de altura.

(Torrent, 2020)

Figura 10-1: Cono de Abrams.



Fuente: (ConstruNews, s.f.)

### 2.1.2 Entrevistas a actores clave

Se entrevistará a los miembros clave para la realización de este procedimiento, desde el nivel más alto hasta los encargados de enviar el hormigón. Se buscará hablar con fiscalizadores, administradores, superintendentes, residentes, contratistas, técnicos de proyectado, ayudantes, despachadores desde la planta de hormigón, operadores de máquina.

Todo esto para poder obtener un punto de vista mucho más amplio sobre este tema, el encargado de supervisar puede tener un punto de vista completamente diferente que quien se encargara de cargar la manguera para el proyectado, y también quien este encargado

de enviar este hormigo, así que se buscara tener la opinión de todos los involucrados, enfocándose en ciertas características clave.

- Velocidad
- Facilidad
- Acabado
- Precio
- Experiencia
- Inversión

Esto para poder abarcar todo lo que conlleva la realización de este rubro, enfocando cada inciso con una calificación del 1 al 5, siendo 1 la menor calificación y 5 la mejor calificación y debajo unas observaciones sobre cada ítem, y manteniendo a los involucrados en anónimo, presentándolo solo como persona 1, 2, etc. Para evitar cualquier problema que pudiera existir con proveedores u otros actores clave.

Se realizarán 7 entrevistas para tener una idea cualitativa de la realización de este método, y así una mejor comprensión de la realización de este.

Después de realizadas las entrevistas podemos ver en general una mayor predisposición hacia el método proyectado, dentro de todo el grupo de los involucrados en este procedimiento, tanto en costos como en velocidad prefieren este método. Muchos, incluyéndome, ha sido la primera vez interactuando con el método de proyectado y para siguientes obras el procedimiento a seguir seguirá siendo el de proyectado.

Un poco de los resultados obtenidos son;

Para el método tradicional, el valor promedio de opinión sobre la velocidad es de 2,8/5, a diferencia de la opinión del método de proyectado en la que el valor promedio es de 4,7/5.

Mostrando una opinión muy superior sobre este método, también es muy necesario añadir la opinión general sobre esto, siendo;

Tabla 1-1: Encuesta Velocidades

	Característica	METODO TRADICIONAL	METODO PROYECTADO
Persona 1	VELOCIDAD	3	5
	Obs	Dependiendo del grupo pueden avanzar a un ritmo aceptable, con un grupo malo toma un año	Los que saben cómo hacer te hacen mucho más rápido
Persona 2	VELOCIDAD	2	5
	Obs	El encofrado y la parte del vibrador son muy demoradas	Mucho más rápido para poder cumplir los cronogramas
Persona 3	VELOCIDAD	1	5
	Obs	Entre que encofran y funden les toma todo el día	Mucho más rápido de armar

Persona 4	VELOCIDAD	3	4
	Obs	Encofrar y preparar todo toma mucho	Un poco más rápido
Persona 5	VELOCIDAD	4	5
	Obs	Es rápido de hacer encofran y el mismo día funden	Le terminan más rápido, la proyectada es más rápida
Persona 6	VELOCIDAD	4	5
	Obs	Rápido	Mas rápido
Persona 7	VELOCIDAD	3	4
	Obs	Un grupo hábil hace rápido	Despachan los mixers mucho más rápido
PROMEDIO		2,8	4,7

*Fuente: Elaboración propia*

Pasando hacia el punto de vista obtenido sobre la velocidad, viendo la complejidad del proyectado en comparación con el colado de hormigón tradicional, en los que directamente se puede ver como la percepción general es que el método proyectado será un poco más complejo, ya que es algo nuevo y con una maquina y procedimiento que puede llegar a ser desconocido para alguno, los resultados obtenidos son;

Tabla 2-2: Encuesta Facilidad

	Característica	METODO TRADICIONAL	METODO PROYECTADO
Persona 1	FACILIDAD	5	2
	Obs	Es la manera que todos conocen de toda la vía, ya hacen con ojos cerrados	Si necesitan al menos uno que ya tenga su buena experiencia
Persona 2	FACILIDAD	5	4
	Obs	La mayoría de los obreros saben hacer hasta con los ojos cerrados	Una buena cuadrilla le hace más fácil que un muro encofrado
Persona 3	FACILIDAD	5	5
	Obs	Es el método clásico	Con que el principal sepa proyectar es suficiente
Persona 4	FACILIDAD	3	3

	Obs	La armada de los cofres es muy difícil	Que hagan bien con la manguera es muy difícil
Persona 5	FACILIDAD	1	1
	Obs	Es complicado dejarles rectos a los encofrados	La usada de la bomba es muy dura
Persona 6	FACILIDAD	3	2
	Obs	Difícil de cuadrar	Difícil de usar
Persona 7	FACILIDAD	5	5
	Obs	Armar rápido y funden	Con el proyectado acaban rápido
PROMEDIO		3,8	3,1

Fuente: Elaboración propia

Una característica muy importante a considerar es el acabado, ya que de nada sirve si uno es más rápido o barato que el otro si el resultado final es malo, aquí podemos ver una predisposición hacia el método proyectado, los resultados obtenidos son;

Tabla 3-3: Encuesta Acabado

	Característica	METODO TRADICIONAL	METODO PROYECTADO
--	----------------	--------------------	-------------------

Persona 1	ACABADO	2	4
	Obs	Siempre hay que resanar después de que desencofren	A menos que el hormigón este malo casi siempre le dejan liso
Persona 2	ACABADO	3	5
	Obs	Puede haber fallas cuando usan el vibrador	Con lo que pasan el codal ya queda completamente liso
Persona 3	ACABADO	1	4
	Obs	Cuando quitan los cofres les queda pésimo	Tienen que pasar el codal y queda al detalle
Persona 4	ACABADO	5	5
	Obs	Siempre queda bien cuando quitan los tableros	Queda bien el rato que acaban
Persona 5	ACABADO	5	5

	Obs	Queda perfecto a la primera	Queda perfecto
Persona 6	ACABADO	5	5
	Obs	Se quita el tablero y ya esta	Ya está bien el rato que se acaba
Persona 7	ACABADO	3	5
	Obs	Algunos grupos dejan mal cuando desencofran	Queda bien
PROMEDIO		3,4	4,7

Fuente: Elaboración propia

Ahora, una característica de lo más importante, que inclusive será analizada cuantitativamente en el análisis final será el precio, para una obra siempre se buscara encontrar un equilibrio entre precio y velocidad, pero el precio es una característica clave, que influirá en todos los segmentos de la construcción, los resultados obtenidos son;

Tabla 4-4: Encuesta Precio

	Característica	METODO TRADICIONAL	METODO PROYECTADO
Persona 1	PRECIO	4	3
	Obs	Encofrado y hormigón normal, lo más barato	El hormigón es más caro, pero nos ahorramos en los tableros

Persona 2	PRECIO	4	4
	Obs	Materiales más básicos	Mismos materiales solo que con la boquilla
Persona 3	PRECIO	3	3
	Obs	Se les paga mucho con lo fácil que es para ellos	Con la velocidad a la que terminan está bien el precio
Persona 4	PRECIO	3	3
	Obs	Es muy bajo para lo difícil que es de hacer	Es muy bajo para lo difícil que es de hacer
Persona 5	PRECIO	-	-
	Obs		
Persona 6	PRECIO	-	-
	Obs		
Persona 7	PRECIO	5	4
	Obs	Es lo básico, es barato	El hormigón un poco más caro
PROMEDIO		3,8	3,4

Fuente: Elaboración propia

También se busca analizar la experiencia necesaria para poder realizar cada uno de los métodos, esto es esencial, ya que si un método necesita un conocimiento especializado y no hay alguien que tenga esta, el resultado podría llegar a ser inadecuado, los resultados obtenidos son;

Tabla 5-5: Encuesta Experiencia

	Característica	METODO TRADICIONAL	METODO PROYECTADO
Persona 1	EXPERIENCIA	5	2
	Obs	Todo obrero puede hacer	Imposible darles si es la primera vez que van a hacer
Persona 2	EXPERIENCIA	5	2
	Obs	Cualquier cuadrilla	Solo un grupo que sé que vaya a hacer bien, tenemos solo dos
Persona 3	EXPERIENCIA	5	5
	Obs	Todos pueden encofrar y botar el mixer	Con que sepan usar el compresor de

			aire es suficiente
Persona 4	EXPERIENCIA	3	1
	Obs	Necesitan ser hábiles para asegurar todo	Solo los que más experiencia tienen puede usar la bomba
Persona 5	EXPERIENCIA	2	1
	Obs	Necesitan ya saber bien como armar	Solo el que ya sabe proyectar puede hacer
Persona 6	EXPERIENCIA	1	1
	Obs	No cualquiera sabe hacer rápido	Solo los que tienen experiencia pueden hacer
Persona 7	EXPERIENCIA	5	3
	Obs	Cualquier grupo hace	Si necesitan al menos uno con experiencia
PROMEDIO		3,4	2,1

Fuente: Elaboración propia

Por último, una característica a analizar será la inversión necesaria para la realización de cada uno de los métodos, aquí podremos ver que la opinión general es que el método proyectado necesitara una mayor inversión, con los resultados siendo los siguientes;

Tabla 6-6: Encuesta Inversión.

	Característica	METODO TRADICIONAL	METODO PROYECTADO
Persona 1	INVERSION	5	4
	Obs	No necesitan nada más que los materiales que les damos	Solo necesitan el compresor
Persona 2	INVERSION	5	1
	Obs	No necesitan más que lo básico	El compresor de aire es caro
Persona 3	INVERSION	3	3
	Obs	Nada más que herramientas menores	Solo el compresor de aire
Persona 4	INVERSION	3	3
	Obs	Necesitan comprar todas las herramientas para preparar	El compresor es caro y el que sabe proyectar cobra mas

Persona 5	INVERSION	-	-
	Obs		
Persona 6	INVERSION	-	-
	Obs		
Persona 7	INVERSION	5	2
	Obs	Casi nula	Tienen que comprar el compresor
PROMEDIO		3,6	2,6

*Fuente: Elaboración propia*

Un factor a tener en cuenta es que existe bastante variación en las opiniones, esto ya que la opinión de quien va a hacer una revisión técnica será diferente a la opinión de quien realizo la obra, que también variará de quien este encargado de pagar que de la persona encargada de la parte técnica. Pero las observaciones muestran una realidad mayor, en complicaciones, precios, entre otros.

En ciertos rubros como velocidad, facilidad, y precio que son esenciales para el análisis se puede ver que la opinión del método proyectado es mejor que del método tradicional, más que nada en velocidad que será una métrica esencial, también en el acabado que en general la opinión del método proyectado será mucho mejor que del método tradicional, esto se conecta también a la facilidad de realizar este método.

## **2.2 Datos técnicos.**

En esta parte se presentará y analizara las características técnicas de cada tipo de agregado para entender mejor su trabajabilidad en los distintos casos de colado, más adelante se presentarán los estudios de laboratorio, realizados previamente por la empresa

responsable del suministro de la mezcla de hormigón; hormiazuay. Tanto de la mezcla preparada para un colado a gravedad como de la mezcla preparada para una proyección mediante un compresor de aire, también se analizará el asentamiento en el agregado preparado para hormigón proyectado (shotcrete), esto mediante un estudio de cono de Abrams. Esta prueba no se realizará en el agregado preparado para colado a gravedad ya que la variación en los asentamientos es grande, ya que se dependía de los espesores de pared como de las cuantías de los armados de hierro. Por otro lado, en el agregado de hormigón proyectado, tanto los muros estructurales de fachadas como los muros estructurales de cisternas, los espesores de pared eran los mismos.

### **2.2.1 Cono de Abrams.**

Al realizar esta prueba en la muestra del agregado para proyección, para un muro estructural, podemos notar como para este tipo de trabajo es necesario un asentamiento mucho más bajo de lo normal, esto necesario para que la muestra se compacte directamente hacia el muro y su armado metálico, a diferencia de un colado con el método tradicional, pudiendo ser mediante bombeo o a gravedad, en el que se necesita mayores asentamientos para que el hormigón pueda escurrirse a través del armado metálico y los encofrados, llegando a asentamientos comunes de entre 14 y 16 cm que es lo comúnmente usado en la gran mayoría de casos.

Volviendo al tema del hormigón proyectado, es necesario este asentamiento tan bajo para lograr conseguir una compactación casi que instantánea en la superficie de trabajo, ya que esta determinara el resultado final y el evitar espacios vacíos en el muro, es por esto la necesidad de un compresor de aire de alta capacidad, esto para que el agregado con bajo asentamiento pueda ser lanzado hacia la superficie de trabajo.

Para el caso de estudio en específico se realizó la medida en tres muros distintos, a tres mixers distintos, siguiendo el procedimiento del cono de Abrams.

*Figura 11-2: Prueba in-situ de asentamiento.*



*Fuente: Elaboración propia*

Teniendo el molde metálico con sus dimensiones específicas y colocando tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla cada una, para luego retirar el molde y ver la forma de derrumbamiento del cono de hormigón.

La ventaja de tener el análisis del día a día de la obra fue el poder obtener varias muestras del cono de Abrams, en la que la gran mayoría cumplía con lo necesario para su proyección. En un caso existió un problema con un asentamiento muy alto, causando que no se logre un buen acabado, pero esperar un tiempo razonable para que baje el asentamiento de este, crea un agregado útil para la realización de este método, solucionando así cualquier problema que pueda existir.

Figura 12-3: Asentamiento de Hormigón por método proyectado (shotcrete).



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la figura 12, el asentamiento en las muestras de hormigón para proyección llega solamente a 2cm, siendo extremadamente bajo para lo usado comúnmente en la construcción, un técnico en obra está acostumbrado a un uso de asentamientos de entre 14 y 16 cm como fue mencionado previamente, pero en el caso del Hormigón proyectado, este asentamiento tan bajo es esencial para conseguir el correcto pegado contra la pared, y de esta manera su correcto funcionamiento estructural, mejora de rendimientos y acabado más uniforme.

De otra manera no fuera posible realizar el método de proyectado, el hormigón seguiría cayendo de la zona de trabajo, y aquí existiendo dos posibilidades. Con un hormigón con un asentamiento demasiado alto (14-16) causaría que ni siquiera el hormigón se agarre al encofrado y varillas, perdiendo todo el material. Por otro lado, con un asentamiento aún bajo, pero no optimo (8-10) el hormigón pudiera ser trabajable, pero se necesitaría un grupo de dos obreros más atrás del proyectado, recogiendo todo el material que se vaya

despegando y recolocándolo en la pared, en esta parte también arreglando el acabado del muro con codales. Pero con el asentamiento óptimo el mismo grupo de dos personas que esta con la máquina de proyectado puede realizar el terminado, al momento de terminar o en la espera entre un mixer y otro, que casi siempre se tiene esta espera, y el material despegado que tiene que ser vuelto a colocar y luego pasado un codal para su terminado, será mucho menor, aunque siempre se produce un mínimo de caída del material.

### 2.3 Rendimiento método de colado tradicional.

Para la toma de rendimientos se tomó como muestra un muro de 5 metros de longitud, por 2 metros de altura y un espesor de 20cm, teniendo un armado de acero con varillas de 12 y 16 mm en ambos casos, en este caso teniendo un volumen de 2m<sup>3</sup> que es un factor útil para el cálculo del hormigón. Se tomará en cuenta que existen varios materiales que se necesitan para la realización de estos muros. Teniendo en cuenta solo materiales, en ambos métodos, tanto proyectado como el método tradicional usaran la misma cantidad de varillas de acero, ya que el diseño estructural no varía entre el un método y el otro. Y también la cantidad de hormigón, ya que ambos métodos pueden usar el mismo espesor sin comprometer las características de cada uno.

Tabla 7-7: Materiales comunes

RUBRO	DESCRIPCION	METODO		OBSERVACIONES
		TRADICIONAL	PROPUESTO	
		UNIDAD	CANTIDAD	
1	Varillas de acero	kg	173,28	Φ12 y Φ16
2	Hormigón	m <sup>3</sup>	2	280kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 7, en ambos casos se usará la misma cantidad de varillas de acero, siendo medidas estas en kg y por lo tanto no se tomará en cuenta el rendimiento del armado, ya que el elegir un método u otro no influirá en el tiempo final ya que ambos tendrán el mismo armado, con el mismo diámetro de varillas, pero cabe recalcar que el tiempo necesario para el armado de este, con los rendimientos medidos en la obra mall del alto será de 2,20 horas, ya que se ven presentes rendimientos de hasta 81kg/hora con una cuadrilla de 1+3, es decir, un oficial y 3 ayudantes. Por otro lado, en el hormigón, aunque en ambos métodos se use la misma cantidad de hormigón, el tiempo de aplicación en cada uno de ellos será diferente, con el método enfocado en este subcapítulo siendo el tradicional, con encofrados por ambos lados, y tomando los datos medidos de la misma manera en la obra mall del alto, se llega hasta a 10m<sup>3</sup> por hora, aquí tomando en cuenta un suministro constante de hormigón, es decir, sin tiempos muertos de espera entre la llegada de un mixer y otro, el rendimiento pudiera aumentar, ya que esto es solo colado del hormigón, pero no existe la posibilidad de hacerlo más rápido ya que aquí influye mucho la velocidad a la que se puede realizar el vibrado del hormigón y el limitante de la presión que el hormigón ejerce sobre las paredes del encofrado. Por lo tanto, tomaría alrededor de 20 min el colado del hormigón, pero a esto hay que agregarle el tiempo del armado de la bomba y las tuberías y la preparación del vibrador para colocar en la parte superior del muro, así que para el colado de 2m<sup>3</sup> tomaría 1 hora esto con una cuadrilla de 4 obreros, ya que será necesario dos para la fundición, para manejar la manguera y dos más para el vibrador, uno para operarlo y otro para mover el motor de un lado a otro. Recordando que el muro tiene 10 metros de longitud, 2 metros de alto y un espesor de 20cm.

Otro rubro a tomar en cuenta será el encofrado, ya que en este existirá una variación dado que para este método en particular será necesario el colocar encofrados por ambos lados

del muro, para poder contener el vertido del hormigón y el vibrado de este. Para este análisis se va a tomar en cuenta el uso de encofrados metálicos, que en el caso de la obra mall del alto son alquilados, y también se decidió ir por encofrados metálicos ya que estos presentan una velocidad de encofrado mucho más rápida que en encofrados de madera, además de la facilidad de uso de estos, ya que no existe la necesidad de estar realizando recortes o ajustes.

Tabla 8-8: Materiales con diferencia

RUBRO	DESCRIPCION	METODO TRADICIONAL		METODO PROPUESTO		
		UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	Encofrado metálico	u	28	u	14	0,6x1,20m
2	Puntales	u	20	u	10	1u/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

En esta parte es donde más diferencia se encontrará, principalmente en los encofrados, como se mencionó previamente y como se puede ver en la tabla 8. Para encofrar el muro muestra de 5 metros de longitud, por 2 metros de alto y 20 centímetros de espesor serán necesarios 28 tableros metálicos de con una dimensión de 0,60m x 1,20m, esto por la necesidad de colocar tableros en ambas caras del muro a realizar, influyendo a un mayor tiempo de armado, dentro de esto, para lograr que los encofrados queden asegurados de una manera correcta.

Por último, como podemos ver en la tabla 8-1, es necesario también el uso de puntales para la correcta contención del muro, sea apoyándose en un talud o en el suelo, esto para asegurar la integridad del encofrado al momento que se vierta el hormigón y evitar cualquier fallo en los encofrados, teniendo como resultado un mal acabado, y peor aún

una falla en la resistencia estructural del muro, dando como resultado el tener que iniciar todo de nuevo para poder obtener un resultado óptimo, por esto es que se usa un puntal por  $m^2$ , para lograr la contención correcta del muro. Esto daría como resultado el uso de puntales por cara encofrada, es decir, 20 puntales usados en total.

En todo lo previamente mencionado pudimos ver las cantidades necesarias para la elaboración del muro, pero en lo que nos vamos a centrar es el tiempo que tomara para la realización de este, y analizando el uso de todos los materiales, como, el encofrado, el alambre de amarre y los puntales. Y teniendo en cuenta una cuadrilla de 4 albañiles que han llegado a colocar una cantidad de hasta 36 tableros en un día, dando como resultado  $24,96m^2$ , es decir un rendimiento de  $24,96m^2/día$ . Esto teniendo en cuenta la colocación del encofrado y su asegurada con puntales y alambre. Así que se necesitaría un tiempo de 6,4 horas para realizar el encofrado del muro de muestra que estamos tomando como medida de análisis. A esto agregarle el tiempo necesario para la fundición, que es de 1 hora para el colado de este. El tiempo es tan alto en la fundición, ya que el hormigón tiene que ser vibrado de una manera correcta para lograr el acabado correcto al momento de desencofrar.

Teniendo como resultado un tiempo de 7,40 horas, es decir 7 horas 25 minutos para realizar el encofrado y colado del hormigón, sería prácticamente un día de jornada de una cuadrilla de 4 personas para realizar este muro, este rendimiento para muros de casas o edificaciones pequeñas es aceptable, pero al pasar a edificios u obras que necesitan un avance diario alto, para cumplir las metas en un plazo pequeño, el tiempo será demasiado alto.

## **2.4 Rendimiento método de proyección neumática (Shotcrete).**

Para el análisis del método propuesto, se tomara en cuenta el mismo muro de muestra, estando ubicado en el mall del alto, teniendo una longitud de 5 metros, una altura de 2 metros y un espesor de 20cm, teniendo un area de construcción de 10 metros cuadrados y un volumen de  $2\text{m}^3$ , ambos necesarios para tener en cuenta la cantidad de materiales a ser utilizados y por lo tanto el tiempo de cada uno y así sus rendimientos, tomando en cuenta los materiales mostrados en la tabla 7-1, que son los materiales, que se usaran en la misma cantidad para ambos métodos, que sería la cantidad de varillas y la cantidad de hormigón, refiriéndose a las varillas, es una medida calculada en kg, y usando varillas de 12 y 16 mm, en las que el armado no se ve afectado por el método a ser utilizado, en ambos casos se usara el mismo armado, con separaciones entre varilla de 15 cm, teniendo las varillas de  $\Phi 16$  en el sentido vertical y las varillas  $\Phi 12$  en sentido horizontal, pero cabe recalcar, como ya se realizó el análisis, el armado tomara un tiempo de 2,2 horas con una cuadrilla de 1+3, es decir 1 oficial y 3 ayudantes. Esto para dar una explicación básica del tipo de muro que se está analizando, pero no es un factor influyente en este estudio, ya que, como fue previamente mencionado, el método a elegir no influirá en nada en el armado de aceros de este.

Por otro lado, el hormigón, que aun que en ambos métodos se use el mismo volumen, siendo este de  $2\text{m}^3$ , el hormigón es diferente y por lo tanto se coloca de una manera diferente y esto da como resultado un rendimiento diferente, sin tomar en cuenta los costos, que será una variable que se analizara en el siguiente capítulo. Enfocándose en el hormigón a ser analizado, el hormigón proyectado, que en el caso de este ejemplo y de todos los muros realizados en el mall del alto, será de  $280\text{kg}/\text{cm}^2$  y con un asentamiento de 2cm como podemos ver en la figura 12. Al enfocarse netamente en tiempos, en muros de hormigón proyectado, en los muros realizados en el mall del alto, enfocándose en una

jornada solo de proyectado, se ha llegado a realizar hasta  $18\text{m}^3$  por hora, casi llegando a duplicar el rendimiento que se veía en los muro de hormigón armado con colado tradicional, así que en el muro de prueba, que en este caso había sido usado como muro de una cisterna de tormentas para la recolección de aguas lluvias para su futuro uso para riego, el tiempo necesario para proyectar una pared de 5m de longitud por 2 m de alto y un espesor de 20cm es de tan poco como son 10 minutos para proyectar los  $2\text{m}^3$  de hormigón necesarios para la realización de este muro pero a esto hay que agregarle el tiempo de armado de la bomba, solo la bomba ya que el procedimiento para el compresor de aire es instantáneo, pero con un muro listo y terminado se puede realizar en 30 min, ya desde este momento podemos ver una reducción en el tiempo en comparación con el método tradicional.

Ahora, al enfocarse en el resto de materiales necesarios para la elaboración del muro, como los mostrados en la tabla 8-1, en la que podemos ver que se usaran los mismos materiales que en el método tradicional, pero la diferencia se encuentra en la cantidad de estos. Los materiales necesarios, son; encofrados y puntales. Por ejemplo, para el encofrado, ya que tienen una dimensión de  $0,6 \times 1,2\text{m}$ , es decir  $0.72\text{m}^2$  por tablero, necesitaremos 14 tableros, siendo la mitad de los necesario para el método tradicional ya que se encofrara solo una de las caras del muro y por ultimo los puntales, que en este caso se usaron 10 puntales, ya que se busca siempre el colocar 1 puntal por metro cuadrado, esto para evitar errores en el encofrado y conseguir un óptimo acabado del muro, caso contrario pueden llegar a existir lo que se conoce como soplados que causaría que el muro no solo no tenga el acabado correcto sino su resistencia correcta, rápidamente podemos ver como el uso de materiales ha disminuido a la mitad, y por lo tanto el tiempo de realización, así que en este método nos encontraremos con un rendimiento mucho más alto, y recordando lo mencionado en el anterior subcapítulo, el rendimiento para la

colocación de encofrados es de 24,96m<sup>2</sup> por día, teniendo en cuenta el asegurar estos tanto con alambre como con los puntales, así que, el tiempo necesario para el encofrado de este muro será de 3 horas, es decir 3, como se puede ver tiene un rendimiento aun mayor, ya que en este método no es necesario la colocación de separadores entre tableros, así que, a comparación de las 6 horas y media que tomaría encofrar el muro mediante el método tradicional, este método promete rendimientos mucho más altos.

Obtenidos estos datos podemos concluir que para la realización de un muro mediante este método tomaría exactamente 3 horas con 42 minutos, en esto, en la parte de encofrado y asegurado será necesario la participación de 4 albañiles, pero para el momento de la proyección del hormigón son necesarias solo dos personas, esto al eliminar la necesidad de un vibrador, se necesitara solo un ayudante para el control de la manguera y un oficial, con experiencia en proyectado para el apuntado y colocado de mezcla, si se quiere como adicional realizar más rápido el proceso se puede agregar dos personas más al momento del proyectado para que pasen con un codal para dejar un terminado uniforme a lo largo de todo el muro, también limpiando cualquier excedente que puede quedar de la proyección, así que en cantidad de gente como en tiempo, será más rápido, esto comparado con las 8 que tomaba el método tradicional.

### **3. Comparativa de costos del método tradicional y el método de proyección neumática.**

En una obra el precio es una característica esencial para cualquier decisión, aquí se tiene que tener en cuenta materiales, mano de obra, ganancia, indirectos, entre otros. En el caso del Mall del alto que es el lugar de estudio, el material es suministrado por la empresa y la realización de la obra es mediante contratistas.

Cada uno de los rubros de la obra tiene contratistas especializados en cada uno de sus frentes, existen varios grupos enfocados netamente a acabados; porcelanato, cielos rasos, vidrio, entre otros. También grupos enfocados a la parte más técnica, como sea la civil, eléctrica, hidrosanitaria.

Para este caso es un contratista enfocado en obra civil, dependiendo de la etapa de la obra, se trabajaba mediante uno o más contratistas, llegando a tener un máximo de 4 contratistas con cada uno de ellos un promedio de 4 cuadrillas, con el método de pago hacia estos siendo mediante planillas previamente revisadas por fiscalización, en estas como se mencionó previamente, el rubro tenía en cuenta solo el precio de mano de obra y ganancia ya que el material era entregado por la empresa, así que los precios unitarios utilizados para pago de proveedores no podrán ser usados para este análisis ya que no se estará tomando en cuenta el precio de materiales, esto para poder obtener un precio por metro cuadrado por rubro, tomando en cuenta materiales como varillas, encofrados, puntales y hormigón. Y a esto agregarle el precio de mano de obra y después sus indirectos y ganancia para poder obtener un precio unitario de cada uno de los métodos que se van a analizar.

Todos los precios, tanto de mano de obra como de materiales serán utilizados los que se trabajan en la obra Mall del alto ya que este es el lugar de estudio enfocado para esta

investigación, esto podrá variar para diferentes obras, más que nada dependiendo de su tamaño, pero dará una idea real de cómo se trabajó en dicho proyecto tan grande y el por qué se decidió un método por encima del otro.

### 3.1 Análisis de precios para el método de colado tradicional.

Para este análisis ya se sabe la cantidad de materiales utilizados, ya que se obtuvo previamente para el análisis de rendimientos, estos materiales son;

- Encofrados
- Hormigón
- Varillas de acero

Para analizar cada uno de estos materiales primero que nada es necesario entender la cantidad necesario de cada uno de estos por metro cuadrado de construcción

*Tabla 9-1: Materiales utilizados método Tradicional*

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1	Encofrado metálico	u	28
2	Varillas de acero	kg	173,28
3	Puntales	u	20
4	Hormigón 280kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	2

*Fuente: Elaboración propia*

Visto esto, y sabiendo el costo de materiales podemos pasar al costo de mano de obra, en el que se necesitara analizar el salario por día de las diferentes cuadrillas, esto por suerte serán precios establecidos por la tabla de salario mínimos sectoriales de la construcción. Para a continuación realizar el análisis de precios unitarios en los que se llegó a la siguiente conclusión;

Tabla 10-2: Análisis de precios unitarios Método tradicional.

<b>METODO TRADICIONAL</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>1. MATERIALES</b>				
Hormigón Premezclado + Bomba (280 kg/cm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	1	\$ 126,96	\$ 126,96
Acero de Refuerzo (Varilla corrugada)	kg	86,64	\$ 1,25	\$ 108,30
Alambre de amarre #18	kg	1,7328	\$ 2,60	\$ 4,51
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 239,77</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
Oficial Albañil / Fierro	hr	4,8	\$ 4,38	\$ 21,02
Peón / Ayudante 1	hr	4,8	\$ 4,21	\$ 20,21
Peón / Ayudante 2	hr	4,8	\$ 4,21	\$ 20,21
Peón / Ayudante 3	hr	4,8	\$ 4,21	\$ 20,21
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 41,23</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
Alquiler Vibrador de Hormigón	hr	2	\$ 3,75	\$ 7,50
Alquiler de Encofrado Metálico	m <sup>2</sup>	10	\$ 5,27	\$ 52,70
Herramientas Menores (5% de M.O.)	%	0,05	\$ 41,23	\$ 2,06
<b>SUBTOTAL EQUIPO</b>				<b>\$ 62,26</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (1 m<sup>3</sup>)</b>				<b>\$ 343,26</b>
Costos Indirectos y Utilidad (25%)	%	0,25	\$ 343,26	\$ 85,82
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL (m<sup>3</sup>)</b>				<b>\$ 429,08</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL (m<sup>2</sup>) (muros espesor= 0,20m)</b>				<b>\$ 85,82</b>

Fuente: Elaboración propia

Después del análisis de la tabla 10 podemos concluir que los materiales (\$239.77) representan un 69.8% del costo directo total, con el hormigón siendo el rubro más costoso del conjunto con \$126.96 ya que incluye el servicio de bomba para aumentar la velocidad de colado, seguido del acero de refuerzo con \$108.30, siendo 86.64kg que es una cuantía normal para estos tipos de muros ya que son estructurales.

Pasando a la mano de obra (\$41.23) que representara un 12 % del costo directo, ya que el rubro constara de la cuadrilla, en la que pudiera existir variación dependiendo del rendimiento de estos.

Por último, en los costos directos es el equipo y herramientas (\$62.26) representando un 18.1% del total. Aquí vemos desde el encofrado metálico, siendo el rubro más caro de la subcategoría con \$52.70 ya que se usarán metálicos para aumentar rendimientos y mejorar el acabado, esto compensa el mayor costo en alquileres y por ultimo las herramientas menores siendo un 5% de la mano de obra, que es un valor estándar usado para el cálculo de precios unitarios.

En el análisis completo vemos una estructura en la que el costo directo representa un 80% del costo total y los costos directos y utilidades representan un 20%, dando un total de \$429.08 por metro cubico de muro de hormigón estructural terminado, esto para tener una mejor idea, convirtiéndolo a metro cuadrado. El muro que se realiza es de 20cm de espesor, así que:

$$1m^3 \times 0,20m = 0.20m^2.$$

$$\$429.08 \times 0.2 = \$85.82$$

Teniendo un costo final de \$85.82 por metro cuadrado, en la que el costo este marcado por el hormigón y las varillas de acero, pero este rubro se vuelve más industrializado para mejorar rendimientos en comparación a un hormigón a gravead y encofrados de madera.

### **3.2 Análisis de precios para el método de proyección neumática (shotcrete).**

Para el segundo método se usaron los mismos materiales, pero en una menor cantidad, hormigón, encofrado, varillas y puntales, y de la misma manera se analizará con la cuadrilla de cuatro personas que realizo el trabajo, siendo formada igual por un oficial y tres ayudantes, así que en el análisis de precios unitarios lo que tendrá efecto es más que nada los materiales, y en esta parte también se verá una diferencia en los precios del hormigón, ya que el utilizado para la proyección tiene un costo diferente que el hormigón

corriente utilizado para fundiciones tradicionales, esto ya que se debe mantener asentamientos muy bajos, y también evitando que la mezcla llegue a fraguar.

*Tabla 11-3: Materiales utilizados Hormigón proyectado( Shotcrete)*

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1	Encofrado metálico	u	14
2	Varillas de acero	kg	173,28
3	Puntales	u	10
4	Hormigón 280kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	2

*Fuente: Elaboración propia*

Se puede ver claramente como existe una disminución en el costo de materiales con la reducción de estos, en rubros como encofrado y puntales disminuirán estos a la mitad, esto afecta directamente como vimos previamente tanto en el tiempo como vemos ahora en el costo. Aunque el precio del hormigón proyectado aumente un poco, el ahorro en materiales como encofrado y puntales brinda una mejora significativa en comparación con el método tradicional.

A esto, al agregarle el precio de mano de obra, con este muro siendo realizado de la misma manera que el método anterior, con un oficial y tres ayudantes, y teniendo la cantidad de materiales podemos llegar al análisis de precios unitarios para poder conseguir su valor por unidad de obra:

Tabla 12-4: Análisis de precios unitarios Método de proyección neumática (shotcrete).

<b>METODO DE PROYECCION NEUMATICA</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>1. MATERIALES</b>				
Hormigón Premezclado para proyección + Bomba (280 kg/cm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	1	\$ 130,19	\$ 130,19
Acero de Refuerzo (Varilla corrugada)	kg	86,64	\$ 1,25	\$ 108,30
Alambre de amarre #18	kg	1,7328	\$ 2,60	\$ 4,51
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 242,99</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
Oficial Albañil / Fierrero	hr	2,95	\$ 4,38	\$ 12,92
Peón / Ayudante 1	hr	2,95	\$ 4,21	\$ 12,42
Peón / Ayudante 2	hr	2,95	\$ 4,21	\$ 12,42
Peón / Ayudante 3	hr	2,95	\$ 4,21	\$ 12,42
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 25,34</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
Alquiler Compresor de aire	hr	2	\$ 15,00	\$ 30,00
Alquiler de Encofrado Metálico	m <sup>2</sup>	5	\$ 5,27	\$ 26,35
Herramientas Menores (5% de M.O.)	%	0,05	\$ 25,34	\$ 1,27
<b>SUBTOTAL EQUIPO</b>				<b>\$ 57,62</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (1 m<sup>3</sup>)</b>				<b>\$ 325,95</b>
Costos Indirectos y Utilidad (25%)	%	0,25	\$ 325,95	\$ 81,49
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL (m<sup>3</sup>)</b>				<b>\$ 407,44</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL (m<sup>2</sup>) (muros espesor= 0,20m)</b>				<b>\$ 81,49</b>

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera que para el método anterior, el análisis de precios unitarios de este método muestra que en materiales (\$242.99) en el que a diferencia del otro método vemos un aumento en el precio por metro cubico de hormigón, ya que es necesario aditivos acelerantes y una estructura diferente para que el agregado pueda pegarse al area de trabajo. El acero se mantiene igual.

Para mano de obra (\$25.34) vemos un rendimiento mucho mas veloz que en métodos diferentes, creando una reducción de 38% ya que la proyección permite mayor rapidez y por lo tanto menor hora-hombre.

Para equipo y herramientas (\$57.62) ya que es necesario el alquiler del compresor, que el precio de alquiler de uno de los subcontratistas del mall del alto indica que es de \$30 por hora, pero esta máquina es esencial para el rubro, pero se compensara con una disminución del 50% en el alquiler de encofrado metálico.

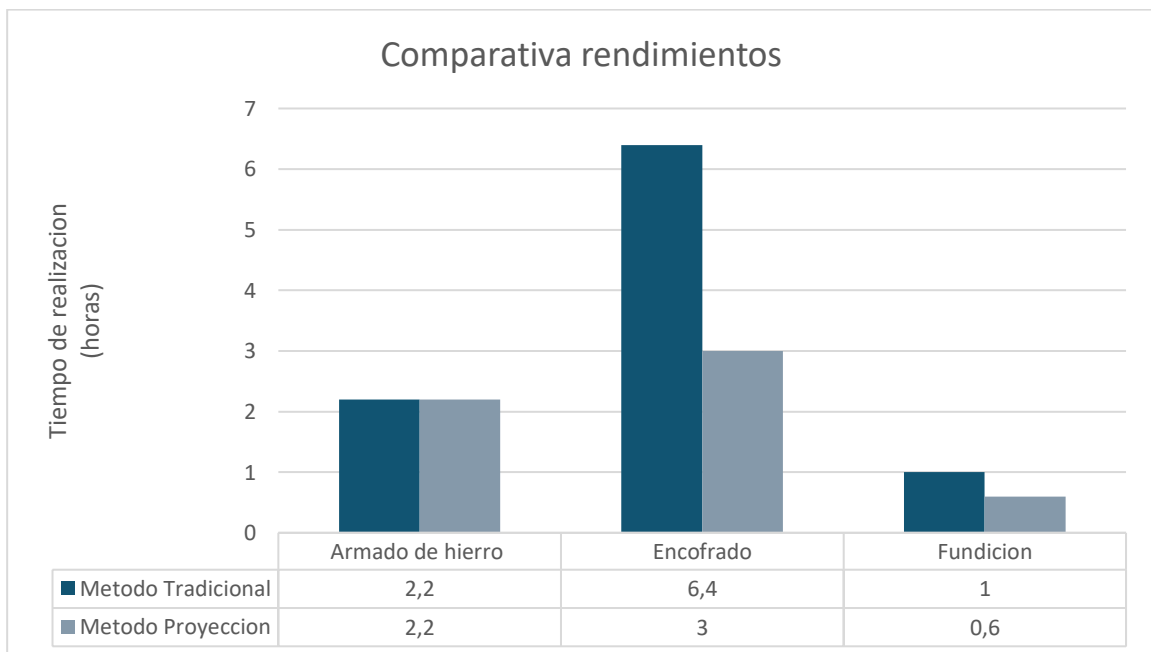
De la misma manera que para el anterior método, el análisis de precios unitarios nos da un resultado de \$407.44 por metro cubico de muro de hormigón armado terminado, teniendo en cuenta que son muros de 20cm de espesor para la conversión a metros cuadrados, tenemos como resultado un precio unitario de \$81.49 por metro cuadrado de muro de hormigón armado terminado.

## 4. Resultados Generales.

Esta investigación comparativa presentada a lo largo de estos 3 capítulos muestra una nueva propuesta metodológica para la realización de muros estructurales siendo analizada en un contexto real como es el proyecto del Mall del Alto, realizado por GO Corp. en la ciudad de Cuenca, gracias a esto es posible establecer datos claros para el análisis de estos, determinando así la eficiencia de un método sobre otro y así su viabilidad técnica. Después de un análisis cuantitativo y cualitativo de toda la información sobre estos métodos podemos concluir que;

- **Existe una optimización en rendimientos**, ya que se ha determinado que el método de proyección neumática (shotcrete) da una mejora significativa al hablar de velocidad.

Figura 13-1: Comparativa de rendimientos ambos métodos.



Fuente: Elaboración propia.

Directamente en la velocidad el hormigón, mediante el método de proyección, llegando hasta 18 m<sup>3</sup> de hormigón colocado, mientras que mediante el método tradicional se llega a 10m<sup>3</sup>. Por lo tanto, se llega a duplicar el rendimiento en este rubro en específico, y también en los encofrados, que se puede ver que el método tradicional llega a tomar hasta 6 horas y media mientras que al aplicar el método propuesto de proyección podemos acortar este tiempo a solo 3 horas, es decir, una reducción de más del 50% en el mismo muro, conteniendo la misma cantidad de hormigón y de acero. Esta reducción en el tiempo es un factor crítico para mejorar tiempos en cronograma o fechas específicas de cumplimiento, aun mas en obras de gran tamaño donde las fechas son más estrictamente controladas.

- **Reducción de materiales**, uno de los resultados mas significativos en el análisis es la reducción en la cantidad de ciertos materiales, logrando disminuir hasta en una 50% el uso de encofrados, disminuyendo la logística necesaria para la realización del rubro y apoyando el rendimiento, al tener que usar la mitad del encofrado, se puede usar la mitad sobrante en avanzar otros rubros. Dando como resultado una disminución sustancial en costos de alquiler o en la depreciación del equipo, y de esta manera también disminuye la cantidad de materiales como alambre de amarre o puntales. Simplificando la realización de este y mejorando rendimientos y flujos de trabajo.
- **Un mejor costo**, podemos ver que el hormigón necesario para proyección, al necesitar características más específicas como una dosificación especial y asentamiento bajo, tenga un mayor costo en comparación al hormigón convencional. Se compensa con la disminución y por lo tanto ahorro en otros rubros como mano de obra y los materiales previamente mencionados, demostrando que un ahorro en horas-hombre, ya que el tiempo necesario será

mucho menor, logra que el método propuesto es más rentable económicamente al tener en cuenta proyectos a gran escala.

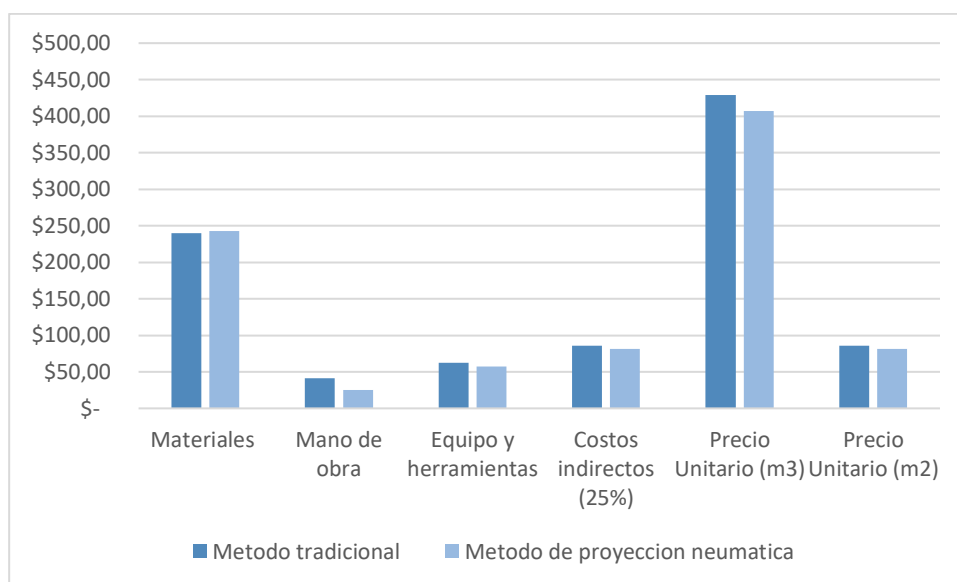
Tabla 13-1: Comparativa de precios.

Análisis	Método tradicional	Método de proyección neumática	Diferencia (\$)	Diferencia (%)
Materiales	\$ 239,77	\$ 242,99	\$ 3,22	1,34%
Mano de obra	\$ 41,23	\$ 25,34	\$ -15,89	-38,54%
Equipo y herramientas	\$ 62,26	\$ 57,62	\$ -4,64	-7,45%
Costos indirectos (25%)	\$ 85,82	\$ 81,49	\$ -4,33	-5,04%
Precio Unitario (m <sup>3</sup> )	\$ 429,08	\$ 407,44	\$ -21,64	-5,04%
Precio Unitario (m <sup>2</sup> )	\$ 85,82	\$ 81,49	\$ -4,33	-5,04%

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó previamente, en el rubro de materiales se puede ver un costo mas alto por el hormigón especial que será necesitado para la proyección, pero en todo el resto de rubros existe una diferencia bastante grande, especialmente en la mano de obra que como se a mencionado en gran parte de la investigación disminuirá a gran medida ya que existirá un rendimiento mucho mas alto y esto dando un resultado final en el que existirá un ahorro del 5.04% al momento de elegir el método de proyección neumática así que al momento de tener que realizar una gran cantidad de metros cuadrados, esta será la mejor opción.

Figura 14-2: Grafica de barras de precios por rubros.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14, se puede ver claramente las diferencias en cada rubro, en el que podemos ver que el rubro de materiales, en el caso del método de proyección neumática, será un 1,34% más caro, es decir \$3,22. Mientras que en mano de obra se verá una disminución del 38,54% que representa \$15,89, pasando al rubro de herramientas en el que habrá un ahorro del 7,45% que son \$4,64 y pasando al final, al precio unitario convertido a metro cuadrado, que es el enfoque de este estudio, y como se menciona en la tabla 13-1, tendremos un ahorro total del 5,04% y esto sumado a la disminución en el tiempo que tomara la realización del muro.

- **Propiedades técnicas y acabado**, teniendo en cuenta la parte técnica del análisis.

Mediante el método propuesto se logra garantizar una mejor estructura del hormigón, ya que esta presentara un asentamiento mucho más bajo, dando como resultado una mejor adherencia y fraguado, brindando mejores resistencias iniciales. Esto junto con el uso de codales y varillas maestras brinda un mejor acabado superficial, dando una fachada mucho más uniforme y evitando

hormigueros en el muro, saltándose así una dificultad común en el método tradicional que es la dificultad de vibrar el hormigón cuando existen cuantías grandes de acero.

- **Innovación local**, ya que existe un vacío en los datos disponibles sobre este tema en la ciudad de Cuenca, así que se brindara toda la información tanto cualitativa como cuantitativa sobre este procedimiento, viendo en los involucrados una idea muy positiva hacia el método propuesto, poniendo énfasis en su velocidad y acabado final, y al mostrar el resultado positivo de la implementación de este método en una obra tan grande como el Mall Del Alto y así buscando promover una optimización tanto en recursos materiales como en dinero. Aumentando el conocimiento técnico disponible en el ámbito constructivo local.

#### **4.1 Conclusiones.**

Después de todo el análisis y basándose en los resultados obtenidos, se busca también presentar ciertas recomendaciones para así mejorar tanto la metodología como la percepción hacia tal, enfocado hacia profesionales, constructoras y futuros profesionales.

- **Criterios para elegir una metodología**, mejoraría mucho los resultados de una obra si sus técnicos encargados realizan un análisis para tomar una decisión sobre la metodología constructiva a llevar a cabo. Esto sí, el proyecto busca una reducción en los tiempos mediante el aumento de rendimientos o si, es necesario realizar muros con geometrías complicadas como curvas, el método de proyectado (shotcrete) fuera la mejor opción a tomar en cuenta. Pero, por otro lado, si se realizara una edificación pequeña o de baja complejidad, será necesario realizar una investigación mas a detalle para decidir si el despliegue de maquinaria y de personal calificado es justificado, caso contrario el método tradicional es una alternativa más conocida y sencilla.

- **Mayor capacitación y necesidad de mano de obra con experiencia**, este método requiere de un operador con conocimiento previo sobre la realización de esta metodología, principalmente para el uso de la boquilla, junto con su técnica, velocidad, distancia y ángulo de proyección, ya que de esto dependerá directamente el resultado final de la obra, así que se recomienda la inclusión de programas de capacitación constante para así poder incluir de una mejor manera al ámbito cuencano, fomentando así una mejor profesionalización en la zona, mejorando velocidad, costo y resultado general.
- **Control de calidad**, esto permitiría garantizar el resultado de la obra, creando un plan de control de calidad y así lograr la correcta realización de la mezcla de hormigón lista para proyección, asegurando el asentamiento bajo, manteniendo como un aspecto fundamental la relación agua /cemento y así asegurando que el hormigón sea diseñado específicamente para ser usado en la máquina de proyección.
- **Mayor conocimiento y desarrollo de la normativa**, ya que la metodología propuesta brinda un procedimiento a seguir, pero sin una normativa o estandarización oficial local, que puede ser creada en base a los datos generados de este estudio. Para evitar crear un vacío o incertidumbre técnica para participantes sin tanta experiencia en el asunto.
- **Mejora en la sustentabilidad**, el análisis de este método busca fomentar su uso considerando que este genera un menor desperdicio de madera para los encofrados( si se realiza con encofrados de madera como en la mayoría de obras) y también así optimizar la logística de esta, recomendando su uso como una opción practica para los constructores cuencanos, no solo beneficiando

económicamente a su representante sino crenado un ambiente de construcción sustentable, que es tan necesario para el medio.

- **Investigación y mejora futura**, se recomienda el avance y mejora de esta idea indagando aun mas en ella, logrando profundizar en el análisis de su comportamiento contra movimientos sísmicos, así como proponer la inclusión de fibra o materiales que puedan mejorar su trabajabilidad o utilidad, pudiendo crear una mejor y mayor idea sobre el método propuesto, así mejorando aún más los rendimientos y costos presentados.

## 5. Bibliografía.

- Arenas, A. (2025). *Optimización de costos de sostenimiento con shotcrete en chimeneas inclinada en la zona valeria II Marsa, Trujillo. 2024*. Tesis, Universidad nacional de HUancavelica, Facultad de ingeniería de Minas, Civil, Ambiental, Huancavelica. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/3f1a1549-f7d8-4183-b182-4b7d2db94b6e>
- Arteaga, S., Malave, J., y Olivial, J. (2017). Comparative of reinforced concrete structural walls design compliant to. *Ingeniería UC*, 24(1), 125-128. <https://www.redalyc.org/pdf/707/70750544013.pdf>
- Berrio, A., Aguirre, I., Ramirez, L., y Alvarez, A. (2025). Shotcrete: Historical and Technical. *Revista EIA*, 22, 2. <https://revistabme.eia.edu.co/index.php/reveia/article/download/1883/1695/11356>
- ConstruNews*. (s.f.). <https://construnews.com/construpedia/cono-de-abrams/>
- Curo, A., y Tintaya, L. (2023). *FACTORES DETERMINANTES DE LA PRODUCTIVIDAD Y*. Tesis, Universidad privada de tacna, Facultad de ingeniería, Tacna. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/3277/Curo-Quispe-Tintaya-Arce.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DÍAZ, C. G. (Abril de 2008). CARACTERÍSTICAS DE MUROS DE HORMIGÓN ARMADO. Santiago de Chile. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103241/estay\\_cd.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103241/estay_cd.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Mejia, G., y Hernandez, T. (2007). *Seguimiento de productividad en obra: tecnicas de medicion de rendimientos de mano de obra*. Universidad industrial de Santander, Bucaramanga. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6299721>
- Mochle, J., y Zeisler, G. (2019). *Requisitos de Reglamentopara Concreto Estructural(ACI 318-19)*. Farmington Hills, Estados Unidos.

<https://biblioteca.ucuenca.edu.ec/digital/files/original/a40379d86dbe9ff802b24b6beaa44dd6c186b6e3.pdf>

OMEGA, E. Y. (2016). [https://fotos.habitissimo.com.mx/foto/construccion-de-muros-de-contencion-a-base-de-concreto-armado\\_181538](https://fotos.habitissimo.com.mx/foto/construccion-de-muros-de-contencion-a-base-de-concreto-armado_181538)

ORTEGA, L. G. (2012). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CÓDIGOS INTERNACIONALES*. Tesis, UNIVERSIDAD DE CHILE. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111842/cf-pacheco\\_lo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111842/cf-pacheco_lo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rey, D. A. (2006). *Hormigón Proyectado Dosificación, Fabricación y Puesta en Obra*. Madrid: Departamento de Constructoras y Grandes Obras de SIKA, S.A. <https://www.concretonline.com/images/pdf/hormigon/articulos/sika05.pdf>

Serpell, A. (2023). *Administración de operaciones de construcción*. (Vol. III). Santiago, Chile: EdicionesUC. [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=zfsGEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT15&dq=administracion+de+obra&ots=\\_0IAnoUAb8&sig=gZfCgsprtc-hXH4dH5M2-0Tci0U&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=zfsGEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT15&dq=administracion+de+obra&ots=_0IAnoUAb8&sig=gZfCgsprtc-hXH4dH5M2-0Tci0U&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Torrent, R. (2020). *Ensayos de consistencia de hormigón fresco convencional*. Buenos Aires. <https://web.icpa.org.ar/wp-content/uploads/2020/04/M02b-Ensayos-de-Consistencia-Convencionales.pdf>

Tynes, W. O., y McCleese, W. F. (1974). *Investigation of shotcrete*. Vicksburg, Estados Unidos : U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=fj3iW6yLaFgC&oi=fnd&pg=PR8&dq=shotcrete+&ots=myk4eiPz84&sig=sNcT8xYw4ZwWzPpN83YxTB7m6EM&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=fj3iW6yLaFgC&oi=fnd&pg=PR8&dq=shotcrete+&ots=myk4eiPz84&sig=sNcT8xYw4ZwWzPpN83YxTB7m6EM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)